



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

(21) PI 0722022-7 A2



(22) Data de Depósito: 14/12/2007
(43) Data da Publicação: 25/03/2014
(RPI 2255)

(51) Int.Cl.:
F03D 7/04

(54) Título: SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA E MÉTODO DE CONTROLE DE OPERAÇÃO DO MESMO

(57) Resumo:

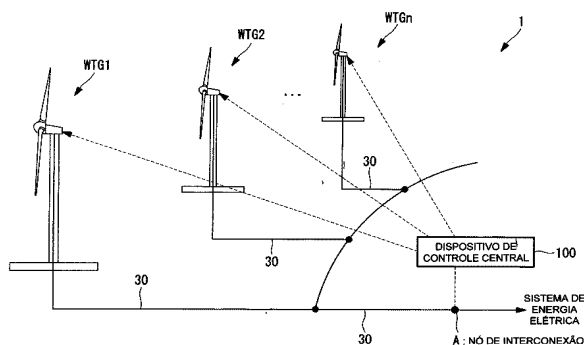
(73) Titular(es): Mitsubishi Heavy Industries, LTD.

(72) Inventor(es): Akira Yasugi, Masaaki Shibata, Shinji Arinaga, Takatoshi Matsushita, Tsuyoshi Wakasa

(74) Procurador(es): NELLIE ANNE DAIEL-SHORES

(86) Pedido Internacional: PCT JP2007074110 de 14/12/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2009/078072de
25/06/2009



“SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA E MÉTODO DE CONTROLE DE OPERAÇÃO DO MESMO”

Campo Técnico

5 A presente invenção refere-se a um sistema de geração de energia eólica e um método de controle de operação do mesmo.

Antecedente da Técnica

10 Suavizar flutuações de saída de uma estação eólica é conhecido. Se o desvio-padrão da flutuação de saída de uma turbina de vento for definido como σ , então o σ_{total} do desvio-padrão da flutuação de saída de uma estação eólica com M turbinas de vento é representado pela equação a seguir (1) contanto que as flutuações de saída de cada turbina de vento não sejam correlatadas (aleatórias).

[Equação 1]

$$\sigma_{total} = \sigma\sqrt{M} \quad (1)$$

15 Citação da Patente 1: patente US No. 6724097, relatório descritivo,

Citação da Patente 2: patente US No. 6946751, relatório descritivo.

Revelação da Invenção

20 Porém, se a correlação das flutuações de saída de cada turbina de vento na estação eólica for alta, há um risco que a flutuação de saída da estação eólica não será suavizada, mas será observado como uma flutuação de saída grande.

A presente invenção foi concebida para solucionar os problemas supracitados, e um objetivo da mesma é fornecer um sistema de geração de energia eólica que pode diminuir a flutuação de saída em um nó de interconexão e um método de controle de operação do mesmo.

25 Para solucionar o problema supracitado, a presente invenção emprega as soluções a seguir.

O primeiro aspecto da presente invenção é um método de controle de operação de um sistema de geração de energia eólica fornecido com uma pluralidade de turbinas de vento em que a potência de cada turbina de vento é provida a um sistema de energia elétrica através de um nó de interconexão comum, o método de controle de operação do sistema de geração de energia eólica compreendendo: uma etapa de obter os dados de saída de cada turbina de vento; uma etapa de determinar uma correlação entre as flutuações de saída das turbinas de vento adjacentes usando os dados de saída; e uma etapa de alterar, se uma correlação forte for apresentada, uma fase da flutuação de saída de qualquer uma das duas turbinas de vento adjacentes por um período no qual a correlação forte é apresentada.

De acordo com um tal método de controle de operação, a correlação das flutuações de saída das turbinas de vento posicionadas adjacientemente é obtida e, se aquela correlação for forte, a fase da flutuação de saída de qualquer uma das duas turbinas de vento adjacientes é alterada pelo período no qual a correlação forte é apresentada, portanto, é possível enfraquecer a correlação das flutuações de saída entre as turbinas de vento adjacientes.

Como resultado, é possível relaxar a flutuação de saída no nó de interconexão no qual a potência de saída de cada turbina de vento é provida, e prover energia elétrica mais estável para o sistema de energia elétrica.

A expressão "se uma correlação forte for apresentada" significa, por exemplo, uma situação onde um valor de correlação mais de 2 vezes maior que o nível médio da correlação é apresentado. Por exemplo, no gráfico mostrado na FIG. 5, um pico exibindo um valor de correlação mais de 2 vezes maior que o nível médio da correlação é mostrado. Uma situação como esta será julgada como uma correlação forte.

