



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(11) PI 1105720-3 B1



(22) Data do Depósito: 07/12/2011

(45) Data de Concessão: 14/04/2020

(54) Título: MÉTODO DE ATRAVESSAMENTO DE FALHA, CONVERSOR E UNIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA E PARQUE EÓLICO

(51) Int.Cl.: H02P 9/04; H02J 3/46; F03D 7/04.

(30) Prioridade Unionista: 08/12/2010 EP 10194143.3.

(73) Titular(es): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT.

(72) Inventor(es): JOERGEN NYGAARD NIELSEN; JAN THISTED.

(57) Resumo: MÉTODO DE ATRAVESSAMENTO DE FALHA, CONVERSOR E UNIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA PARA UMA TURBINA DE VENTO. A presente invenção refere-se a um método de controle de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha que compreende as seguintes etapas: detectar uma queda de voltagem em uma linha de energia (4) transmitindo energia elétrica e reduzir a corrente ativa e/ou a energia ativa que é alimentada por uma unidade de geração de energia (2), em um ponto de alimentação em uma rede de energia que tem uma pluralidade de linhas de energia para um valor específico, se uma queda de voltagem for detectada na linha de energia; e quando o atravessamento de falha é desativado, a energia ativa da unidade de geração ou da pluralidade de unidades é aumentada para um valor de energia pós-falha otimizado, o qual poderia ser o valor ativo de pré-falha dentro de uma função de tempo otimizada específica. O valor específico da corrente ativa e/ou a energia ativa depende das propriedades de pelo menos uma parte da rede de energia na qual a unidade de geração de energia (2) está conectada, e/ou o valor específico da corrente ativa e/(...).

Relatório Descritivo da Patente de Invenção para "MÉTODO DE ATRAVESSAMENTO DE FALHA, CONVERSOR E UNIDADE DE GERAÇÃO DE ENERGIA E PARQUE EÓLICO".

[0001] A presente invenção refere-se a um método de recuperação de atravessamento de falha avançado para uma turbina de vento. Mais ainda, a invenção descreve um conversor e uma unidade de geração de energia que compreende tal conversor para uma turbina de vento e um parque eólico com pelo menos uma turbina de vento que compreende tal unidade de geração de energia.

[0002] Se uma distorção, tal como uma falha de curto-circuito, ocorrer na grade de energia, o sistema de rede de energia pode tornar-se instável. Um curto-circuito temporário pode ocorrer, se, por exemplo, as linhas de energia estão em curto-circuito, os componentes de sistema de energia estão defeituosos ou mesmo quebrados.

[0003] Se uma unidade de geração de energia detectar uma queda de voltagem, a corrente ativa alimentada para a grade é reduzida. Especificamente, em um controle de atravessamento de falha da técnica anterior a corrente ativa alimentada para a rede de energia através de uma grade de conexão é reduzida como uma função da queda de voltagem. Esta corrente ativa reduzida é suprida para a grade de conexão por um período comparativamente curto. Posteriormente, a energia ativa é aumentada para o seu valor de pré-queda de voltagem.

[0004] A figura 1 mostra um cenário de transmissão de energia exemplar para um parque eólico de acordo com o estado da técnica. Tal parque eólico compreende uma pluralidade de turbinas de vento 2 cada uma gerando uma voltagem de, por exemplo, 0,7 kV. A energia da turbina de vento 2 é transmitida por uma linha de conexão de turbina de vento 4 para um transformador de turbina de vento 6 que transforma a voltagem para, por exemplo, 33 kV. Esta voltagem é suprida por uma linha de energia 8 para uma grade de coletor de parque eóli-

co, isto é, um barramento de baixa voltagem 10. O valor de voltagem de grade de coletor é transformado por um transformador de intensificação de parque eólico 12 para uma voltagem de sistema de transmissão, por exemplo, 132 kV. Uma carga local 16 está conectada a um ponto de ramificação ou primeiro barramento 14. Do ponto de ramificação 14, também referido como a radial de ramificação de grade, uma linha de conexão 18, está conectada a um sistema de rede de transmissão em um ponto de conexão comum também referido como um segundo barramento 20. Capacitores comutados 22 estão conectados como componentes auxiliares no ponto de conexão comum 20. Estes componentes auxiliares são utilizados para propósitos de controle de energia reativa gerais da voltagem de grade de sistema.

[0005] Um ponto de rede 28 de uma rede de transmissão constitui um ponto equivalente do sistema de grade de transmissão com uma unidade de geração de energia 32. Este sistema está conectado através de uma linha de interconexão ou primeira linha de energia 24, o ponto de conexão comum 20 e uma linha de transmissão regional ou segunda linha de energia 26 para um sistema de rede de transmissão regional representado com uma segunda unidade de geração de energia 34 e um ponto de consumo 30 de um sistema de grade regional com consumidores 36.

[0006] Em um cenário exemplar a energia elétrica é transmitida do ponto de rede ou terceiro barramento 28 da rede de transmissão através do ponto de conexão comum 20 para o ponto de consumo ou quarto barramento 30. Ainda, a energia gerada das turbinas de vento 2 do parque eólico é alimentada para a grade de transmissão geral através da grade de conexão e da linha de conexão respectivamente, 18 e o ponto de conexão comum 20.

[0007] Em um cenário de falha exemplar a linha de transmissão regional 26 está exposta a uma falha de curto-círcuito severa e preju-

dicial e desarmada pelo relé de proteção de rede. A linha de transmissão regional 26 falhada é expressivamente danificada e não pode ser reconectada antes desta ser reparada. O cenário de falha faz com que o ponto de consumo 30 do sistema de grade regional não mais possa ser suprido com energia do parque eólico e do sistema de grade localizado no ponto de rede 28. O curto-circuito causa uma severa queda de voltagem no sistema de rede inteiro.

[0008] Com referência às figuras 2 a 9 um algoritmo de controle de atravessamento de falha e recuperação de energia ativa pós-falha da melhor prática moderna está explicado.

[0009] Especificamente, as figuras 2 a 5 mostram gráficos de uma simulação de um cenário no qual quarenta e nove turbinas de vento 2 estão conectadas através da linha de conexão 18 no ponto de conexão comum 20. A figura 2 mostra um gráfico de uma simulação da voltagem relativa do ponto de conexão comum 20. Uma queda de voltagem severa de 150 ms ocorre em um ponto do tempo de aproximadamente 1 segundo quando a falha de curto-circuito ocorre na linha de transmissão regional 26. Quando a falha é resolvida, a voltagem no ponto de conexão comum 20 recupera e após as oscilações de voltagem pós-falha terem desvanecido, a voltagem no ponto 20 atinge o mesmo nível de voltagem que antes da queda de voltagem.

[00010] A figura 3 mostra um gráfico de uma simulação da voltagem relativa de uma das linhas de conexão de turbina de vento 4. Assim a figura 3 representa a voltagem relativa do conversor da turbina de vento 2. Neste controle de atravessamento de falha da melhor prática moderna o conversor reduz a corrente ativa alimentada para a linha de conexão de turbina de vento 4 por um valor que depende do valor da queda de voltagem.

[00011] A figura 4 mostra um gráfico de uma simulação da energia ativa total de um transformador de parque eólico agregado para o bar-

ramento de baixa voltagem 10 do transformador de parque eólico 12. No controle de atravessamento de falha da melhor prática moderna um fator que tem um valor de 0,5 a 1 define a relação entre a redução de corrente e o valor da queda de voltagem. No cenário de corrente o fator de redução é de aproximadamente 0,5. A energia ativa é reduzida para 15% de seu valor de pré-falha, como indicado na figura 4. A voltagem na linha de conexão de turbina de vento 4 é de aproximadamente 30% do valor de pré-falha como indicado na figura 3.

[00012] Deve ser notado que a energia ativa é aumentada de volta dentro de um espaço de tempo comparativamente pequeno de menos do que 1 segundo para o seu valor de pré-falha. As oscilações da energia ativa desvanecem essencialmente no valor de pré-queda de voltagem.

[00013] A figura 5 mostra um gráfico de uma simulação da energia reativa gerada pelas turbinas de vento 2 agregadas do parque eólico. A energia reativa total de um transformador de parque eólico agregado é alimentada para o barramento de baixa voltagem 10 do transformador de parque eólico 12. A quantidade total pós-falha de energia reativa mudou, já que o cenário de grade de rede mudou devido ao fato que o relé de proteção de sistema desconectou a linha de transmissão regional 26 falhada.

