



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

(21) BR 10 2013 027968-4 A2



(22) Data de Depósito: 30/10/2013

(43) Data da Publicação: 15/09/2015
(RPI 2332)

(54) **Título:** SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE PARA UMA LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS E MÉTODO PARA PROTEGER UMA LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS

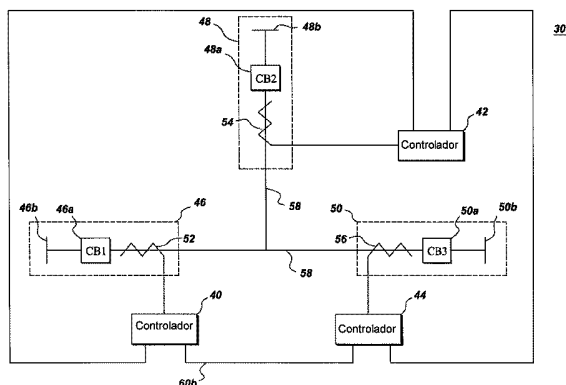
(51) **Int.Cl.:** H02H3/28

(30) **Prioridade Unionista:** 31/10/2012 US 13/665,479

(73) **Titular(es):** GENERAL ELECTRIC COMPANY

(72) **Inventor(es):** WILLIAM JAMES PREMIERLANI, YAN PAN

(57) **Resumo:** SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE PARA UMA LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS E MÉTODO PARA PROTEGER UMA LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS. Trata-se de um sistema de proteção diferencial de corrente para uma linha de potência de múltiplos terminais que inclui um sensor de corrente para captar uma corrente em um terminal local, um controlador para sincronizar por tempo o terminal local e os terminais remotos e um módulo de detecção de falha para detectar uma falha na linha de potência de múltiplos terminais caso uma corrente diferencial exceda um valor limite. O controlador inclui um módulo de troca de medição de tempo para trocar dados de estampa de tempo com terminais remotos, um relógio de alcance superior para trocar dados de estampa de tempo com os terminais remotos e um relógio de alcance inferior para indexar a corrente no terminal local. Um primeiro período de tempo do relógio de alcance superior é N vezes um segundo período de tempo do relógio de alcance inferior em que N é um número de múltiplos terminais, O controlador inclui um módulo de cálculo de diferença de relógio pra determinar uma diferença de tempo média com base em dados de estampa de tempo dos terminais remotos e do terminal local



**“SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE PARA UMA
LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS E MÉTODO PARA
PROTEGER UMA LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS”**

ANTECEDENTES

5 As realizações do sistema referem-se, em geral, a um sistema de
potência elétrica e, mais especificamente, a sistemas de proteção para o
sistema de potência elétrica.

 Muitas funções de monitoramento, proteção e controle de sistema
de potência, de controle podem ser efetuados de maneira mais eficaz e precisa
10 se as medições sistema de potência digital em múltiplas localizações forem
sincronizadas. De forma geral tais medições são apenas um tanto
sincronizadas por conta da dificuldade em sincronizar precisamente os relógios
de amostragem fisicamente separados por grandes distâncias. Os usos
convencionais de comunicações digitais para sincronizar os relógios de
15 amostragem em localizações remotas têm precisões limitadas por incertezas
no tempo de entrega de mensagem. Em particular, as comunicações digitais
podem ter diferentes atrasos em diferentes direções entre um par de
localizações que levam a um erro em sincronização de relógio.

 Em adição a ser importante para as linhas de transmissão de
20 múltiplos terminais, a sincronização de relógio é importante em muitas outras
aplicações, tais como, relés de potência, as determinações de sequências de
eventos, despacho de potência econômico, e qualquer outra situação que exige
sincronização de relógios. A utilização de um sistema de posicionamento
geográfico (GPS) é uma solução, no entanto, necessita de hardware adicional
25 e aumenta o custo. A comunicação entre vários terminais em várias
localizações é outra solução; no entanto, o desafio o principal em comunicação
é causado por uma transição de relógio. De forma geral, os relógios usados
estão com número limitado de bits para salvar largura de banda de

comunicação o que põe um limite no tempo máximo que o relógio pode medir. Visto que os relógios têm limites em tempo máximo, isso resulta em transição independente de relógios o que fez relógios de múltiplos terminais convergirem para uma situação estável, porém não sincronizada, na qual os relógios são
5 igualmente dispersos juntos do alcance do relógio inteiro.

Por essas e outras razões, há uma necessidade por um sistema de proteção diferencial melhorado.

BREVE DESCRIÇÃO

Em conformidade com uma realização da presente invenção, é
10 apresentado um sistema de proteção diferencial de corrente para uma linha de potência de múltiplos terminais. O sistema de proteção diferencial de corrente inclui um sensor de corrente para captar uma corrente em um terminal local, um controlador para sincronizar por tempo o terminal local e os terminais remotos e um módulo de detecção de falha para detectar uma falha na linha de
15 potência de múltiplos terminais, caso uma corrente diferencial exceda um valor limite. O controlador inclui um módulo de troca de medição de tempo para trocar dados de estampa de tempo com terminais remotos. O controlador também inclui um relógio de alcance superior para fornecer medições locais de tempo ao módulo de troca de medição de tempo e um relógio de alcance
20 inferior para indexar a corrente no terminal local. Um primeiro período de tempo para o relógio de alcance superior é N vezes um segundo período de tempo do relógio de alcance inferior em que N é um número de terminais no sistema de múltiplos terminais. O controlador inclui adicionalmente um módulo de cálculo de diferença de relógio para determinar uma diferença de tempo média com
25 base em dados de estampa de tempo a partir dos terminais remotos e do terminal local e um laço travado em frequência de fase para determinar sinais de fase e frequência para o relógio de alcance superior e o relógio de alcance inferior com base na diferença de tempo média.

Em conformidade com outra realização da presente invenção, é apresentado um método de proteger uma linha de potência de múltiplos terminais. O método inclui captar uma corrente em um terminal local e trocar dados de estampa de tempo com os terminais remotos. O método inclui
5 adicionalmente utilizar um relógio de alcance superior para fornecer medições locais de tempo e utilizar um relógio de alcance inferior para indexar a corrente no terminal local, em que um primeiro período do relógio de alcance superior é N vezes um segundo período de tempo do relógio de alcance inferior em que N é um número de terminais no sistema de múltiplos terminais. O método
10 também inclui determinar uma diferença de tempo média com base em dados de estampa de tempo a partir dos terminais remotos e do terminal local, determinar os sinais de fase e frequência para o relógio de alcance superior e o relógio de alcance inferior com bases na diferença de tempo média e detectar uma falha na linha de potência de múltiplos terminais caso uma corrente
15 diferencial exceda um valor limite.