No método de controle de operação do sistema de geração de energia eólica supracitado, a fase da flutuação de saída pode ser alterada alterando um ângulo do passo da pá de qualquer uma das duas turbinas de vento adjacientes.

Alterando qualquer um dos dois ângulos do passo da pá desta maneira, a velocidade rotacional do gerador é alterada; como resultado, é possível alterar a fase da flutuação de saída. Desse modo, é possível enfraquecer a correlação das flutuações de saída entre as turbinas de vento adjacientes.

Além disso, no método de controle de operação do sistema de geração de energia eólica supracitado, a fase da flutuação de saída pode ser alterada alterando uma velocidade rotacional de um gerador de qualquer uma das duas turbinas de vento adjacientes.

Alterando a velocidade rotacional de qualquer um dos dois geradores desse modo, é possível alterar a fase da flutuação de saída. Desse modo, é possível enfraquecer a correlação das flutuações de saída entre as turbinas de vento adjacientes.

O segundo aspecto da presente invenção é um sistema de geração de energia eólica fornecido com uma pluralidade de turbinas de vento em que a potência produzida de cada turbina de vento é provida a um sistema de energia elétrica através de um nó de interconexão comum, no qual os dados de saída de cada turbina de vento são obtidos; uma correlação entre as flutuações de saída das turbinas de vento adjacientes é determinada usando dados de saída; e se uma correlação forte for apresentada, uma fase da saída de qualquer uma das duas turbinas de vento adjacientes é alterada por um período no qual a correlação forte é apresentada.

De acordo com a presente invenção, uma vantagem é dada em que é possível diminuir a flutuação de saída no nó de interconexão.

Breve Descrição dos Desenhos

[FIG. 1] FIG. 1 é um diagrama ilustrando a configuração geral de um sistema de geração de energia eólica de acordo com uma modalidade da presente invenção.

[FIG. 2] FIG. 2 é um diagrama ilustrando a configuração de uma turbina de vento de acordo com uma modalidade da presente invenção.

5 [FIG. 3] FIG. 3 é um diagrama ilustrando, em mais detalhes, a configuração da turbina de vento mostrada na FIG. 2.

[FIG. 4] FIG. 4 é um diagrama de blocos ilustrando uma configuração de exemplo de um gerador e a periferia dos mesmos.

10 [FIG. 5] FIG. 5 é um gráfico ilustrando um exemplo do valor de correlação da flutuação de saída de uma turbina de vento.

Explicação de Referência:

1 sistema de geração de energia eólica

100 dispositivo de controle central

30 linha de energia elétrica

15 A nó de interconexão

WTG1, WTG2, WTGn Turbinas de vento

Melhor Modo para Levar a Cabo a Invenção

No seguinte, uma modalidade de um sistema de geração de energia eólica e um método de controle de operação do mesmo de acordo com a presente invenção será descrito com referência aos desenhos.

FIG. 1 é um diagrama de blocos que mostra a configuração geral de um sistema de geração de energia eólica de acordo com esta modalidade. Como mostrado na FIG. 1, uma geração de potência de vento para sistema 1 é proporcionado uma pluralidade de turbinas de vento WTG1, WTG2, ..., WTGn (doravante, quando referir-se a todas as turbinas de vento, elas serão atribuídas simplesmente com o sinal de referência "WTG", e quando referir-se a cada turbina de vento individualmente, elas serão atribuídas com os sinais de referência "WTG1", "WTG2", e assim sucessivamente) e um dispositivo de controle central 100 que dá um comando de controle para cada turbina de vento WTG. Nesta modalidade, cada turbina de vento WTG pode ser uma turbina de vento de velocidade variável ou uma turbina de vento de velocidade constante.

A potência de saída de cada turbina de vento WTG1, WTG2..., WTGn é provida a um sistema de energia elétrica através do nó de interconexão comum A por meio de uma linha de energia elétrica 30.

35 Como mostrado na FIG. 2, cada turbina de vento WTG é equipada com uma torre 2 e uma nacela 3 montadas na extremidade superior da torre 2. A nacela 3 é capaz de girar-se na direção da guinada e é direcionada para uma direção desejada por um mecanismo de giro da nacela 4. Um gerador 5 e uma caixa de câmbio 6 são montados na nacela 3. Um

rotor do gerador 5 é conectado a um rotor da turbina de vento 7 através da caixa de câmbio 6.