[00014] Deve ser notado que a rede permanece estável e converge dentro de um espaço de tempo comparativamente pequeno após a queda de voltagem causada pela falha severa na linha de transmissão regional 26. O sistema de rede converge, ainda que a linha de transmissão regional 26 e o ponto de consumo do sistema de grade regional 30 estejam desconectados do ponto de conexão comum 20.

[00015] Os requisitos de recuperação de atravessamento de falha específicos são padronizados por cada operador de sistema de transmissão, provedor de serviço nacional e operador de serviço de distri-

buição de cada país pelo assim denominado código de grade. Este código de grade define como uma unidade de geração de energia deve reagir no caso de uma queda de voltagem.

[00016] As figuras 6 a 9 mostram um cenário no qual cinquenta turbinas de vento 2 estão conectadas através do transformador de parque eólico 12 e a linha de conexão 18 no ponto de conexão comum 20. A figura 6 mostra um gráfico da simulação da voltagem do ponto de conexão comum 20. A figura 6 corresponde à figura 2, em que a figura 2 mostra um caso no qual somente quarenta e nove turbinas de vento formam o parque eólico. A figura 7 mostra um gráfico da simulação da voltagem de conversor da turbina de vento 2 que está alimentando energia para a linha de conexão de turbina de vento 4. Assim, a figura 7 corresponde à figura 3, exceto pelo número de turbinas de vento conectadas.

[00017] A figura 8 mostra um gráfico de uma simulação da energia ativa total do transformador de parque eólico agregado para o barramento de voltagem 10 do transformador de parque eólico 12. Consequentemente, a figura 8 corresponde à figura 4, a qual é uma simulação de somente quarenta e nove turbinas de vento conectadas no transformador de parque eólico 12.

[00018] Finalmente, a figura 9 mostra um gráfico de uma simulação da energia reativa alimentada para o barramento de baixa voltagem 10 do transformador de parque eólico 12. Assim, a figura 9 corresponde à figura 5.

[00019] Como pode ser visto nas figuras 6 a 9 a rede fica instável após a queda de voltagem causada pelo rompimento da linha de transmissão regional 26. A rede, e especificamente as voltagens e a energia gerada das turbinas de vento 2 ficam instáveis, já que a linha de conexão, isto é, a grade de conexão, 18 é um sistema de grade muito fraco. Neste caso, o parque eólico inteiro precisa ser desconec-

tado do ponto de ramificação 14 no qual uma carga 16 está conectada.

[00020] É portanto um objetivo da presente invenção superar as desvantagens da técnica anterior e prover um controle de atravessamento de falha que permita um atravessamento de falha estável, por exemplo, em um sistema de rede com uma grade de conexão fraca.

[00021] O objetivo da presente invenção é alcançado por um método de recuperação de atravessamento de falha de acordo com a reivindicação 1, um conversor de acordo com a reivindicação 9, uma unidade de geração de energia de acordo com a reivindicação 10, um parque eólico de acordo com a reivindicação 11 e um produto de programa de computador de acordo com a reivindicação 12.

[00022] O método de recuperação de atravessamento de falha monitora uma linha de energia de modo a detectar uma queda de voltagem na linha de energia que transmite energia elétrica. De preferência a linha de energia monitorada é a linha de energia na qual uma unidade de geração de energia que executa o método de recuperação de atravessamento de falha está conectada. Se uma queda de voltagem for detectada na linha de energia, a corrente ativa e/ou a energia ativa que é alimentada pela unidade de geração de energia em um ponto de alimentação em uma rede de energia que tem uma pluralidade de linhas de energia é reduzida para um valor específico, por exemplo fixo e/ou predefinido, independente do valor da queda de voltagem.

[00023] A voltagem em uma linha de energia que conecta a unidade de geração de energia a uma rede de energia pode cair para um valor de queda de voltagem devido a um curto-circuito na rede de energia. O valor de queda de voltagem pode ser, por exemplo, 50%, 30%, 25% ou 10% do valor de pré-queda de voltagem.

[00024] Um método de recuperação de atravessamento de falha da técnica anterior reduz a corrente ativa e/ou a energia ativa alimentada pela unidade de geração de energia em uma rede de energia depen-

dendo da geração pré-falha e do valor de queda de voltagem. Isto é, se a geração pré-falha for a produção nominal e o valor de queda de voltagem for 50% da voltagem pré-falha, a corrente ativa e/ou a energia ativa suprida para a rede de energia é reduzida para, por exemplo, 50% do valor de corrente nominal da unidade de geração.

[00025] Como foi acima discutido com referência às figuras 6 a 9, um método de recuperação de atravessamento de falha e/ou de energia ativa pós-falha da técnica anterior causa instabilidades se uma pluralidade, especificamente um alto número, de unidades de geração de energia, tais como as turbinas de vento, estiverem conectadas sobre uma grade de conexão fraca de um sistema de rede de energia.

[00026] Os inventores da presente invenção reconheceram que tais instabilidades podem ser evitadas, se a corrente ativa e/ou a energia ativa for reduzida para um valor específico no caso de uma queda de voltagem ser detectada em uma linha de energia. O valor específico pode ser um valor exato, predeterminado e/ou fixo. Isto é, a corrente ativa e/ou a energia ativa alimentada para a rede de energia são reduzidas para um valor específico independente ou não necessariamente somente dependente do valor de queda de voltagem. Por meio disto, um desempenho de atravessamento de falha aperfeiçoado e estável de cada unidade de geração de energia e da rede ou grade de energia inteira pode ser alcançado. A unidade de geração de energia não precisa ser desconectada, se uma rede que compreende uma grade de conexão fraca para conectar as unidades de geração de energia, for exposta a severas falhas de curto-circuito. Por meio disto, a disponibilidade da rede de energia inteira e de cada unidade de geração de energia é aperfeiçoada.

[00027] Modalidades e características especificamente vantajosas da invenção são dadas pelas reivindicações dependentes, como revelado na descrição seguinte.

[00028] O valor específico, isto é o valor de redução, da corrente ativa e/ou energia ativa pode depender das propriedades da rede de energia, na qual a unidade de geração de energia está conectada. O valor específico da corrente ativa e/ou energia ativa pode depender do número de unidades de geração de energia conectadas no ponto de alimentação da rede de energia. As propriedades da rede de energia podem ser determinadas por uma grade de conexão que acopla o ponto de alimentação na rede de energia restante. O ponto de alimentação pode estar acoplado através da grade de conexão a um barramento que constitui um ponto de conexão comum. As propriedades podem ser a capacidade de curto-círcuito, a capacidade de transferência de energia, a impedância e similares de uma linha de energia, uma grade de conexão e/ou um componente elétrico, tal como um transformador, conectado a esta.

[00029] Se uma pluralidade de unidades de geração de energia estiver conectada no ponto de alimentação da rede de energia, mais energia precisará ser transferida para a rede de energia através da linha de energia ou grade de conexão que acopla o ponto de alimentação com a rede de energia.

[00030] O valor específico da corrente ativa e/ou energia ativa pode ser reduzido se o ponto de alimentação estiver conectado na rede de energia restante por uma linha de energia fraca ou uma grade de conexão fraca. Ainda, o valor específico da corrente ativa e/ou energia ativa pode ser ajustado, por exemplo, reduzido, se um número mais alto de unidades de geração de energia estiver conectado na rede de energia por uma linha de energia fraca ou grade de conexão fraca. As propriedades da linha de energia ou da grade de conexão podem ser determinadas pela impedância e pelas propriedades de transmissão de energia da linha de energia ou da grade de conexão. Uma linha de energia ou grade de conexão fraca pode ter uma impedância mais alta

e/ou uma capacidade de transferência de energia mais baixa se comparada com uma linha de energia ou grade de conexão forte. O método de recuperação de atravessamento de falha pode ser um método de recuperação de energia ativa de atravessamento de falha.