DESENHOS

Esses e outros recursos, aspectos e vantagens da presente invenção irão se tornar mais bem entendidos quando a seguinte descrição detalhada for lida em referência aos desenhos anexos nos quais tais caracteres
20 representam tais partes por todos os desenhos, em que:

A Figura 1 é um diagrama de bloco de um sistema de transmissão com múltiplos terminais;

A Figura 2 é um diagrama de bloco de um controlador utilizado em cada terminal de um sistema de transmissão com múltiplos terminais, em
25 conformidade com uma realização da presente invenção;

A Figura 3 é uma representação gráfica de um erro de comutação de tempo entre dois relógios de terminal;

A Figura 4 é uma representação gráfica de um atraso de

comunicação entre dois terminais com transição de cenários de relógio;

As Figuras 5A E 5B são representações gráficas de prolongamento de relógio em um terminal com os tempos de mensagem recebida e/ou de mensagem enviada respectivos;

5 A Figura 6 é um fluxograma que representa as etapas envolvidas em um método de determinação de atraso de tempo em comunicação entre dois terminais, em conformidade com uma realização da presente invenção;

A Figura 7 é um diagrama esquemático de um sistema de sincronização de relógio em conformidade com uma realização da presente
10 invenção; e

A Figura 8 é uma representação gráfica de resultados de simulação de sincronização de relógio para um sistema de três terminais.

DESCRIÇÃO DETALHADA

As realizações descritas no presente documento são direcionadas
15 a um sistema de proteção de sistema de potência que possibilita a sincronização de relógios em múltiplos terminais de um sistema de transmissão. Embora as realizações da sincronização de relógio sejam descritas no contexto do sistema de transmissão, será apreciados por aqueles versados na técnica que o sistema pode ser usado por outras aplicações tais
20 como um sistema de distribuição de potência, relés de potência, determinação de sequências de eventos, despacho de potência econômico e qualquer situação que exige sincronização de relógios.

Conforme usado no presente documento, os termos “módulo” ou “controlador” se referem a *software*, *hardware*, ou *firmware* ou qualquer
25 combinação desses mesmos, ou qualquer sistema, processo, ou funcionalidade que efetue ou facilite os processos descritos no presente documento.

A Figura 1 é um diagrama de bloco de um sistema de transmissão

com múltiplos terminais 30 que inclui três terminais 46, 48 e 50 com uma linha de potência 58 e linhas de comunicação 60a, 60b e 60c entre os mesmos. Em uma realização, duas linhas de comunicação podem ser utilizadas entre dois terminais para propósitos de redundância de comunicação. Os sensores de correntes 52, 54 e 56 fornecem sinais de corrente aos respectivos local relays ou controladores 40, 42 e 44. Em uma realização, os controladores 40, 42 e 44 recebem medições de corrente a partir dos terminais remotos assim como do terminal local associado e identificam condições de falha em linha de potência 58. Em geral, transferência a relê diferencial de corrente é um aplicação básica da Lei das Correntes de Kirchhoff. Portanto, os controladores 40, 42 e 44 aplicam uma lógica de detecção de falha com base em uma diferença entre uma corrente local e uma corrente remota.

Um exemplo simples da lógica de detecção de falha é dado no presente contexto. Nesse exemplo, se uma corrente diferencial I_{diff} , que é uma diferença de uma corrente de fase local I_1 e correntes de fase remota I_2 e I_3 , excede um limiar I_t então a falha é detectada. Deve ser notado no presente documento que os terminais remotos medem as correntes remotas I_2 e I_3 em direção reversa e, portanto, a polaridade é revertida. Logo, a corrente diferencial I_{diff} é dada como uma soma de vetor das três correntes:

$$I_{diff} = \left| \overline{I_1} + \overline{I_2} + \overline{I_3} \right| \quad (1)$$

No entanto, se os terminais remotos também medirem a corrente na mesma direção que o terminal local, então a corrente diferencial seria uma subtração de vetor das três correntes. O limiar é uma soma de corrente diferencial mínima I_{min} que pode fluir através da linha de transmissão e uma corrente de restrição I_r que é um a valor de orientação permissível além da corrente mínima I_{min} .

$$I_t = I_{min} + I_r \quad (2)$$

A corrente de restrição I_r pode ser dada como:

$$I_r = k[|I1| + |I2| + |I3|] \quad (3)$$

em que k pode ser um valor constante ou uma variável dependendo do valor da corrente diferencial. Outros métodos de determinação da corrente de restrição I_r podem ser dados como: $I_r = k \cdot \text{maximum}(I1, I2, I3...)$, e $I_r = \text{sqrt}(I1^2 + I2^2 + I3^2)$.

5 Além de um sensor de corrente respectivo, cada terminal 46, 48 e 50 também inclui, dentre outros componentes, um disjuntor respectivo 46a, 48a e 50a e as barras respectivas 46b, 48b e 50b. Os disjuntores 46a, 48a e 50a rompem uma conexão entre as barras respectivas 46b, 48b e 50b e a linha de potência 58 no caso de falha. Em uma realização, em que as linhas de
10 transmissões têm três fases, cada uma dos sensores de correntes 52, 54 e 56 incluem três sensores em que cada sensor capta uma respectiva corrente de fase da linha de transmissão.

Em uma realização, cada um dos controladores 40, 42 e 44 pode incluir um processador, tal como, mas sem limitação, pelo menos um
15 microprocessador, um micro-controlador, um processador de gráfico, um processador de sinal digital (DSP), ou qualquer outro tipo de processador ou circuito de processamento. O processador pode incluir, adicionalmente, uma memória tal como uma memória de acesso aleatório (RAM), memória flash, um ou mais discos rígidos e/ou uma ou mais unidades que manipulem mídias
20 removíveis e um visor.

A Figura 2 é um diagrama de bloco de um controlador 80 utilizado em cada terminal de um sistema de transmissão com múltiplos terminais em conformidade com uma realização da presente invenção. O controlador 80 inclui um conversor de analógico para digital (A/D) 82 que recebe um sinal de
25 corrente 84 a partir de um respectivo sensor de corrente (não mostrado) e um receptor 86 que recebe um sinal de tempo 87 e um sinal de corrente indexado 88 a partir de um terminal remoto. Em cada terminal, as correntes trifásicas,

isto é, fasores, são amostrados inúmeras (K) vezes por ciclo. O controlador 80 inclui adicionalmente um relógio 90 e um módulo de sincronização de estampagem de tempo 94. O relógio 90 não é qualquer relógio geral, porém é com base em um contador e o cujo é limitado no tempo máximo para salvar largura de banda de comunicação. Em uma realização, o relógio 90 é um relógio de alcance duplo, conforme explicado nos parágrafos subsequentes.

Em uma realização, o módulo de sincronização e estampa de tempo 94 tem três funções. As três funções são i) sincronização de relógio entre dois terminais diferentes, ii) realizar etiquetagem fasorial e indexar as medições de corrente local e iii) alinhar as medições de corrente indexadas no terminal local e no terminais remotos. A sincronização de relógio é ativada com um laço travado em frequência de fase (PFLL). A indexação e o alinhamento são ativados etiquetando-se os com números de sequência. Por exemplo, se o número de sequência máximo é K, então em cada ciclo de tempo os fasores são tempos K amostrados e são etiquetados com um número de indexação apropriado. Portanto, se os dois relógios nos dois terminais diferentes não estão sincronizados e há uma diferença de tempo ou se há um atraso de tempo em transmitir um sinal de um terminal para outro terminal, então não haverá disparidade de índice.

Um calculador corrente diferencial 96 utiliza medições de corrente alinhadas a partir do local e do terminal remoto e determina o valor de corrente diferencial. Adicionalmente, uma lógica de detecção de falha 98 compara o valor de corrente diferencial com o valor limite e envia um sinal de saída 100 para um a disjuntor e também pode exibir a indicação de falha. Um transmissor 102 transmite as medições de corrente indexadas 104 e o sinal de tempo local 106 a outros terminais. Deve ser notado que os componentes do controlador 80 mostrados no presente contexto são apenas para propósito de exemplo e alguns dos componentes podem ser modificados, adicionados ou removidos,

conforme exigido. Por exemplo, em uma realização, um receptor 86 pode receber sinais de um ou mais de um e, em conformidade, os componentes serão modificados.