O rotor da turbina de vento 7 é provido com pás 8 e um centro 9 para suportar as pás 8. As pás 8 são montadas de forma que seus ângulos de passo são ajustáveis. Especificamente, como mostrado na FIG. 3, um cilindro hidráulico 11 para guiar as pás 8 e uma válvula servo 12 para prover pressão hidráulica ao cilindro hidráulico 11 é acomodado no centro 9. Dependendo do grau de abertura da válvula servo 12, a pressão hidráulica a ser provida ao cilindro hidráulico 11 é controlada, e assim, as pás 8 são controladas no ângulo de passo desejado.

Referindo novamente à FIG. 2, um medidor de velocidade/direção 10 é também montado na nacela 3. O medidor de velocidade/direção do vento 10 mede a velocidade do vento e a direção do vento. A nacela 3 é girada em resposta à velocidade do vento e à direção do vento medidas pelo medidor de velocidade/direção do vento 10.

FIG. 4 é um diagrama de blocos que mostra uma configuração exemplar do gerador 5 e da periferia do mesmo. O gerador 5 nesta modalidade é configurado de forma que a potência elétrica gerada pelo gerador 5 pode ser produzida para o sistema de energia elétrica através de uma bobina de estator e uma bobina de rotor. Especificamente, no gerador 5, sua bobina de estator é conectada diretamente ao sistema de energia elétrica, e a bobina de rotor é conectada ao sistema de energia elétrica através de um conversor AC-DC-AC 17.

O conversor AC-DC-AC 17 é formado de um retificador ativo 14, um barramento de DC 15, e um inversor 16 e converte a potência AC recebida da bobina de rotor em potência AC que é ajustada à frequência do sistema de energia elétrica. O retificador ativo 14 converte a potência AC gerada na bobina de rotor em potência DC, e produz potência DC para o barramento DC 15. O inversor 16 converte a potência DC recebida do barramento DC 15 em potência AC da mesma frequência que o sistema de energia elétrica, e produz potência AC.

O conversor AC-DC-AC 17 também tem uma função para converter a potência AC recebida do sistema de energia elétrica em potência AC que é ajustada à frequência da bobina de rotor, e o conversor de AC-DC-AC 17 é também usado para excitar a bobina de rotor dependendo dos estados operacionais da turbina de vento WTG. Neste caso, o inversor 16 converte a potência AC na potência DC e produz potência de DC para o barramento DC 15. O retificador ativo 14 converte a potência de DC recebida do barramento DC 15 na potência AC que é ajustada à frequência da bobina de rotor e provê potência AC para a bobina de rotor do gerador 5.

Um sistema de controle da turbina de vento WTG é formado de um PLG (gerador lógico de pulso) 18, uma unidade de controle principal 19, um sensor de voltagem/corrente 20, um controlador acionado pelo conversor 21, uma unidade de controle de passo 22, e um controlador de guinada 23.

PLG 18 determina a velocidade rotacional ω do gerador 5 (doravante referido como "velocidade rotacional do gerador ω ").

A unidade de controle principal 19 gera um comando de potência ativo P^* , um comando de potência reativo Q^* , e um comando de passo β^* em resposta à velocidade rotacional do gerador ω determinada pelo PLG 18, e também gera um comando de guinada em resposta à velocidade do vento e direção do vento determinadas pelo medidor de velocidade/direção do vento 10. Além disso, quando um comando de cancelamento de sincronização for recebido do dispositivo de controle central 100 (vide FIG. 1), a unidade de controle principal 19 executa a correção do comando de ângulo de passo β^* em $0,5^\circ$ para o lado de transviar as pás durante um tempo predeterminado. Os detalhes deste controle de correção – serão descritos abaixo.

O sensor de voltagem/corrente 20 é fornecido na linha de energia elétrica 30 que conecta o gerador 5 ao sistema de energia elétrica, e determina a voltagem de saída V e a corrente de saída I do gerador 5.

O controlador de acionamento do conversor 21 executa o controle de liga/desliga do transistor de potência do retificador ativo 14 e o inversor 16 para controlar a saída potência ativa P e potência reativo Q em resposta ao comando de potência ativo P^* e o comando de potência reativo Q^* . Especificamente, o controlador de acionamento do conversor 21 calcula a potência ativa P e a potência reativa Q da voltagem de saída V e a corrente de saída I determinada pelo sensor de voltagem/corrente 20. O controlador de acionamento do conversor 21 também gera um sinal de PWM conduzindo PWM controle em resposta à diferença entre a potência ativa P e o comando de potência ativa P^* e a diferença entre a potência reativa Q e o comando de potência reativo Q^* , e provê o sinal de PWM gerado para o retificador ativo 14 e o inversor 16. Desse modo, a potência ativa P e a potência reativa Q são controladas.