[00031] O método de recuperação de atravessamento de falha pode ter uma etapa de espera até que as oscilações da corrente ativa e/ou da energia ativa tenham desvanecido após a redução da corrente ativa e/ou da energia ativa devido à queda de voltagem. Subsequentemente, a corrente ativa e/ou a energia ativa pode ser aumentada de volta, isto é, aumentada para o valor antes da queda de voltagem. Especificamente, o método de recuperação de atravessamento de falha pode compreender uma etapa de espera até que as oscilações da corrente ativa e/ou da energia ativa tenham sido reduzidas abaixo de um limite predeterminado. Como a corrente de recuperação ativa e/ou a energia ativa são somente aumentadas a partir de um valor específico após a falta ser liberada e a voltagem de gerador ter recuperado para um limite predeterminado, a estabilidade dos geradores e da rede de energia inteira pode ser assegurada. O aumento pode ser executado por uma função específica, especificamente predeterminada, por exemplo, por uma função linear.

[00032] Este método de recuperação de atravessamento de falha é especificamente adequado se uma pluralidade de unidades de geração de energia estiver conectada em um ponto de alimentação de uma grade de energia por uma linha de energia fraca ou uma grade de conexão fraca da rede de sistema de energia. O método de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha avançado pode ser interpretado como um conceito de controle novo e avançado para as unidades de geração de energia para aperfeiçoar e assegurar a estabilidade do sistema de rede de energia, especificamente em situações onde um alto número de unidades de geração de energia está

conectado a uma linha de energia ou grade de conexão fraca da rede de energia na rede de sistema de energia. O método de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha avançado é especificamente adequado para os parques eólicos, os quais cada vez em mais casos estão conectados a sistemas de grade fracos, já que cada vez mais novos parques eólicos estão localizados em áreas remotas e esparsamente populadas. Os parques eólicos podem estar localizados em áreas recuadas e desoladas ou linhas de costa ou offshore e assim remotas das grades de rede de energia fortes existentes. O método de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha avançado é também adequado para as redes de energia que não têm grades de interconexão fortes por razões geográficas, tais como as áreas rurais e esparsamente populadas na Austrália, Nova Zelândia e Américas.

[00033] O método de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha avançado aumenta a corrente ativa e/ou a energia ativa sobre um período de tempo predeterminado e/ou específico de um valor específico quando a voltagem recupera as condições de operação normais para o valor de pré-falha antes da queda de voltagem por uma função específica. Especificamente, a recuperação da corrente ativa e/ou da energia ativa pós-falha é aumentada essencialmente linearmente. Por meio disto, a estabilidade pós-falha geral do parque eólico e das unidades de geração conectados em grade fraca pode ser significativamente aperfeiçoada.

[00034] O período de tempo de recuperação de corrente e/ou energia ativa pós-falha predeterminado pode depender das propriedades da rede de energia, na qual o parque eólico ou as unidades de geração de energia estão conectados no ponto de conexão comum no sistema de energia e/ou do número de unidades de geração de energia e sua produção de energia ativa está conectada ao ponto de alimenta-

ção da rede de energia. Como uma regra geral o período de tempo específico é mais longo, se mais unidades de geração de energia e como tal uma produção de energia ativa mais alta for injetada no ponto de alimentação da rede de energia. Ainda, o período de tempo específico é aumentado, se a rede de energia compreender uma linha de energia ou grade de conexão fraca para conectar as unidades de geração de energia no ponto de alimentação com a rede de energia.

[00035] O período de tempo específico pode tipicamente ser mais longo do que um segundo e até vários segundos dependendo das propriedades estacionárias e dinâmicas da grade de rede de conexão comum. O valor específico e otimizado da corrente ativa pós-falha e/ou período de tempo específico, isto é, o tempo de aumento de energia ativa pode ser determinado por simulação.

[00036] Portanto, a invenção também descreve um método para determinar um valor fixo apropriado por um método para simular um evento de atravessamento de falha. Os dados de uma rede de energia, à qual uma unidade de geração de energia agregada deve ser conectada, são providos. Os dados sobre a rede de energia podem compreender os dados de uma grade de conexão ou linha de energia que conecta um ponto de alimentação para uma unidade de geração de energia para a rede de sistema de energia. Os dados de pelo menos uma unidade de geração de energia agregada a ser conectada na grade de conexão são providos. Os dados da pelo menos uma unidade de geração de energia agregada podem compreender a impedância da unidade de geração de energia, a energia máxima suprida, o controle elétrico completo e os dados do conversor e similares. A recuperação de atravessamento de falha pode ser simulada pela simulação das voltagens, correntes, energias e/ou a queda de voltagem na rede de energia e na pelo menos uma unidade de geração de energia agregada. Não é necessário simular os componentes elétricos e os

valores da rede de energia inteira. Tipicamente, somente os dados e os valores elétricos relativos ao estado estável e às propriedades dinâmicas da linha de energia ou grade de conexão que conecta o ponto de alimentação na rede restante precisam ser considerados. O valor específico apropriado da corrente ativa e/ou da energia ativa é dependente das propriedades de pelo menos uma parte da rede de energia e determinado simulando o evento de sequência de atravessamento de falha e/ou pós-falha completo. O valor específico apropriado pode ser determinado dependendo do número de unidades de geração de energia e produção de energia ativa gerada a serem conectadas a um ponto de alimentação da rede de energia simulando a recuperação de atravessamento de falha. O valor específico apropriado pode ser determinado de modo que a operação normal possa ser reiniciada dentro de um espaço de tempo aceitável sem causar instabilidades de pelo menos uma parte da rede de energia e sem arriscar uma operação instável das unidades de geração de energia.

[00037] Ainda, a invenção descreve um método para determinar um período de tempo predeterminado apropriado simulando um evento de sequência de atravessamento de falha e/ou recuperação. Os dados de pelo menos uma parte da rede de energia, na qual uma unidade de geração de energia deve ser conectada, são providos. Os dados de pelo menos uma unidade de geração de energia a ser conectada na rede de energia, são providos. O atravessamento de falha e/ou corrente ativa pós-falha e/ou recuperação de energia são simulados pela simulação das voltagens, energias e/ou queda de voltagem em pelo menos uma parte da rede de energia e em pelo menos uma unidade de geração de energia. O tempo e/ou função apropriados de restauração de energia ativa pós-falha são determinados dependendo das propriedades de pelo menos uma parte da rede de energia simulando a sequência de eventos de atravessamento de falha e/ou recuperação

de energia ativa pós-falha. O período de tempo e/ou função predeterminado ou específico apropriado pode ser determinado, dependendo do número de unidades de geração de energia e produção de energia ativa gerada injetada no ponto de alimentação da rede de energia, simulando a recuperação de energia de atravessamento de falha e/ou energia ativa pós-falha. O período de tempo e/ou função predeterminado pode ser selecionado de modo que a operação normal seja reiniciada dentro de um período de tempo aceitável após uma queda de voltagem, e de modo que nenhuma instabilidade ocorra na rede de energia ou na(s) unidade(s) de geração de energia. O primeiro e o segundo métodos para simular um atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha podem ser combinados.

[00038] A invenção também descreve um conversor que compreende um detector para detectar uma queda de voltagem e um redutor que está adaptado para executar o método de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha avançado. O detector pode ser uma interface que recebe um sinal de uma unidade de monitoramento ou unidade de determinação que indica que uma queda de voltagem ocorreu.

[00039] Cada turbina de vento compreende um conversor. O conversor pode compreender componentes eletrônicos de energia tais como tiristores, TRIACs, FETs de energia, IGBTs, PWMs e similares.

[00040] Ainda, a invenção descreve uma unidade de geração de energia que compreende tal conversor. A unidade de geração de energia pode ser uma turbina de vento.

[00041] A invenção também descreve um parque eólico que tem uma pluralidade de turbinas de vento, em que pelo menos uma turbina de vento compreende a unidade de geração de energia acima mencionada.

[00042] A invenção ainda descreve um produto de programa de

computador que compreende um meio de código de programa para executar as etapas do método de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha e o método de simular um atravessamento de falha. Estes métodos podem ser executados em computador programável. O método de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha avançado pode também ser implementado por componentes lógicos, os quais podem incluir componentes lógicos programáveis.

[00043] Outros objetos e características da presente invenção se tornarão aparentes a partir das seguintes descrições detalhadas, consideradas em conjunto com os desenhos acompanhantes. Deve ser compreendido, no entanto, que os desenhos estão executados somente para os propósitos de ilustração e não como uma definição dos limites da invenção.