A Figura 3 mostra uma plotagem gráfica 120 que representa um erro de comutação de tempo entre dois relógios de terminal. Na plotagem 120, o eixo geométrico horizontal 122 representa tempo real e o eixo geométrico vertical 124 representa um tempo de relógio. Há dois relógios, relógio A e relógio B um no terminal A e um no terminal B, respectivamente. Os relógios sofrem transição com um período de $T_{\text{relógio}}$ (isto é, após o período de tempo $T_{\text{relógio}}$, o contador do relógio é redefinido). Nas realizações mostradas, o relógio B fica para trás ou é comutado por tempo pelo tempo T_{BA} em relação ao relógio A. Isso é por conta da frequência do relógio B ser sincronizada com aquela do relógio A e devido ao atraso de comunicação, o relógio B sofre transição após o relógio A ter sofrido transição. No entanto, em outra realização, o relógio A pode ser considerado para ficar para trás em relação ao relógio B, à medida que ambos os relógios são sincronizados um ao outro. Deve ser notado no presente contexto que em uma realização, sincronização significa que os atrasos em comunicação são alimentados como entrada ao PPLL a cada controlador e, em conformidade, os tempos de relógio respectivo são ajustados. Portanto, o valor de T_{BA} é positivo caso o relógio B sofra transição após o relógio A e negativo se o relógio B sofra transição antes do relógio A. Adicionalmente, com essa lógica, o valor de T_{BA} é sempre maior que $-T_{\text{relógio}}/2$ e menor que $T_{\text{relógio}}/2$. Conforme pode ser visto a partir da plotagem 120, no tempo t_1 , o contador do relógio A se lê N_1 enquanto que o contador do relógio B lê N_2 . Portanto, os sinais de corrente I_A e I_B nos terminais A e B serão indexados, em conformidade, (isto é, no tempo t_1 , I_A será indexado $I_A(N_1)$ enquanto que I_B será indexado $I_B(N_2)$). Isso resulta em erro quando os mesmos sinais indexados de corrente dos dois terminais ($I_A(N_1)$ e $I_B(N_1)$) são

comparados juntos como se os mesmos não fossem do mesmo instante de tempo t_1 e pudessem resultar em uma falsa detecção de falha ou falso deslocamento do disjuntor. Logo, a sincronização de tempo dos dois relógios é importante.

5 A Figura 4 mostra uma plotagem gráfica 130 que representa um atraso de comunicação entre dois terminais com transição de cenários de relógio. Na plotagem 130, os tempos de relógio 132 e 134 relacionados aos dois relógios dos terminais A e B, são mostrados respectivamente. Para cada troca de mensagem de deslocamento entre o terminal A e terminal B, 4
10 medições locais de tempo são feitas. Por exemplo, para uma troca de mensagem de deslocamento entre o terminal A e o terminal B, as quatro medições seguintes são feitas:

- i) T1 – tempo medido através do relógio A quando uma mensagem é enviada do terminal A para o B.
- 15 ii) T2 – tempo medido através do relógio B quando a mensagem do terminal A é recebida.
- iii) T3 – tempo medido através do relógio B quando uma mensagem de retorno é enviada do terminal B ao A.
- iv) T4 – tempo medido através do relógio A quando a mensagem
20 de retorno é recebida.

Desde que os atrasos de comunicações do terminal A ao B sejam os mesmos que os atrasos do terminal B ao A, o erro de fase do terminal A em relação ao terminal B (isto é, o atraso de tempo de comunicação entre o
25 terminal B e A) pode ser computado a partir de:

$$T_{AB} = \frac{T_1 + T_4 - T_2 - T_3}{2} \quad (4)$$

A equação acima será mais fácil de entender se os tempos T1,

T2, T3 e T4 forem considerados como contra-valores. No entanto, por conta da situação de transição dos relógios, pode haver diversas respostas diferentes, em dependência do timing dos eventos de transição em relação ao timing das medições de corrente que depende de diversas variáveis, inclusive a diferença
5 relativa entre os relógios, do atraso de comunicação e do atraso de processamento. Deve ser notado que há uma diferença de tempo entre medição de corrente real e quando a mensagem é precisamente enviada ao terminal remoto. Por exemplo, em uma base de contagem de 1 a 10, se T1 é igual a 8, então, a medição de corrente real pode ter acontecido na contagem
10 7.

Há dois casos de transição que podem afetar o cálculo de corrente diferencial: i) transição antes da primeira medição de um par de medições (isto é, antes de T1 ou T2); e ii) transição entre o par de medições (isto é, ou entre T1 e T4 ou entre T2 e T3).

15 Para propósitos de explicação, o primeiro caso é ilustrado na Figura 5a e o segundo caso é ilustrado na Figura 5b. A Figura 5a mostra uma plotagem 142 de transição de relógio no terminal antes de um tempo de medição de corrente real T0. A plotagem 142 também mostra um tempo t2 que é quando a mensagem é recebida no terminal 2. Conforme pode ser visto a
20 partir da plotagem 142, em que a ocorrência de transição ocorre entre T0 e T1. A Figura 5b mostra uma plotagem 144 de transição de relógio no terminal A com um tempo de medição de corrente real T0 e com tempos de mensagem recebidas e enviadas T1 e T4, respectivamente. Em ambas as plotagens 142 e 144, um eixo geométrico horizontal 148 representa tempo real em segundo e
25 um eixo geométrico vertical 144 representa um tempo de relógio em número de contagem. Pode ser visto da plotagem 144 que a ocorrência de transição ocorre entre T1 e T4 em que o valor de T1 é maior que o valor de T4. Isso acontece por conta do contador de relógio A estar próximo à contagem máxima

no tempo T1 e, então, uma nova contagem se inicia para T4. Portanto, o algoritmo para detectar e compensar for a transição do relógio A entre T1 e T4 é:

$$\text{Se } (T1 > T4) \text{ então } (T4 = T4 + T_{\text{relógio}}) \quad (5)$$

De forma semelhante, o algoritmo para detectar e compensar a transição do relógio B entre T2 e T3 é:

$$\text{Se } (T2 > T3) \text{ então } (T3 = T3 + T_{\text{relógio}}) \quad (6)$$

Para o primeiro caso, a transição do relógio A anterior a T1 causa um erro em de $-T_{\text{relógio}}$ tanto no T1 quanto no T4 e a transição do relógio B anterior a T2 causará um erro de $T_{\text{relógio}}$ tanto no T2 quanto no T3, de modo que irá gerar um erro de $-T_{\text{relógio}}$ em T_{AB} . Desde que a variação válida de T_{AB} for $-T_{\text{relógio}}/2$ a $T_{\text{relógio}}/2$, um erro de + ou $-T_{\text{relógio}}$ conduzirá o resultado para fora daquela faixa. Portanto, as correções a seguir serão utilizadas:

$$\text{Se } (T_{AB} > T_{\text{relógio}}/2) \text{ então } (T_{AB} = T_{AB} - T_{\text{relógio}}) \quad (7)$$

$$\text{Se } (T_{AB} < -T_{\text{relógio}}/2) \text{ então } (T_{AB} = T_{AB} + T_{\text{relógio}}) \quad (8)$$