A unidade de controle de passo 22 controla o ângulo do β das pás 8 em resposta ao comando de passo β^* enviado da unidade de controle principal 19. O ângulo de passo β das pás 8 é controlado para ser consistente com o comando de passo β^* .

O controlador de guinada 23 controla o mecanismo de giro da nacela 4 em resposta ao comando de guinada enviado da unidade de controle principal 19 e aponta a nacela 3 na direção indicada.

Um conversor AC/DC 24 é conectado à linha de energia elétrica 30 que é enrolada dentro da turbina de vento WTG. Este conversor AC/DC 24 gera a potência DC a partir da potência AC recebida do sistema de energia elétrica através da linha de energia elétrica 30, e provê aquela potência DC ao sistema de controle da turbina de vento WTG, especialmente, a válvula servo 12, a unidade de controle principal 19, e a unidade de controle de passo 22, que são usadas para controlar o ângulo de passo β das pás 8.

Também, a fim de estavelmente prover a potência de DC à válvula servo 12, à unidade de controle principal 19, e à unidade de controle de passo 22, a turbina de vento WTG é equipada com um sistema de potência ininterrupta 26 equipado com um carregador 27 e uma bateria de emergência 28. Devido às necessidades para o sistema de geração de energia eólica, como LVRT (Low Voltage Ride Thru), é necessário manter um estado em que o gerador 5 fique conectado ao sistema de energia elétrica até mesmo se a voltagem do sistema Vgrid for diminuída. Para fazê-lo, é necessário adequadamente controlar o ângulo de passo das pás 8 até mesmo se a voltagem do sistema de energia elétrica for diminuída, assim mantendo o valor desejado da velocidade rotacional do gerador 5. Para satisfazer tais necessidades, quando a voltagem do sistema Vgrid for diminuído para uma voltagem predefinida, o sistema de potência ininterrupta 26 é conectado à válvula servo 12, à unidade de controle principal 19, e à unidade de controle de passo 22 por um interruptor 25, e energia elétrica é provida da bateria de emergência 28 para a válvula servo 12, a unidade de controle principal 19, e a unidade de controle de passo 22. Assim, o controle do ângulo de passo das pás 8 é mantido. A bateria de emergência 28 é conectada ao carregador 27. O carregador 27 carrega a bateria de emergência 28 com a potência de DC provida do conversor AC/DC 24.

Em seguida, o método de controle de operação do sistema de geração de potência eólica 1 supracitado será descrito.

O dispositivo de controle central 100 mostrado na FIG. 1 coleta dados de tempo-série $P_i(t)$ da potência de saída (especificamente, a potência ativa) de cada uma das turbinas de vento WTG1, WTG2... WTGn que constitui o sistema de geração de potência eólica 1.

Aqui, $P_i(t) = P(k\Delta t)$, em que "k" é o número de amostragens e $k = 0, 1, 2, \dots, N$, " Δt " é um período de amostragem, e "i" denota a potência ativa da i -ésima turbina de vento WTG.

Com respeito à coletânea dos dados de tempo-série supracitados $P(i)$, é realizada, por exemplo, obtendo os dados de tempo-série da potência ativa e da potência reativa que são calculadas pelo controlador de acionamento do conversor 21 fornecido em cada turbina de vento WTG.

O dispositivo de controle central 100 coleta os dados de tempo-série da saída de cada turbina de vento WTG e depois calcula a correlação entre as flutuações de saída das turbinas de vento adjacentes no sistema de geração de potência eólica 1 (na estação eólica). Para este propósito, informação relacionada à posição de cada turbina de vento é antecipadamente registrada no dispositivo de processamento central 100.

O cálculo da correlação supracitado pode ser conduzido usando a equação (2) mostrada abaixo ou usando um cálculo de Fourier rápido (FFT) ou outros. Além disso, é também possível usar outros métodos conhecidos.