[00044] figura 1 mostra um esquema de um parque eólico com unidades de geração de energia conectadas através de um transformador de intensificação e uma linha de energia para o ponto de interconexão da rede de sistema de transmissão de energia;

figura 2 mostra um gráfico de uma simulação da voltagem relativa do barramento de interconexão de um método de atravessamento de falha da técnica anterior, em que quarenta e nove turbinas de vento estão conectadas a um ponto de alimentação da rede de sistema de energia;

figura 3 mostra um gráfico de uma simulação da voltagem relativa de uma das linhas de conexão de turbina de vento de um método de atravessamento de falha da técnica anterior, em que quarenta e nove turbinas de vento estão conectadas a um ponto de alimentação da rede de sistema de energia;

figura 4 mostra um gráfico de uma simulação da energia ativa do parque eólico agregado, suprida através do transformador de

parque eólico de um método de atravessamento de falha da técnica anterior, em que quarenta e nove turbinas de vento estão conectadas a um ponto de alimentação da rede de sistema de energia;

figura 5 mostra um gráfico de uma simulação da energia reativa gerada pelas turbinas de vento agregadas do parque eólico de um método de atravessamento de falha da técnica anterior, em que quarenta e nove turbinas de vento estão conectadas a um ponto de alimentação da rede de sistema de energia;

figura 6 mostra um gráfico da voltagem relativa do barramento de interconexão de um método de atravessamento de falha da técnica anterior, em que cinquenta turbinas de vento estão conectadas a um ponto de alimentação da rede de sistema de energia;

figura 7 mostra um gráfico de uma simulação da voltagem relativa de uma das linhas de conexão de turbina de vento de um método de atravessamento de falha da técnica anterior, em que cinquenta turbinas de vento estão conectadas a um ponto de alimentação da rede de sistema de energia;

figura 8 mostra um gráfico de uma simulação da energia ativa do parque eólico agregado, suprida através do transformador de parque eólico de um método de atravessamento de falha da técnica anterior, em que cinquenta turbinas de vento estão conectadas a um ponto de alimentação da rede de sistema de energia;

figura 9 mostra um gráfico de uma simulação da energia reativa gerada pelas turbinas de vento agregadas do parque eólico de um método de atravessamento de falha da técnica anterior, em que cinquenta turbinas de vento estão conectadas a um ponto de alimentação da rede de sistema de energia;

figura 10 mostra um gráfico da voltagem relativa de um barramento de interconexão durante um método de controle de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha de

acordo com a presente invenção, em que sessenta turbinas de vento estão conectadas a um ponto de alimentação da rede de sistema de energia;

figura 11 mostra um gráfico de uma simulação da voltagem relativa de uma das linhas de conexão de turbina de vento durante um método de recuperação de atravessamento de falha e energia ativa pós-falha de acordo com a presente invenção, em que sessenta turbinas de vento estão conectadas a um ponto de alimentação da rede de sistema de energia;

figura 12 mostra a sequência de controle de recuperação de atravessamento de falha, e energia ativa pós-falha de acordo com a presente invenção;

figura 13 mostra um gráfico de uma simulação da energia ativa do parque eólico agregado, suprida através do transformador de parque eólico de um método de controle de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha de acordo com a presente invenção, em que sessenta turbinas de vento estão conectadas a um ponto de alimentação da rede de sistema de energia;

figura 14 mostra um gráfico de uma simulação da energia reativa, gerada pelas turbinas de vento agregadas do parque eólico de um método de controle de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha de acordo com a presente invenção, em que sessenta turbinas de vento estão conectadas a um ponto de alimentação da rede de sistema de energia; e

figura 15 mostra mais detalhes de uma turbina de vento conectada a uma linha de energia.

[00045] Nos desenhos, os números de referência iguais referem a objetos iguais através de toda a descrição. Os objetos nos diagramas não estão necessariamente desenhados em escala.

[00046] Apesar da presente invenção ter sido descrita na forma de

modalidades preferidas e de variações sobre as mesmas, será compreendido que numerosas modificações e variações adicionais poderiam ser feitas a estas sem afastar do escopo da invenção.

[00047] O método de controle de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha avançado de acordo com a presente invenção está explicado com referência às figuras 1 e 10 a 14. Referindo à figura 1, sessenta turbinas de vento 2 estão conectadas através de um barramento coletor de parque eólico 10 a um transformador de intensificação de parque eólico 12. As sessenta turbinas de vento alimentam a energia através do ponto de conexão comum ou segundo barramento 20 e uma linha de transmissão regional 26 para um ponto de consumo de um sistema de grade regional 30. Como acima mencionado, um consumidor 36 consome a energia gerada pelas turbinas de vento 2 e a energia transferida do sistema de grade de rede, por exemplo, em uma primeira unidade de geração de energia 32.

[00048] O cenário de falha simulada é, como acima mencionado, uma falha e desarme da linha de transmissão regional 26. Assim, o cenário de falha simulada corresponde ao cenário de falha discutido sob-referência às figuras 1 a 9 com relação a um método de atravessamento de falha da técnica anterior, exceto que ainda mais, por exemplo, 20% mais turbinas de vento estão conectadas na rede de energia que tem uma grade de conexão ou linha de conexão fraca 18.

[00049] A figura 10 mostra um gráfico de uma simulação da voltagem relativa do ponto de conexão comum 20 durante um atravessamento de falha. Em um ponto de tempo de um segundo uma queda de voltagem ocorre, já que a linha de transmissão regional 26 é exposta a uma falha de curto-círcuito e posteriormente desconectada. Após desconectar a linha de transmissão regional 26 e iniciar o método de controle de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa

pós-falha avançado, a voltagem relativa do ponto de conexão comum 20 retorna para o seu valor de pré-falha.

[00050] A figura 11 mostra um gráfico de simulação da voltagem relativa de uma das linhas de conexão de turbina de vento agregadas 4 durante um atravessamento de falha de acordo com a presente invenção. Após desconectar a linha de transmissão regional 26 e iniciar o método de controle de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha avançado, a voltagem relativa da linha de conexão de turbina de vento 4 retorna para o seu valor de pré-falha.

[00051] A figura 12 mostra a sequência de controle de recuperação de atravessamento de falha e energia ativa pós-falha de acordo com a presente invenção. Após uma falha ser detectada, a energia e/ou corrente ativa é reduzida para um valor predeterminado. A referência de energia ativa é também reduzida para um valor específico. Quando o atravessamento de falha é desativado, a energia ativa pós-falha suprida pela turbina de vento é aumentada sobre o tempo de aumento linearmente. O tempo de aumento pode ser mais longo do que 2 segundos, de preferência mais longo do que 4 segundos, mais de preferência mais longo do que 6 segundos, ainda mais de preferência mais longo do que 8 segundos.

[00052] A figura 13 mostra um gráfico de uma simulação da energia ativa do parque eólico agregado, suprida através do transformador de parque eólico 12 de um método de controle de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha de acordo com a presente invenção. Após a queda de voltagem, a energia ativa suprida por cada uma das turbinas de vento 2 é reduzida para um valor predeterminado. Após o atravessamento de falha ter sido desativado, a energia ativa pós-falha é aumentada sobre um espaço de tempo predeterminado, de preferência a energia ativa é aumentada linearmente. Como pode ser visto da figura 13, a energia ativa é aumentada para o valor

de pré-falha após as oscilações terem desvanecido ou caído abaixo de um limite predeterminado. Por meio disto, a estabilidade e a disponibilidade do parque eólico e da rede de energia podem ser aumentadas, e mais turbinas de vento 2 podem ser conectadas a uma rede de energia que tem uma grade de conexão 18 fraca.

[00053] A figura 14 mostra um gráfico de uma simulação da energia reativa gerada pelas turbinas de vento, agregadas do parque eólico de um método de controle de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha de acordo com a presente invenção. A energia reativa reflete o controle de voltagem dinâmico da turbina de vento agregada, e é utilizada para prover um suporte geral e estabilizar a voltagem de grade pós-falha. A corrente e/ou a energia é aumentada para um valor estável após as oscilações caírem abaixo de um limite predeterminado. Tal método aperfeiçoa a estabilidade e a disponibilidade da rede de energia, e mais turbinas de vento 2 podem ser conectadas a uma rede de energia que tem uma grade de conexão 18 fraca.

[00054] Deve ser notado, que na simulação de acordo com a figura 14, a energia reativa não está retornando para o seu valor de pré-falha, porque a configuração de rede mudou pela desconexão da linha de transmissão regional 26 e/ou dos componentes de grade adicionais conectados no ponto de consumo de um sistema de grade regional 30.