A Figura 6 mostra um fluxograma 150 que descreve um método de determinação de atraso de tempo em comunicação entre dois terminais, conforme discutido acima. O método inclui determinar se a transição ocorrer entre o T1 e T4 através da comparação de T1 e T4 na etapa 151. Caso a transição ocorra, o método move para a etapa 152, de outra forma, o método move para a etapa 153. Na etapa 152, caso a transição ocorra entre o T1 e T4 ou caso o T1 for maior que T4 então o tempo T4 é modificado para $T4+T_{\text{relógio}}$. Na etapa 153, é determinado se a transição ocorre entre o T2 e o e caso ocorra, então o método move para etapa 154, de outra forma, para etapa 156. Na etapa 154, caso a transição ocorra entre o T2 e o T3 ou caso T2 for maior que T3, então, o tempo T3 é modificado para $T3+T_{\text{relógio}}$. O método inclui adicionalmente determinar um primeiro atraso de tempo na etapa 156 através da utilização de uma $T_{AB}=(T1+T4-T2-T3)/2$. Na etapa 157, é

determinado se transição de relógio ocorre antes do T1 através da determinação de T_{AB} ser maior que $T_{relógio}/2$ e se a transição de relógio ocorre, então o método move para etapa 158, de outra forma, para a etapa 159. Na etapa 158, o primeiro atraso é modificado para $T_{AB} = T_{AB} - T_{relógio}$. Na etapa 5 159, é determinado novamente se a transição de relógio ocorre antes do T2 ou não através da determinação do T_{AB} ser menor que $(-T_{relógio}/2)$, caso for, então o método move para etapa 160, de outra forma, o método acaba. Por fim, na etapa 160 caso transição de relógio ocorra antes do T2 então, o atraso de tempo T_{AB} é modificado adicionalmente para $T_{AB} = T_{AB} + T_{relógio}$. A estimativa de comutação de tempo resultante ou o atraso de tempo modificado é, então, 10 usado como a entrada de fase ao PPLL para sincronizar os relógios em dois terminais e para compensar o atraso de comunicação.

O algoritmo discutido na Figura 6 funciona para os dois sistemas de terminal. Em um sistema de múltiplos terminais com mais do que 2 terminais 15 pode ser utilizado um sistema de comunicação anular. Nesse caso, os relógios se sincronizam um com o outro em um modo anular que resulta na propagação de atraso de tempo a partir do primeiro relógio ao último. Como exemplo, em um sistema de três terminais, o terminal A envia e recebe mensagens para/do terminal B; o terminal B envia e recebe mensagens para/do terminal C que, 20 novamente, envia e recebe mensagens para/do terminal A. Em tal caso, por conta do atraso de tempo se propagar de um relógio para outro relógio, um atraso geral do primeiro relógio para o último relógio será alto. Adicionalmente, pode acontecer dos relógios nunca sincronizarem um com outro quando o período de tempo $T_{relógio}$ dos relógios for pequeno por conta do alto atraso de 25 tempo. Isso pode resultar em etiquetagem errônea dos fasores e gerar deslocamentos falsos dos disjuntores.

Em conformidade com uma realização da presente invenção, um relógio de alcance duplo é utilizado para sincronizar os relógios. O relógio de

alcance duplo inclui um relógio de alcance superior e um relógio de alcance superior. O relógio de alcance inferior é utilizado para realizar etiquetagem fasorial e o relógio de alcance superior é utilizado para sincronização de tempo ou de relógio, conforme explicado na Figura 6. Adicionalmente, cada terminal se sincroniza com os dois terminais mais próximos em uma rede de comunicação anular. Por exemplo, se há terminais A, B, C e D naquela sequência em uma rede de comunicação anular, então o terminal A sincroniza com os terminais B e D, o terminal B sincroniza com terminais A e C e assim por diante.

10 A Figura 7 mostra um sistema de sincronização de relógio 180, em conformidade com uma realização da presente invenção. Um sistema de sincronização de relógio 180 inclui dois controladores 182, 184 localizados em dois diferentes terminais. Cada um dos controladores 182, 184 inclui um módulo de troca de medição de tempo 186, um módulo de cálculo de diferença de relógio 188, um laço travado em frequência de fase (PFLL) 190 e dual relógios 192 e 194 com alcances superiores e inferiores, respectivamente. Os controladores 182, 184 também têm outros componentes, conforme mostrado na Figura 2. No entanto, apenas para simplicidade, os componentes relacionados à sincronização de relógio são mostrados no presente contexto. O

15 módulo de troca de medição de tempo 186 recebe e transmite os sinais de tempo (por exemplo, T1, T2, T3 etc.) a partir de um terminal remoto. Embora na Figura 7 uma comunicação entre os dois terminais seja mostrada, o módulo de troca de medição de tempo 186 pode se comunicar com mais do que dois terminais e trocar sinais de tempo. Como exemplo, supondo que o módulo de

20 troca de medição de tempo 186 se comunica com três terminais. O módulo de cálculo de diferença de relógio 188, então, utiliza o algoritmo na Figura 6 e determina adicionalmente o atraso de tempo geral através da mediação do atraso de tempo entre os três terminais. Para um sistema de três terminais (A-

B-C), o módulo de cálculo de diferença de relógio 188 irá determinar primeiro dois atrasos de tempo T_{AB} e T_{AC} com o uso do algoritmo na Figura 6 e, então, determinar um atraso de tempo médio $T_{A,BC}$ com o uso da relação:

$$T_{A,BC} = (T_{AB} + T_{AC})/2 \quad (9)$$

Portanto, o módulo de cálculo de diferença de relógio 188 fornece
5 uma diferença de tempo média ou um atraso de tempo geral como uma
entrada de fase para PFL 190. Um PFL exemplificativo 90 é revelado na
Patente expedida de nº U.S. 5.958.060 cedida a Companhia Elétrica Geral e é
incorporada no presente documento a título de referência. PFL 190 fornece
um sinal aos relógios 192, 194 para ajustar as frequências dos mesmos. O
10 relógio 194, então, fornece um primeiro sinal de relógio para etiquetar os
fasores e o relógio 192 fornece um segundo sinal de relógio ao módulo de troca
de medição de tempo 186 para propósito de sincronização de relógio.

Um primeiro período que é do Relógio 192 é mantido igual a N
vezes um segundo período de tempo que é do relógio 194, em que N é o
15 número de terminais usados para sincronização de relógio. Como exemplo, se
há 4 terminais e o relógio 194 tem um período de tempo igual a 12 contagens,
então, o relógio 192 terá um período de tempo de 48 contagens, isto é, o
relógio 194 irá sofrer transição após 12 contagens enquanto o relógio 192 irá
sofrer transição após 48 contagens.