[Equação 2]

$$R_{i,i+1}(m) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} P_i(n) P_{i+1}(n + m) \quad (2)$$

contanto que $-(N-1) \leq m \leq (N-1)$

O dispositivo de controle central 100 conduz aos cálculos da relação de correlação para cada um de $i = 1$ a $M-1$ e determina se ou não as turbinas de vento adjacentes que são altamente correlatadas existem. Se houver uma correlação, por exemplo, um pico de correlação como o mostrado na FIG. 5 aparecerá. Na FIG. 5, o eixo geométrico horizontal representa tempo e o eixo geométrico vertical representa valor de correlação, e o tempo $m_p \Delta t$ representa o tempo decorrido a partir do tempo 0 que é a referência do período de tempo de amostragem. É mostrado que uma correlação forte da flutuação de saída é apresentada entre a i -ésima turbina de vento e a $i+1$ -ª turbina de vento neste tempo.

Se houver um par de turbinas de vento que exibiram uma correlação forte da flutuação de saída, o dispositivo de controle central 100 envia um comando de cancelamento de sincronização para ajustar o ângulo de passo por uma quantidade predeterminada e informação sobre o período (tempo) no qual a correlação é apresentada para uma ou outra turbina de vento do par de turbinas de vento.

Aqui, com a turbina de vento de velocidade constante, a correlação supracitada será apresentada periodicamente uma vez que a velocidade rotacional do gerador 5 é constante. Portanto, é possível estimar quando a correlação será apresentada no futuro. Além disso, até mesmo com uma turbina de vento de velocidade variável em que a velocidade rotacional do gerador 5 é variável, será possível estimar o tempo no qual a correlação será apresentada no futuro tornando o período de tempo de amostragem dos dados de tempo-série da saída da turbina de vento mais curto com relação ao período de tempo durante o qual a velocidade rotacional varia, por exemplo, entre um minuto e várias dezenas de minutos.

Na turbina de vento WTG que recebeu o comando de cancelamento de sincronização do dispositivo de controle central 100, a unidade de controle principal 19 mostrada na FIG. 4 corrige o comando de ângulo de passo β^* supracitado para a extensão que a correlação da flutuação de saída não será apresentada entre as turbinas de vento adjacentes por volta do tempo $m_p \Delta t$ durante o qual a correlação é apresentada, e dá o comando do ângulo de passo corrigido β^{**} para a unidade de controle de passo 22. Especificamente, a unidade de controle principal 19 dá o comando de ângulo de passo corrigido β^{**} que é o comando de ângulo de passo β^* supracitado sendo corrigido pela quantidade predeterminada (por exemplo, $0,5^\circ$) em direção ao lado de transvio para a unidade de controle de passo 22 no período

de tempo de $1/2m_p\Delta t$ a $1/3m_p\Delta t$ tomando o tempo $m_p\Delta t$ durante o qual a correlação é apresentada como uma referência.

Porque a velocidade rotacional do gerador 5 no tempo $m_p\Delta t$ é alterada, a fase da flutuação de saída é alterada. Como resultado, é possível diminuir a correlação da flutuação de saída entre as turbinas de vento adjacentes. Consequentemente, a fase da flutuação de saída no nó de interconexão A pode ser alterada, e é possível diminuir a flutuação de saída no nó de interconexão A para a estação eólica como um todo.

O dispositivo de controle central 100 executa repetitivamente o processamento supracitado em intervalos de tempo predeterminados, assim reduzindo a correlação entre as flutuações de saída das turbinas de vento adjacentes.

Como descrito acima, de acordo com o sistema de geração de energia eólica e o método de controle de operação do mesmo, de acordo com esta modalidade, a correlação das flutuações de saída das turbinas de vento posicionadas adjacientemente é obtida e, se aquela correlação for forte, a fase da flutuação de saída de qualquer uma das duas turbinas de vento adjacentes é alterada pelo período no qual a correlação forte é apresentada, portanto, é possível enfraquecer a correlação das flutuações de saída entre as turbinas de vento adjacentes.

Como resultado, é possível relaxar a flutuação de saída no nó de interconexão ao qual a potência de saída de cada turbina de vento é provida, e prover energia elétrica mais estável ao sistema de energia elétrica.

Embora a modalidade da presente invenção tenha sido descrita acima com referência aos desenhos, a configuração atual não é limitada a esta modalidade; modificações de projeto que não abandonam o espírito da presente invenção são também abrangidas.

Por exemplo, embora a correlação da flutuação de saída seja diminuída corrigindo o comando de ângulo de passo na modalidade supracitada, a correlação da flutuação de saída pode ser diminuída alterando outros parâmetros. Por exemplo, um ângulo de azimute pode ser ajustado, e no caso da turbina de vento de velocidade variável, a velocidade rotacional de um motor pode ser ajustada.