[00055] Referência é feita à figura 15 que mostra mais detalhes da turbina de vento. A turbina de vento compreende três pás 38. As pás 38 estão conectadas a um rotor 40 de um gerador, cujo rotor 40 está envolvido por um estator 42. A energia produzida pelo gerador é retificada através da ponte de máquina de conversor de CA para a conexão CC e adicionalmente convertida pelo inversor de ponte de rede e injetada na rede de energia através de uma linha de conexão de turbina de vento 8. A turbina de vento ainda compreende uma unidade de

monitoramento 50 para monitorar as condições de voltagem e energia de terminal de conversor da linha de conexão de turbina de vento 4. No caso em que uma queda de voltagem ocorre, a unidade de monitoramento 50 sinaliza para um detector 48 do conversor 46 que uma queda de voltagem está ocorrendo. Posteriormente, um sistema de controle de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha avançado de um redutor 52 do conversor 46 é disparado para executar o método de controle de atravessamento de falha e/ou recuperação de energia ativa pós-falha avançado acima mencionado.

[00056] Tal redutor 52 comprehende um circuito com componentes de energia eletrônicos, tais como tiristores, TRIACs, FETs de energia, IGBTs, PWMs e/ou um software os quais estão configurados para reduzir a corrente e/ou energia ativa conforme apropriado de acordo com a invenção. Várias configurações são possíveis, como será conhecido pela pessoa versada na técnica.

[00057] O método de atravessamento de falha avançado, de acordo com a presente invenção, pode definir um novo código de grade ou um código de grade auxiliar para as redes de energia nas quais uma pluralidade de unidades de geração de energia está conectada a uma rede de energia que tem uma grade de conexão fraca. Tal método de atravessamento de falha avançado aumenta a estabilidade e a disponibilidade da rede de energia, e mais unidades de geração de energia podem ser conectadas a uma rede de energia que tem uma grade de conexão fraca.

[00058] Por motivo de clareza, deve ser compreendido que a utilização de "um" ou "uma" através de todo este pedido não exclui uma pluralidade, e "compreendendo" não exclui outras etapas ou elementos.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de atravessamento de falha que compreende as seguintes etapas,

- detectar uma queda de voltagem em uma linha de energia (4) transmitindo energia elétrica; e

- se uma queda de voltagem for detectada na linha de energia (4), reduzir a corrente ativa e/ou a energia ativa que é alimentada por uma unidade de geração de energia (2) e injetada por um conversor (46) para um valor específico em um ponto de alimentação em uma rede de energia tendo uma pluralidade de linhas de energia,

- aguardar até que as oscilações da corrente ativa e/ou da energia ativa tenham essencialmente reduzido abaixo de um limite predeterminado após a redução da corrente ativa e/ou da energia ativa; e

- subsequentemente, aumentar a corrente ativa e/ou a energia ativa acima de um período de tempo predeterminado de um valor específico para o valor alcançado antes da queda de voltagem por meio de uma função específica,

caracterizado pelo fato de que a unidade de geração de energia (2) é uma turbina eólica, sendo que o valor específico é independente do valor da queda de voltagem, sendo que o valor específico da corrente ativa e/ou o valor específico da energia ativa depende da impedância e das propriedades de transmissão da linha de energia ou da conexão da rede na qual a unidade de geração de energia (2) está conectada, e do número de unidades de geração de energia (2) conectadas no ponto de alimentação da rede de energia, sendo que o período de tempo predeterminado depende no número de unidades geradoras de energia (2) a ser conectado ao ponto de alimentação da rede de energia.

2. Método de atravessamento de falha de acordo com a rei-

vindicação 1, caracterizado pelo fato de que o valor da queda de energia é de pelo menos 10% do valor antes da queda de energia.

3. Método de atravessamento de falha de acordo com a reivindicação 1 ou 2, caracterizado pelo fato de que a corrente ativa e/ou a energia ativa são aumentadas linearmente.

4. Método de atravessamento de falha de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 3, caracterizado pelo fato de que o período de tempo predeterminado depende das propriedades de pelo menos uma parte da rede de energia a qual a unidade geradora de energia (2) está ligada no ponto de alimentação.

5. Método de atravessamento de falha de acordo com qualquer uma das reivindicações 1 a 4, caracterizado pelo fato de que o período de tempo predeterminado é mais longo do que um segundo, de preferência dois segundos, mais de preferência quatro segundos, mais de preferência seis segundos, mais de preferência sete segundos.

6. Conversor (46) que comprehende um detector (48) para detectar uma queda de voltagem e um redutor (52), caracterizado pelo fato de que é adaptado para executar as etapas do método com definido em qualquer uma das reivindicações 1 a 5.

7. Unidade de geração de energia (2), caracterizada pelo fato de que comprehende o conversor como definido na reivindicação 6.

8. Parque eólico que tem uma pluralidade de turbinas de vento (2), caracterizado pelo fato de que pelo menos uma turbina de vento (2) comprehende a unidade de geração de energia como definida na reivindicação 7.