20 A Figura 8 mostra duas plotagens gráficas 200 e 202 de
resultados de simulação de sincronização de relógio para um sistema de três
terminais. Um eixo geométrico horizontal 204 nas plotagens 200 e 202
representa um tempo real em segundos e um eixo geométrico vertical 206
representa um tempo de relógio em número de contagem. A plotagem 200
25 mostra três formas de ondas de relógio 208, 210 e 212 relacionadas a relógios
de maior de alcance em três terminais utilizados para sincronização de relógio
enquanto a plotagem 202 mostra três formas de ondas de relógio 214, 216 e

218 relacionada a relógios de alcance inferior em três terminais utilizados para realizar etiquetagem fasorial. As formas de ondas de relógio 214, 216 e 218 têm um período de tempo relacionado a contagens $T=16$ enquanto que as formas de ondas de relógio 208, 210 e 212 têm um período de tempo
5 relacionado a $NT=3*16=48$ contagens. Conforme pode ser visto, embora as formas de ondas de relógio 208, 210 e 212 não estejam sincronizadas umas com as outras, as formas de ondas de relógio 214, 216 e 218 são, de fato, sincronizadas após um tempo curto, portanto, resultando em etiquetagem fasorial sincronizada.

10 Uma das vantagens do presente sistema de proteção diferencial de corrente digital inclui a sincronização de relógios em múltiplos terminais sem o uso de sistema de posicionamento geográfico (GPS). Adicionalmente, o sistema de proteção diferencial de corrente digital pode ser aplicado a inúmeros terminais.

15 Embora apenas determinados recursos da invenção tenham sido ilustrados e descritos no presente documento, muitas modificações e mudanças ocorrerão àqueles versados na técnica. Portanto, deve-se compreender que as reivindicações anexas se destinam a cobrir todas essas modificações e alterações que estejam dentro do verdadeiro espírito da
20 invenção.

REIVINDICAÇÕES

1. SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE PARA UMA LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS, que compreende:

5 um sensor de corrente para captar uma corrente em um terminal local;

um controlador para sincronizar por tempo o terminal local e terminais remotos, sendo que o controlador compreende:

10 um módulo de troca de medição de tempo para trocar dados de estampa de tempo com terminais remotos;

um relógio de alcance superior para fornecer medições locais de tempo ao módulo de troca de medição de tempo;

15 um relógio de alcance inferior para indexar a corrente ao terminal local, em que um primeiro período de tempo do relógio de alcance superior é N vezes um segundo período de tempo do relógio de alcance inferior em que N é um número de terminais no sistema de múltiplos terminais;

um módulo de cálculo de diferença de relógio para determinar uma diferença de tempo média com base em dados de estampa de tempo a partir dos terminais remotos e do terminal local;

20 um laço travado em frequência de fase para determinar sinais de fase e frequência para o relógio de alcance superior e o relógio de alcance inferior com base na diferença de tempo média; e

25 um módulo de detecção de falha para detectar uma falha na linha de potência de múltiplos terminais caso uma corrente diferencial exceda um valor limite.

2. SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE, de acordo com a reivindicação 1, em que o módulo de cálculo de diferença de relógio é configurado para determinar a diferença de tempo média

através da ponderação dos atrasos de tempo de comunicação entre o terminal local e cada um dos terminais remotos.

3. SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE, de acordo com a reivindicação 2, em que o módulo de troca de
5 medição de tempo é configurado para trocar os dados de estampa de tempo que inclui um tempo de mensagem enviada e de mensagem recebida no terminal local e um tempo de mensagem enviada e de mensagem recebida em terminais remotos.

4. SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE
10 CORRENTE, de acordo com a reivindicação 3, em que o módulo de cálculo de diferença de relógio é configurado para determinar o atraso de tempo de comunicação entre o terminal local e cada um dos terminais remotos com base em uma subtração de um somatório dos tempos de mensagem enviada e de mensagem recebida no terminal remoto e um somatório dos tempos de
15 mensagem enviada e de mensagem recebida no terminal local.

5. SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE, de acordo com a reivindicação 4, em que o módulo de cálculo de diferença de relógio é configurado para determinar o atraso de tempo de comunicação com base nos casos de transição do relógio de alcance superior.

20 6. SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE, de acordo com a reivindicação 5, em que o módulo de cálculo de diferença de relógio é configurado para ajustar o tempo de mensagem recebida através do primeiro período de tempo do relógio de alcance superior caso o relógio de alcance superior realize uma transição ao tempo de mensagem
25 enviada e ao tempo de mensagem recebida.

7. SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE, de acordo com a reivindicação 6, em que o módulo de cálculo de diferença de relógio é configurado para ajustar o atraso de tempo de

comunicação caso o relógio de alcance superior realize uma transição antes do tempo de mensagem enviada.

8. SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE, de acordo com a reivindicação 1, em que o módulo de detecção de falha é configurado para determinar a corrente diferencial através de uma
5 adição de vetor da corrente no terminal local e uma segunda corrente de pelo menos um dentre os terminais remotos.

9. SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE, de acordo com a reivindicação 1, em que o módulo de detecção de falha é configurado para determinar o valor limite através de uma soma de
10 uma corrente diferencial mínima que possa fluir através da linha de potência de múltiplos terminais e uma corrente de restrição permissível além da corrente diferencial mínima.

10. SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE, de acordo com a reivindicação 1, que compreende, ainda, um
15 conversor de analógico para digital que realiza a amostragem da corrente no terminal local.

11. SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE, de acordo com a reivindicação 10, em que o controlador é
20 configurado para indexar a corrente no terminal local com base em uma frequência de amostragem do conversor de analógico para digital.

12. MÉTODO PARA PROTEGER UMA LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS, que compreende:

- captar uma corrente em um terminal local;
- 25 trocar dados de estampa de tempo com terminais remotos;
- utilizar um relógio de alcance superior para fornecer medições locais de tempo;
- utilizar um relógio de alcance inferior para indexar a corrente no

terminal local, em que um primeiro período do relógio de alcance superior é N vezes um segundo período de tempo do relógio de alcance inferior em que N é um número de terminais no sistema de múltiplos terminais;

determinar uma diferença de tempo média com base em dados de
5 estampa de tempo a partir dos terminais remotos e do terminal local;

determinar sinais de fase e frequência par ao relógio de alcance superior e para o relógio de alcance inferior com base na diferença de tempo média; e

detectar uma falha linha de potência de múltiplos terminais caso
10 uma corrente diferencial exceda um valor limite.

13. MÉTODO PARA PROTEGER LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS, de acordo com a reivindicação 12, em que determinar a diferença de tempo média compreende mediar o atraso de tempo de comunicações entre o terminal local e cada uma dos terminais remotos.

14. MÉTODO PARA PROTEGER LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS, de acordo com a reivindicação 13, em que trocar os dados de estampa de tempo compreende trocar um tempo de mensagem enviada e de mensagem recebida no terminal local e um tempo de mensagem enviada e de mensagem recebida em terminais remotos.

15. MÉTODO PARA PROTEGER LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS, de acordo com a reivindicação 14, em que determinar a diferença de tempo média compreende determinar o atraso de tempo de comunicação entre o terminal local e cada um dos terminais remotos em uma subtração de um resumo dos tempos de mensagem enviada e de
25 mensagem recebida no terminal remoto e um resumo da mensagem enviada e dos tempos de mensagem recebida no terminal local .

16. MÉTODO PARA PROTEGER LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS, de acordo com a reivindicação 15, em que

determinar a diferença de tempo média compreende determinar o atraso de tempo de comunicação com base nos casos de transição do relógio de alcance superior.