Além disso, embora a saída de cada turbina de vento seja monitorada e a presença da correlação seja determinada destes resultados de monitoramento na modalidade supracitada, em vez disso, o ângulo de azimute de cada turbina de vento pode ser monitorada e a correlação pode ser determinada para ser alta se este ângulo de azimute estiver em sincronização. Neste caso, quaisquer de passo, velocidade rotacional, e ângulo de azimute podem ser controlados para evitar a sincronização do ângulo de azimute.

REIVINDICAÇÕES

1. Método de controle de operação de um sistema de geração de energia eólica fornecido com uma pluralidade de turbinas de vento em que a potência produzida de cada turbina de vento é provida a um sistema de energia elétrica através de um nó de interconexão comum, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o método de controle de operação do sistema de geração de energia eólica compreende:

uma etapa de obter os dados de saída de cada turbina de vento,

uma etapa de determinar uma correlação entre as flutuações de saída das turbinas de vento adjacentes usando os dados de saída, e

uma etapa de alterar, se uma correlação forte é apresentada, uma fase da flutuação de saída de qualquer uma das duas turbinas de vento adjacentes por um período no qual correlação forte é apresentada.

2. Método de controle de operação de um sistema de geração de energia eólica, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a fase da flutuação de saída é alterada alterando um ângulo do passo da pá de qualquer uma das duas turbinas de vento adjacentes.

3. Método de controle de operação de um sistema de geração de energia eólica, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a fase da flutuação de saída é alterada alterando uma velocidade rotacional de um gerador de qualquer uma das duas turbinas de vento adjacentes.

4. Sistema de geração de energia eólica fornecido com uma pluralidade de turbinas de vento em que a potência produzida de cada turbina de vento é provida a um sistema de energia elétrica através de um nó de interconexão comum, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que:

dados de saída de cada turbina de vento são obtidos,

uma correlação entre as flutuações de saída das turbinas de vento adjacentes é determinada usando os dados de saída, e

se uma correlação forte for apresentada, uma fase da saída de qualquer uma das duas turbinas de vento adjacentes é alterada por um período no qual a correlação forte é apresentada.