FIG 1

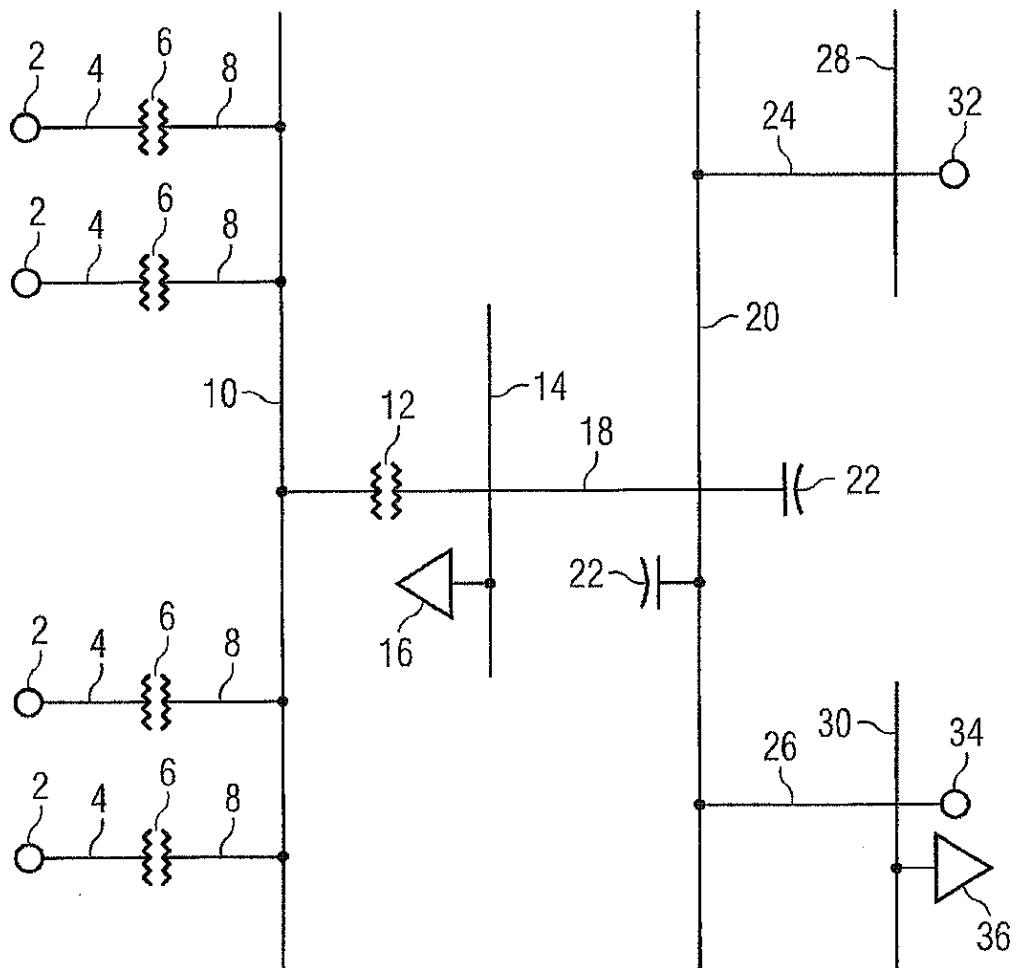


FIG 2

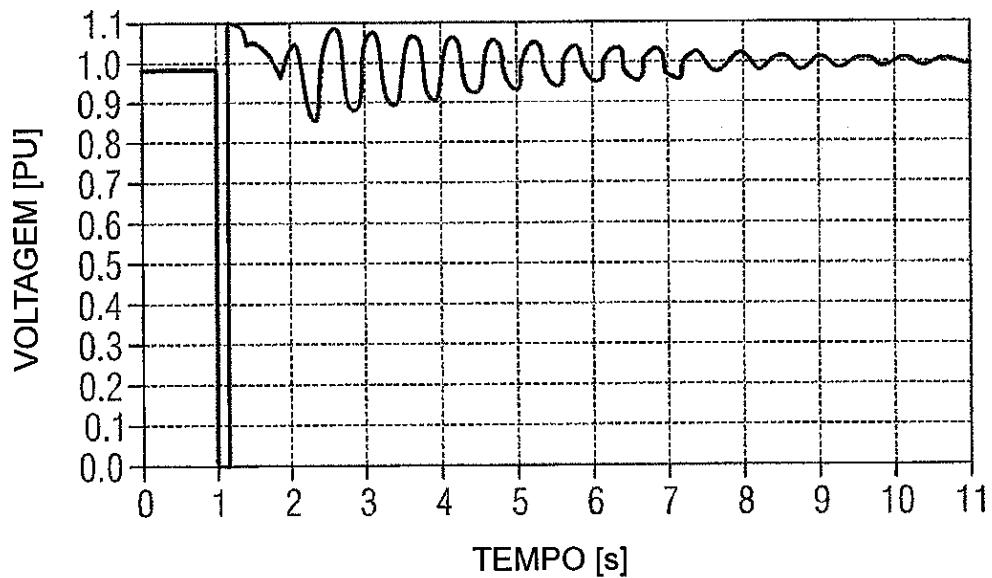


FIG 3

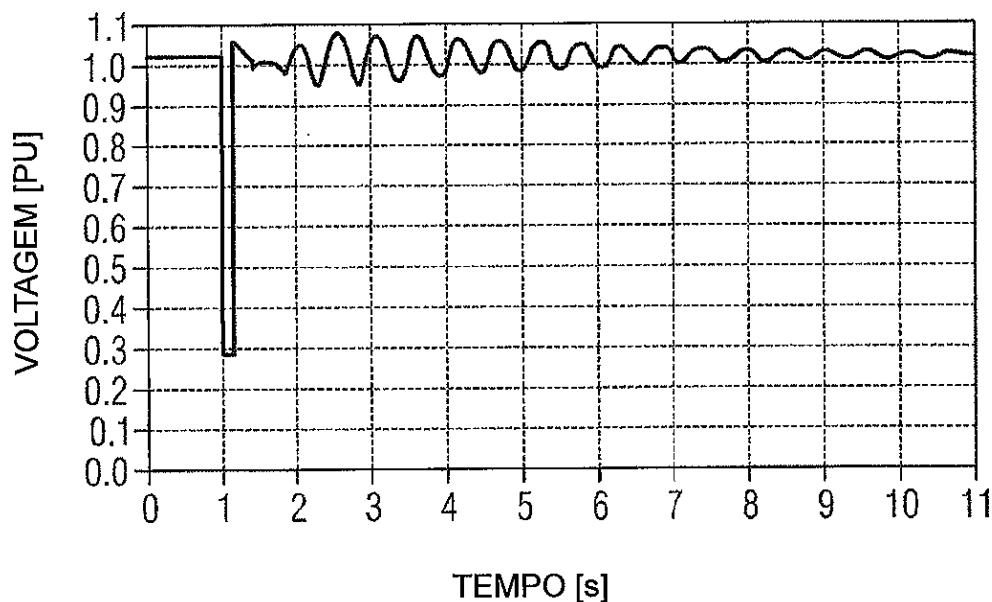


FIG 4

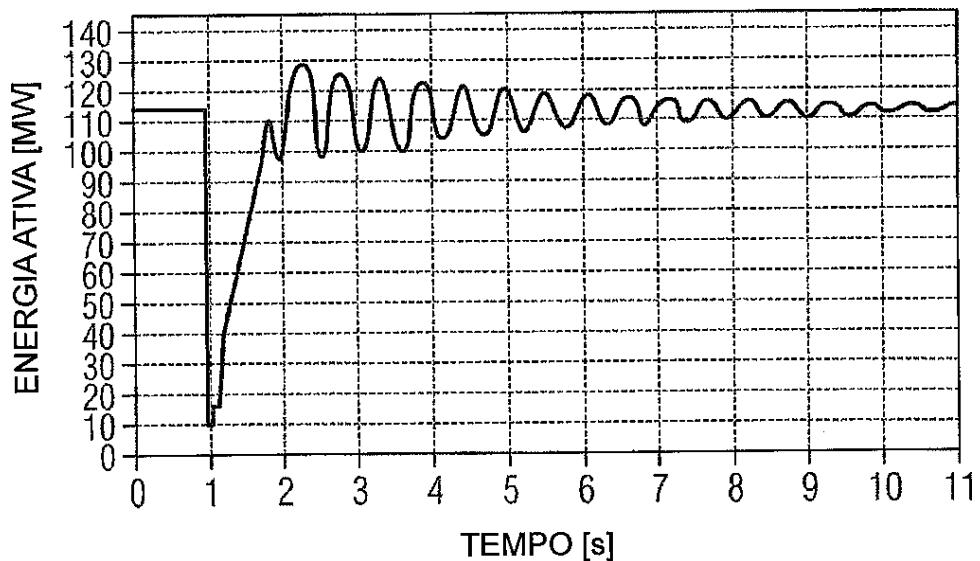


FIG 5

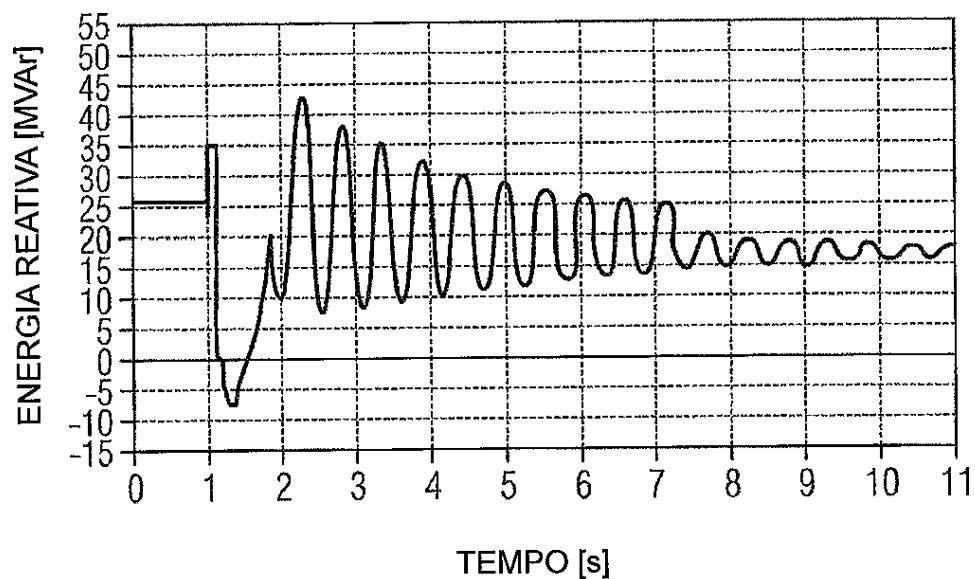