5 17. MÉTODO PARA PROTEGER LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS, de acordo com a reivindicação 16, em que determinar a diferença de tempo média compreende ajustar o tempo de mensagem recebida através do primeiro período do relógio de alcance superior, caso o relógio de alcance superior realize uma transição entre o tempo de mensagem enviada e o tempo de mensagem recebida.

10 18. MÉTODO PARA PROTEGER LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS, de acordo com a reivindicação 17, em que determinar a diferença de tempo média compreende ajustar o atraso de tempo de comunicação através do primeiro período do relógio de alcance superior, caso o relógio de alcance superior realize uma transição antes do tempo de
15 mensagem enviada.

19. MÉTODO PARA PROTEGER LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS, de acordo com a reivindicação 12, em que detectar a falha na linha de potência de múltiplos terminais compreende determinar a corrente diferencial através de uma adição de vetor da corrente no terminal
20 local e uma segunda corrente pelo menos um dentre os terminais remotos.

20. MÉTODO PARA PROTEGER LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS, de acordo com a reivindicação 12, em que detectar a falha na linha de potência de múltiplos terminais compreende determinar o valor limite através de uma soma de uma corrente diferencial mínima que pode
25 fluir através da linha de potência de múltiplos terminais e de uma corrente de restrição permissível além, da corrente diferencial mínima.