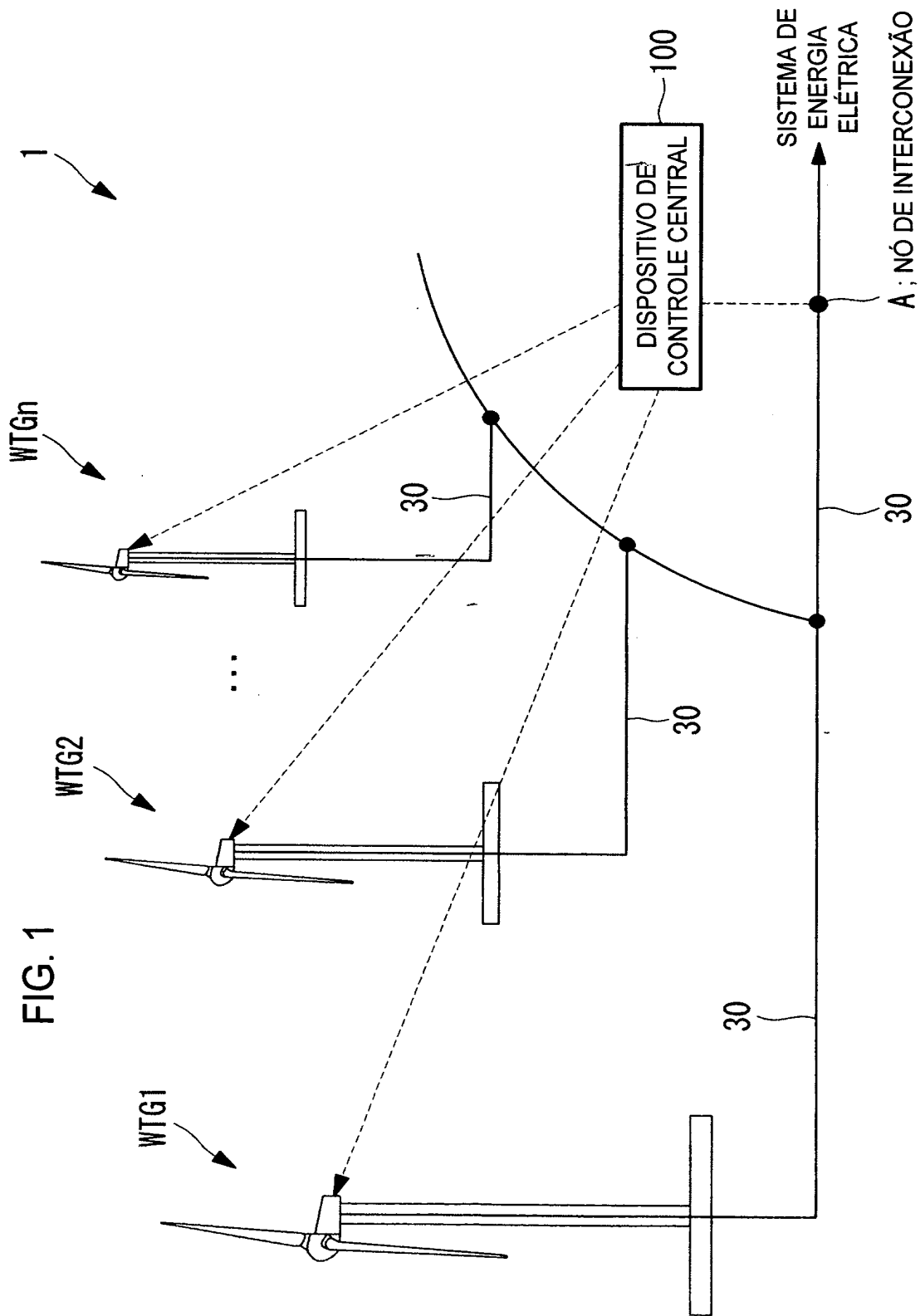
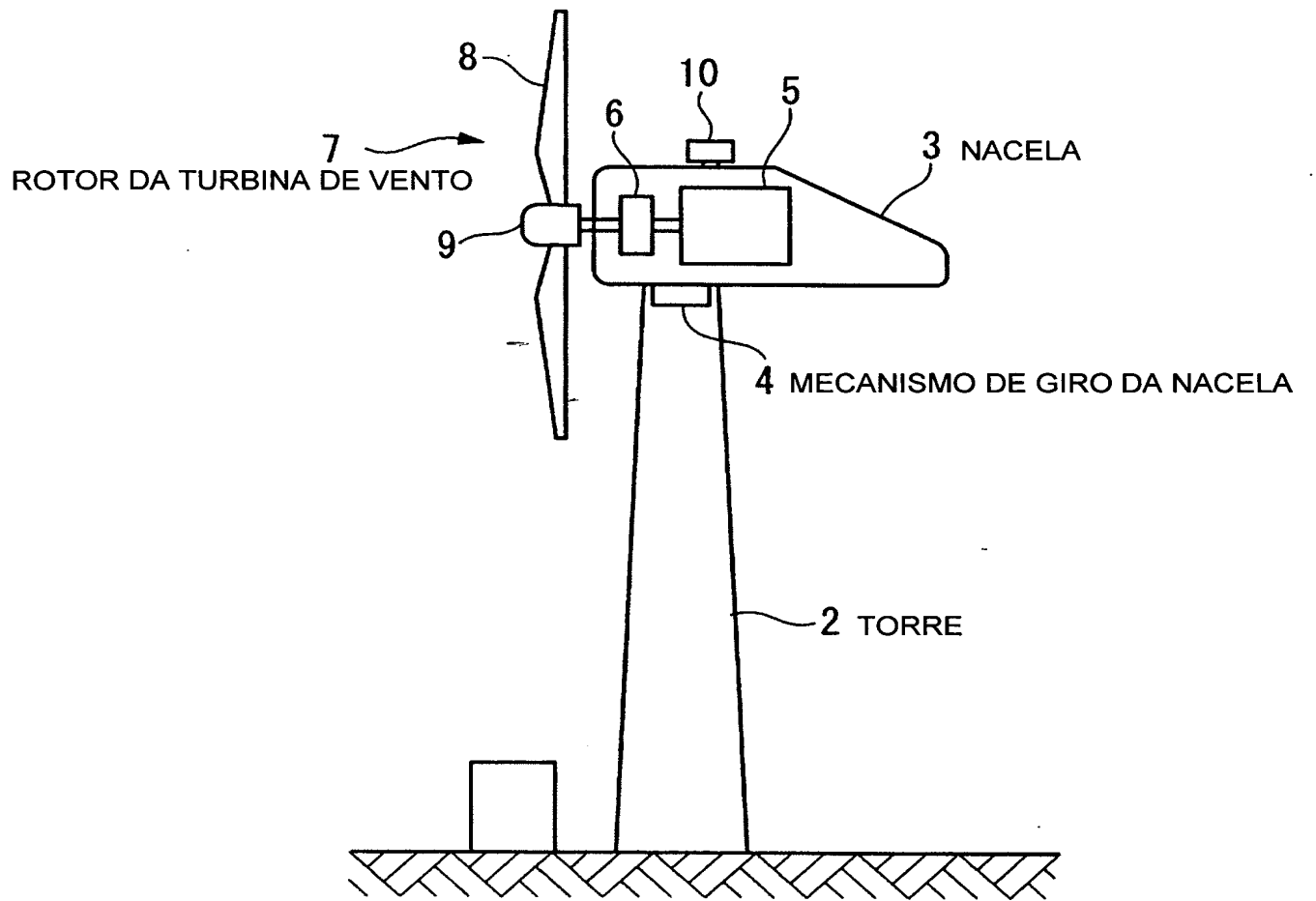