FIG 6

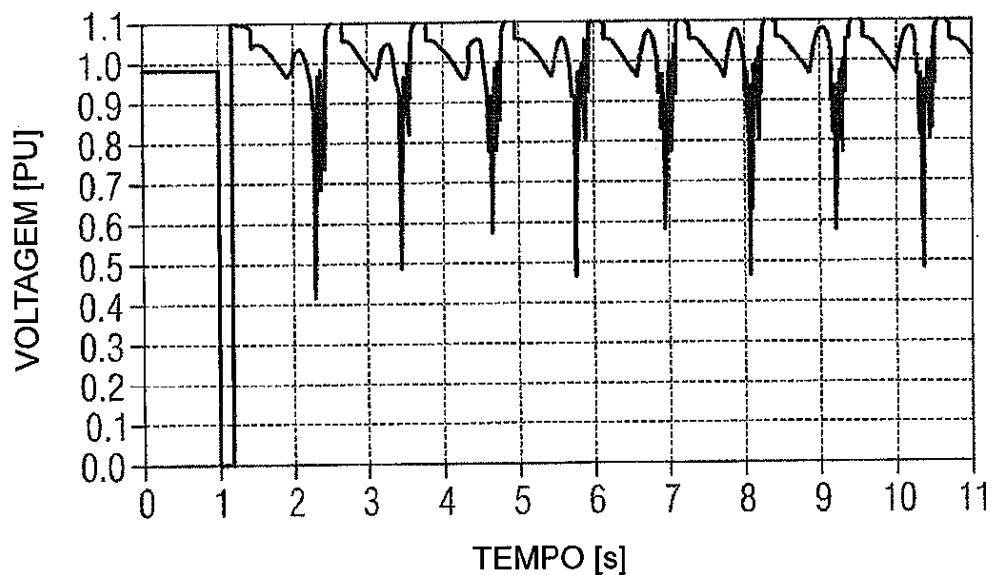


FIG 7

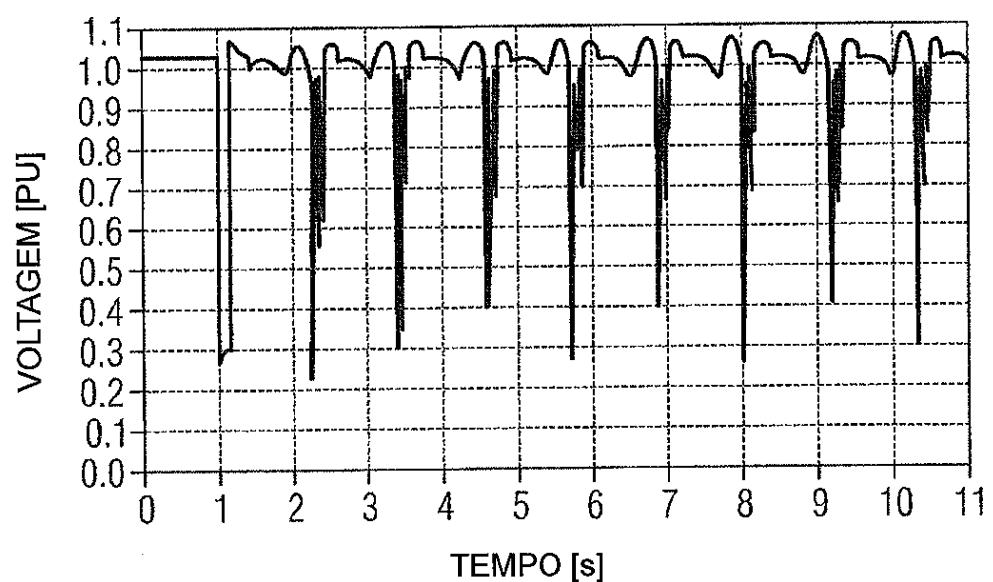


FIG 8

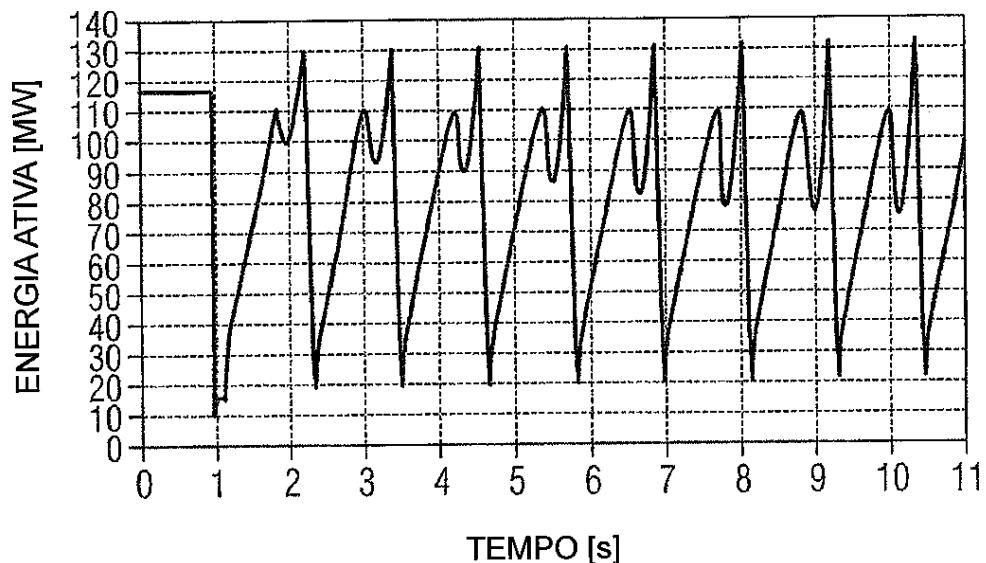


FIG 9

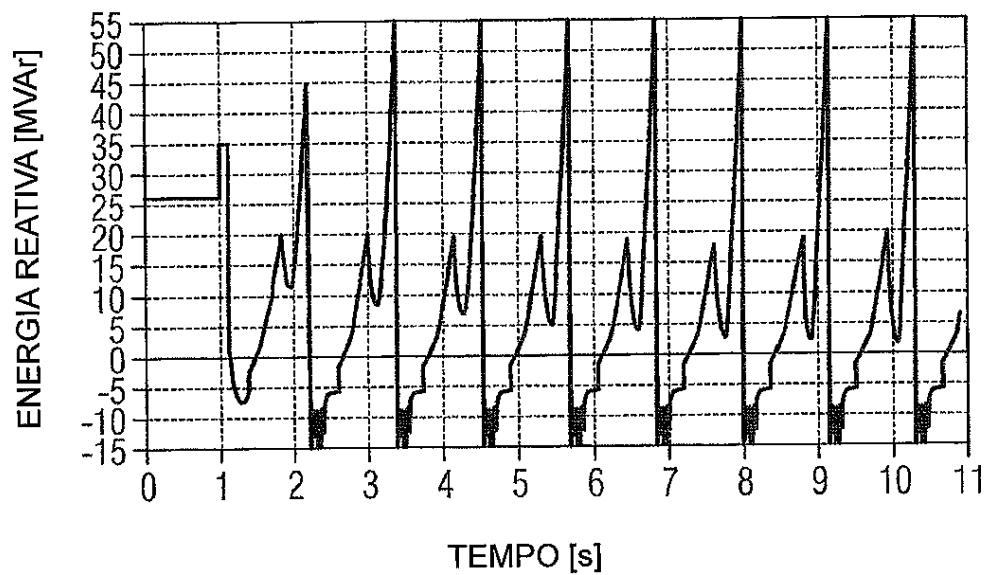


FIG 10