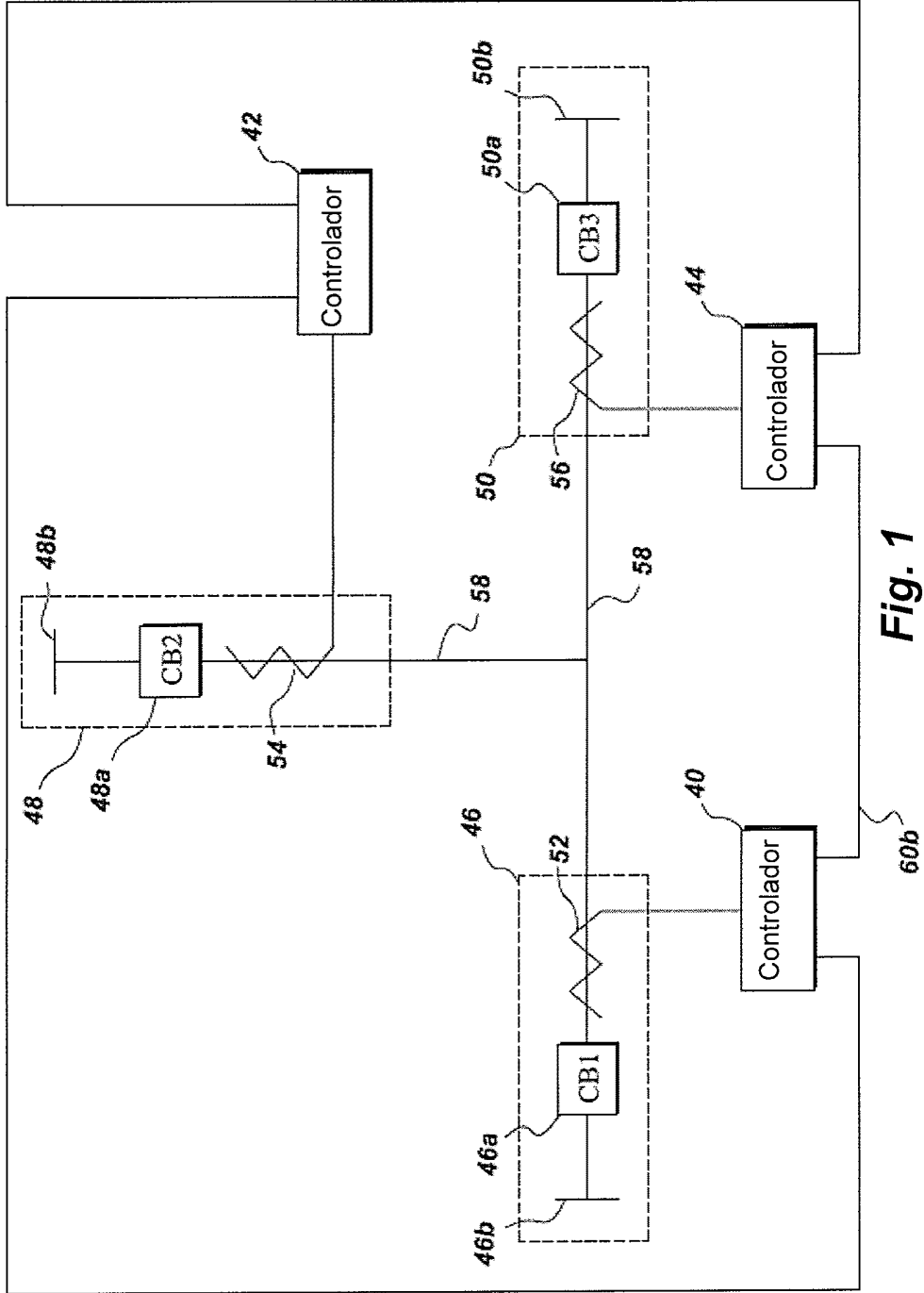


Fig. 1

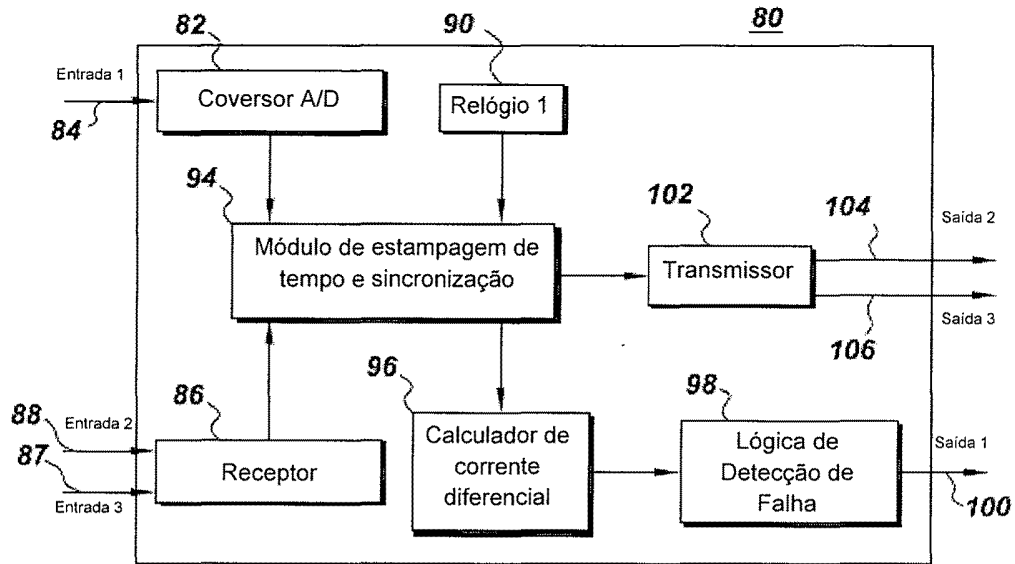


Fig. 2

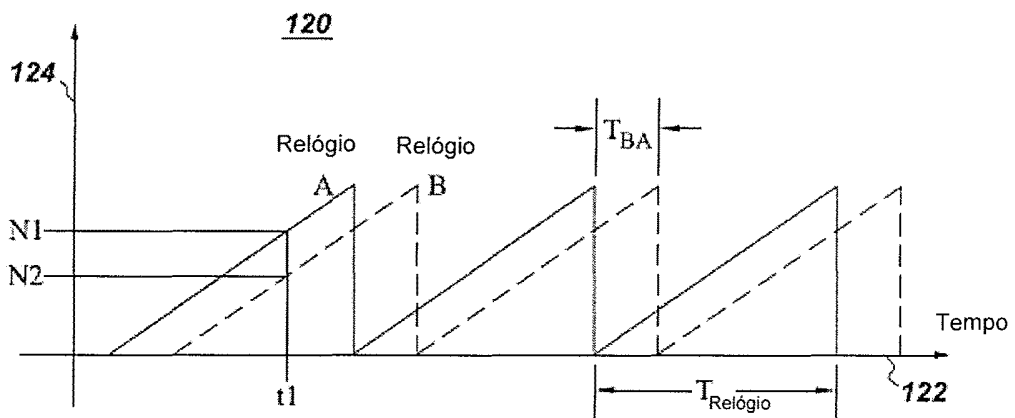


Fig. 3

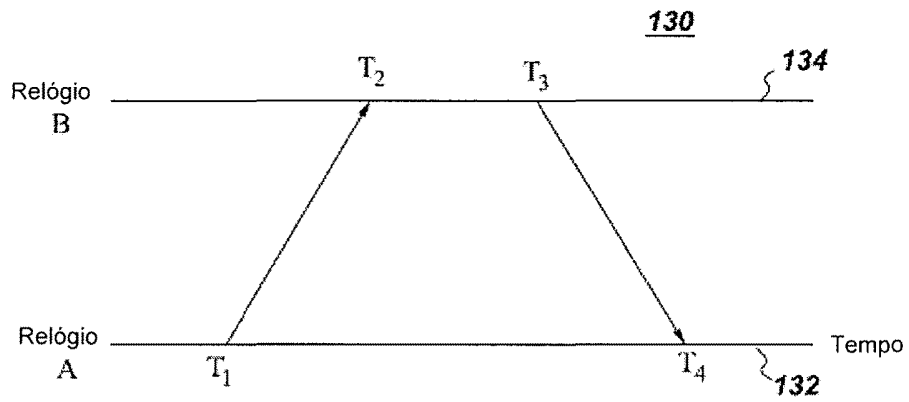


Fig. 4

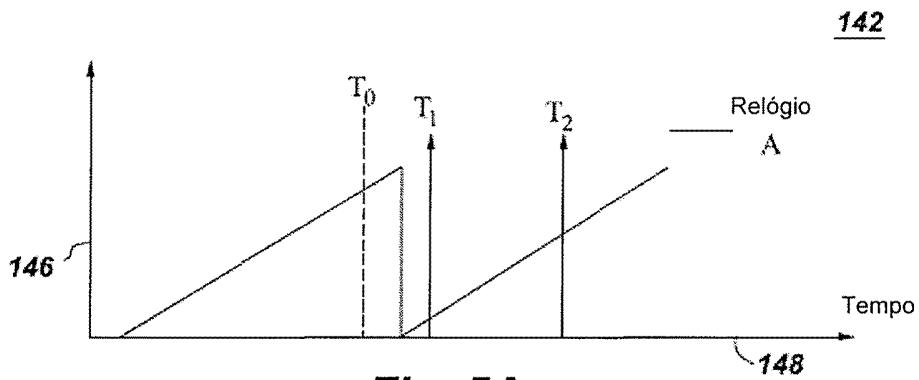


Fig. 5A

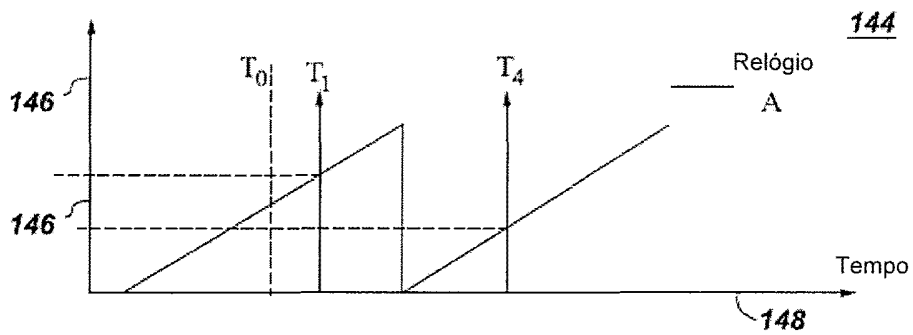


Fig. 5B

150

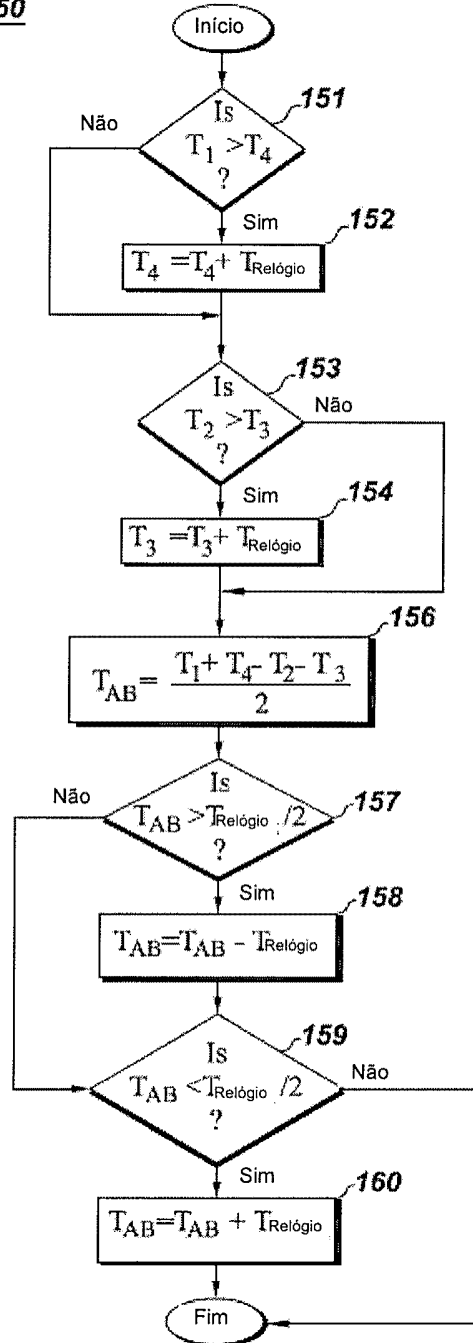


Fig. 6

180

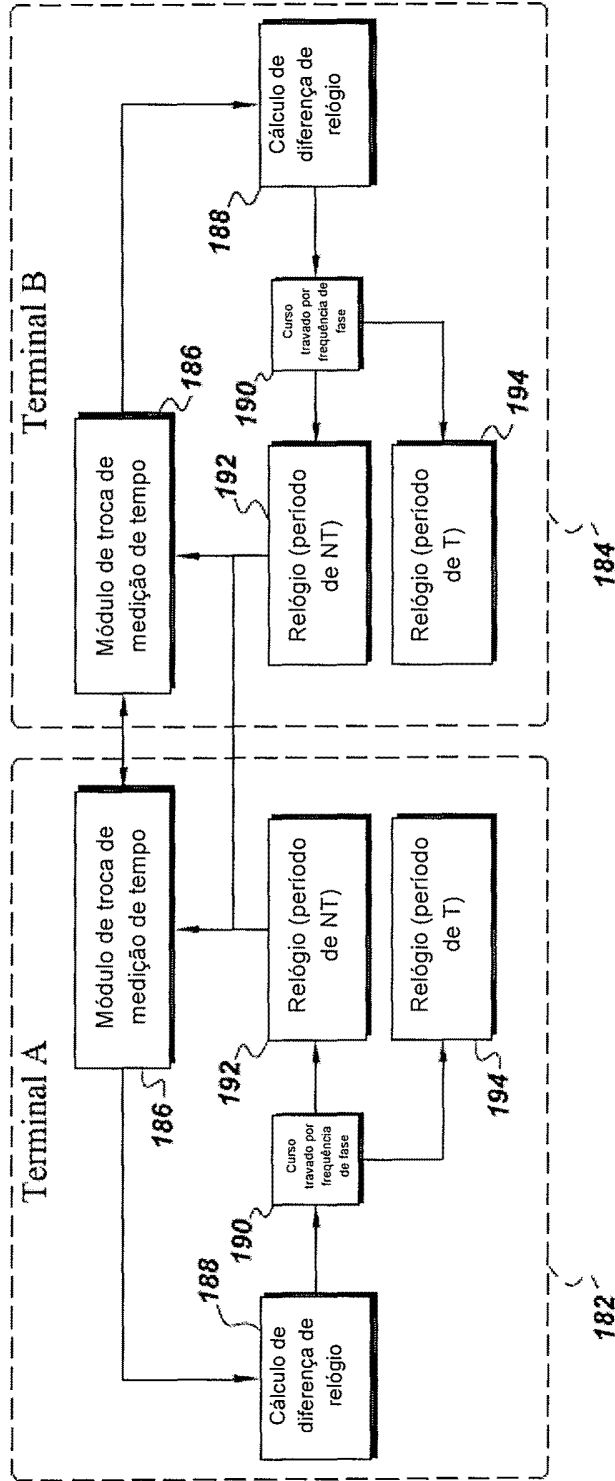


Fig. 7

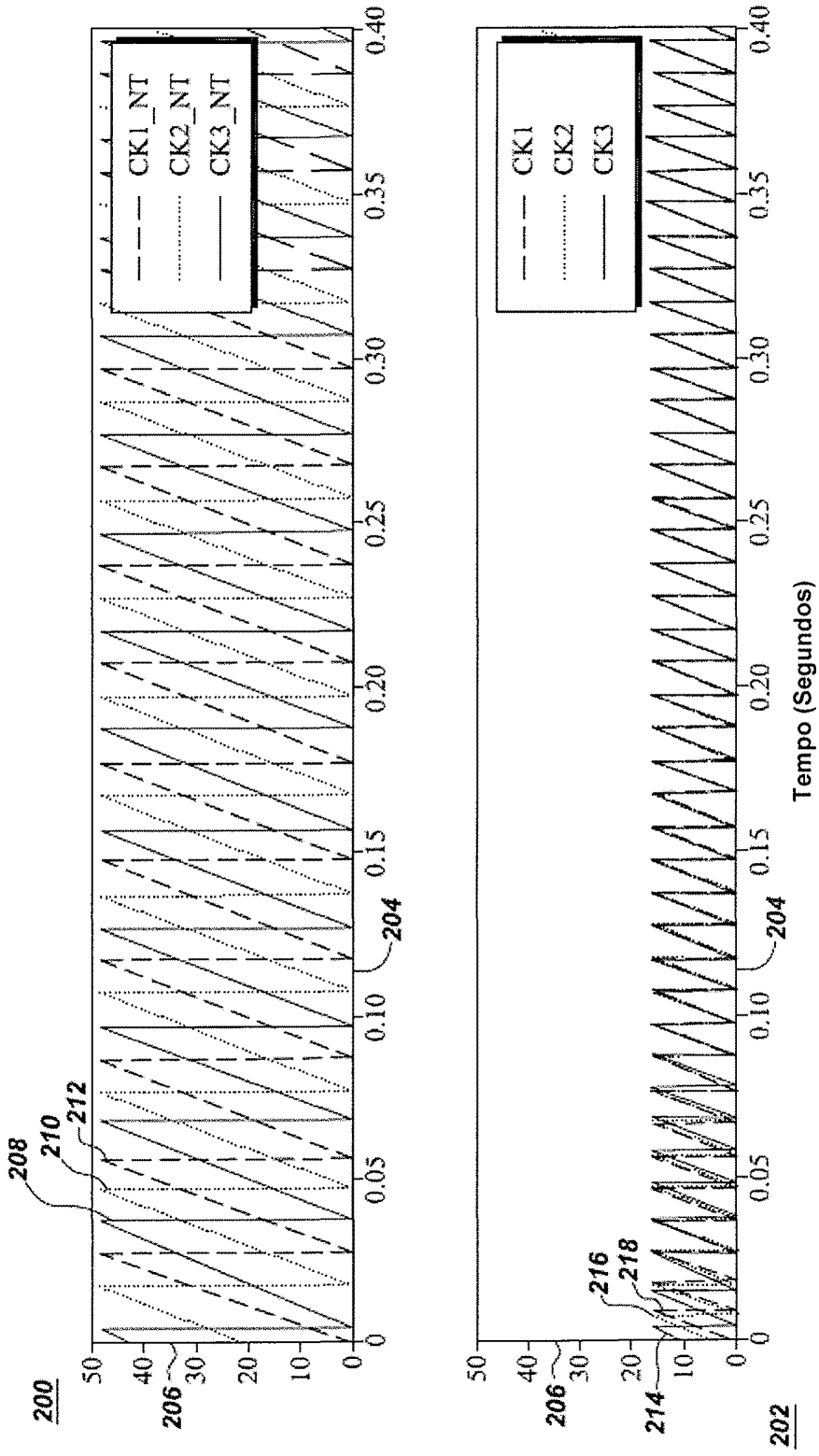


Fig. 8

RESUMO**“SISTEMA DE PROTEÇÃO DIFERENCIAL DE CORRENTE PARA UMA LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS E MÉTODO PARA PROTEGER UMA LINHA DE POTÊNCIA DE MÚLTIPLOS TERMINAIS”**

5 Trata-se de um sistema de proteção diferencial de corrente para uma linha de potência de múltiplos terminais que inclui um sensor de corrente para captar um corrente em um terminal local, um controlador para sincronizar por tempo o terminal local e os terminais remotos e um módulo de detecção de falha para detectar uma falha na linha de potência de múltiplos terminais caso

10 uma corrente diferencial exceda um valor limite. O controlador inclui um módulo de troca de medição de tempo para trocar dados de estampa de tempo com terminais remotos, um relógio de alcance superior para trocar dados de estampa de tempo com os terminais remotos e um relógio de alcance inferior para indexar a corrente no terminal local. Um primeiro período de tempo do

15 relógio de alcance superior é N vezes um segundo período de tempo do relógio de alcance inferior em que N é um número de múltiplos terminais. O controlador inclui um módulo de cálculo de diferença de relógio pra determinar uma diferença de tempo média com base em dados de estampa de tempo dos terminais remotos e do terminal local.