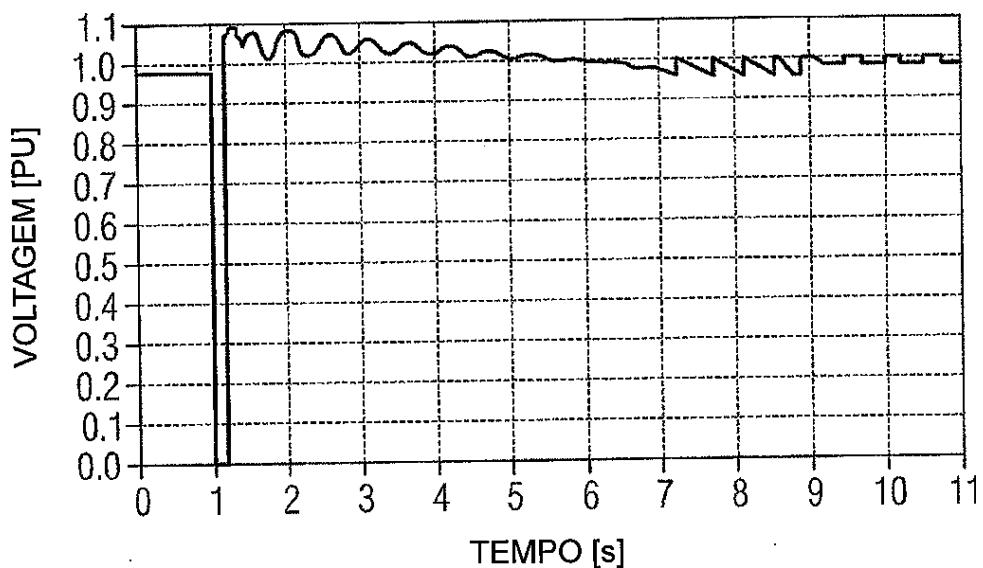


FIG 11

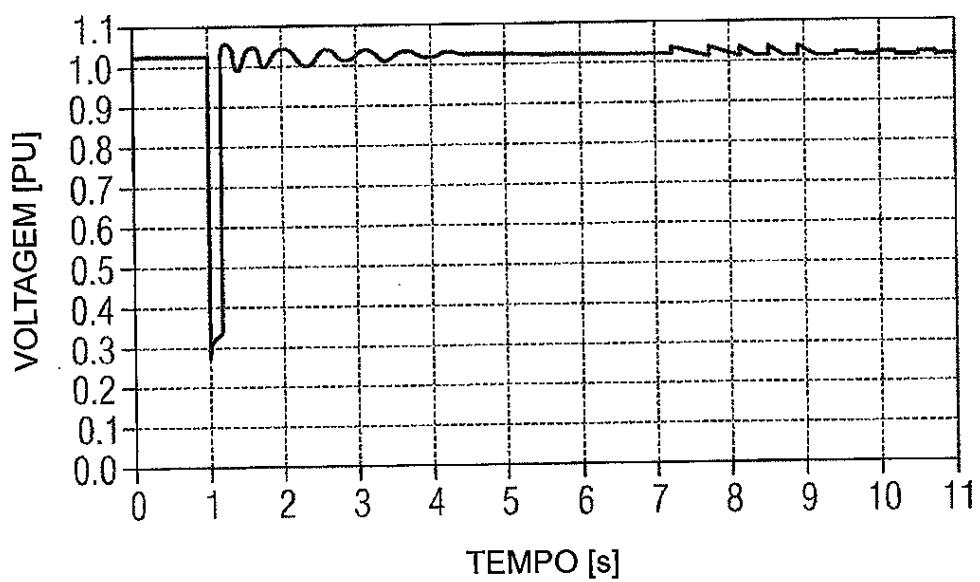


FIG 12

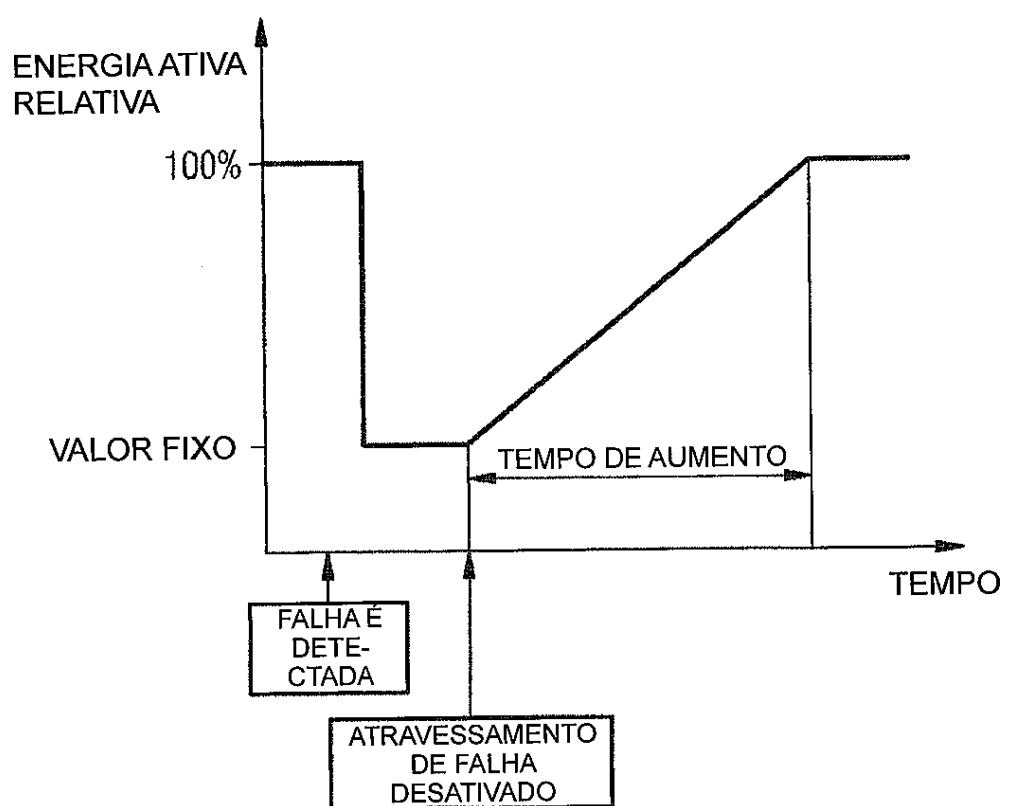


FIG 13

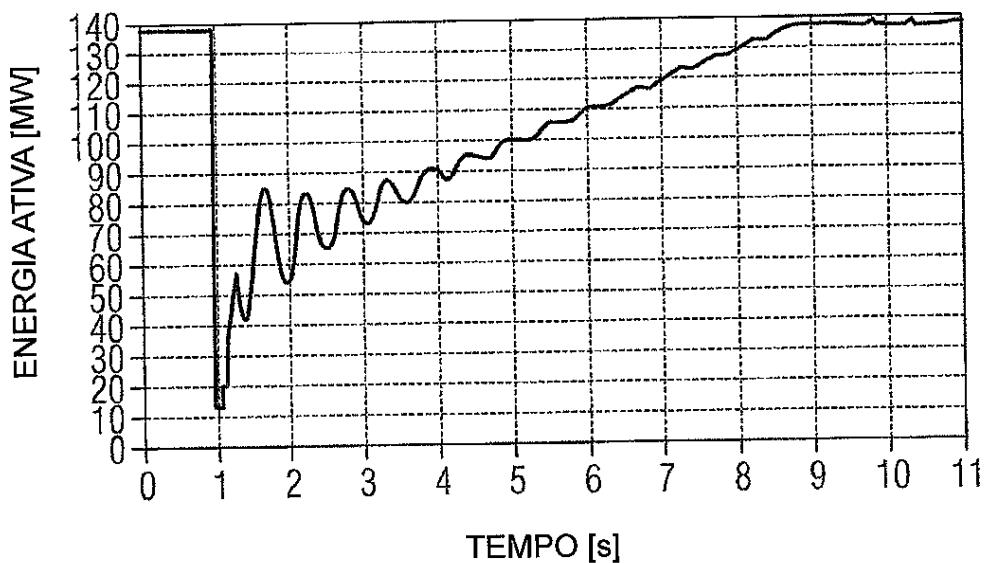


FIG 14

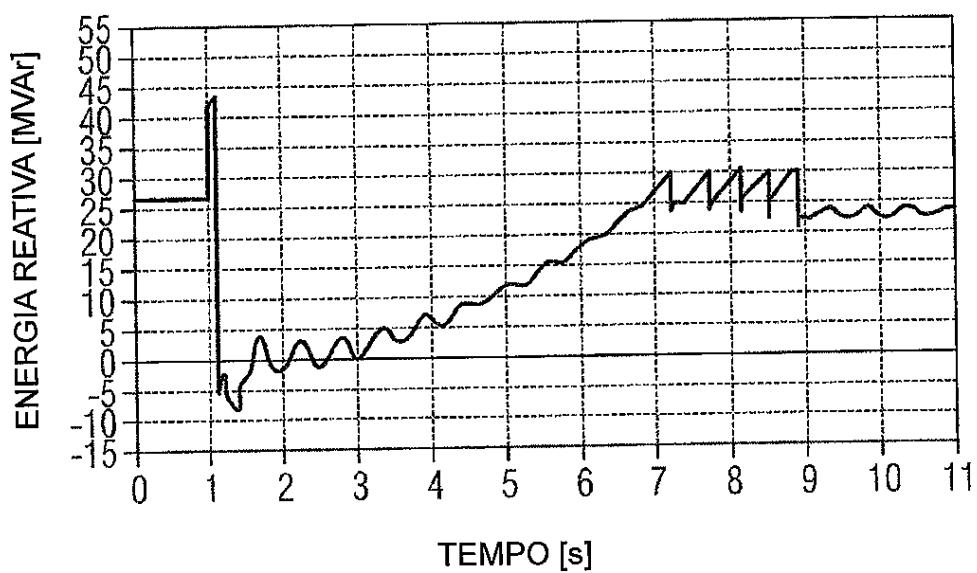


FIG 15