FIG. 1

FIG. 2



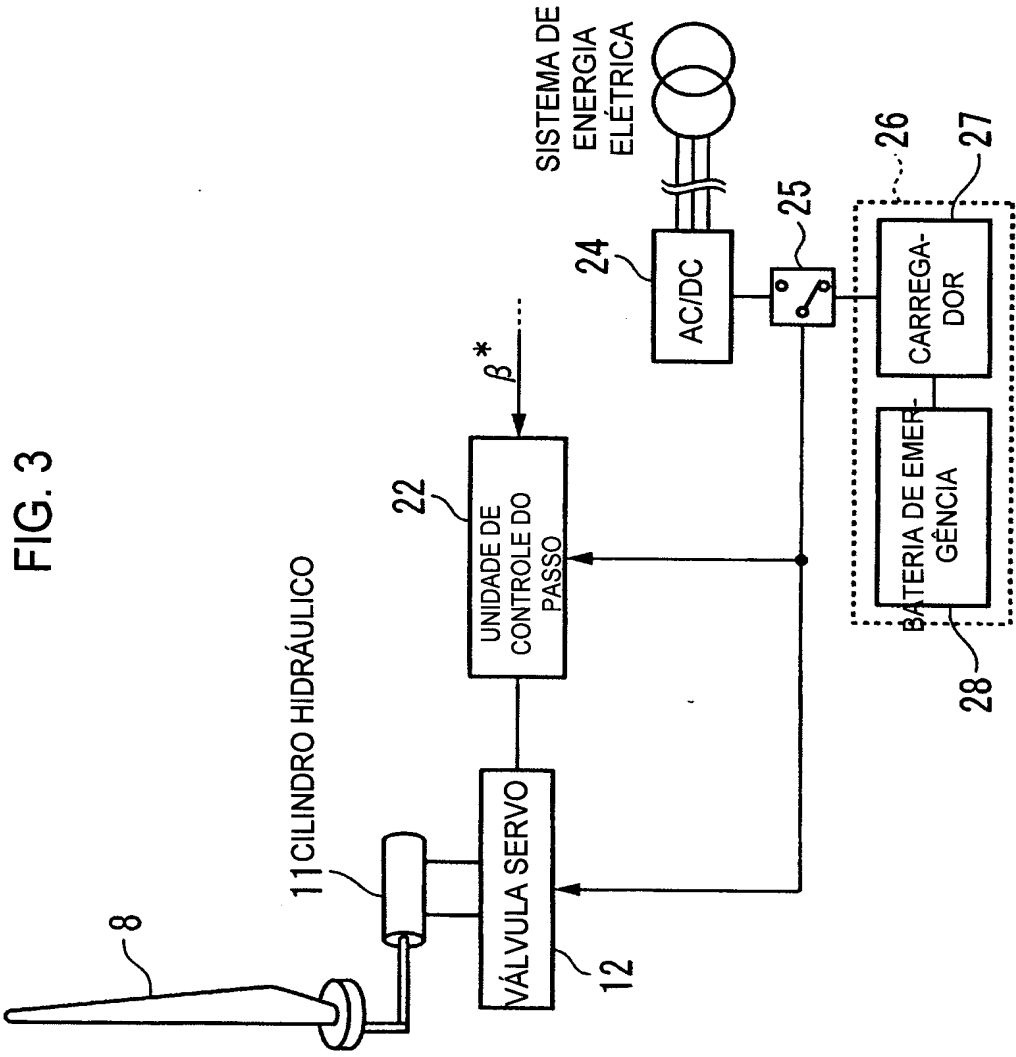


FIG. 4

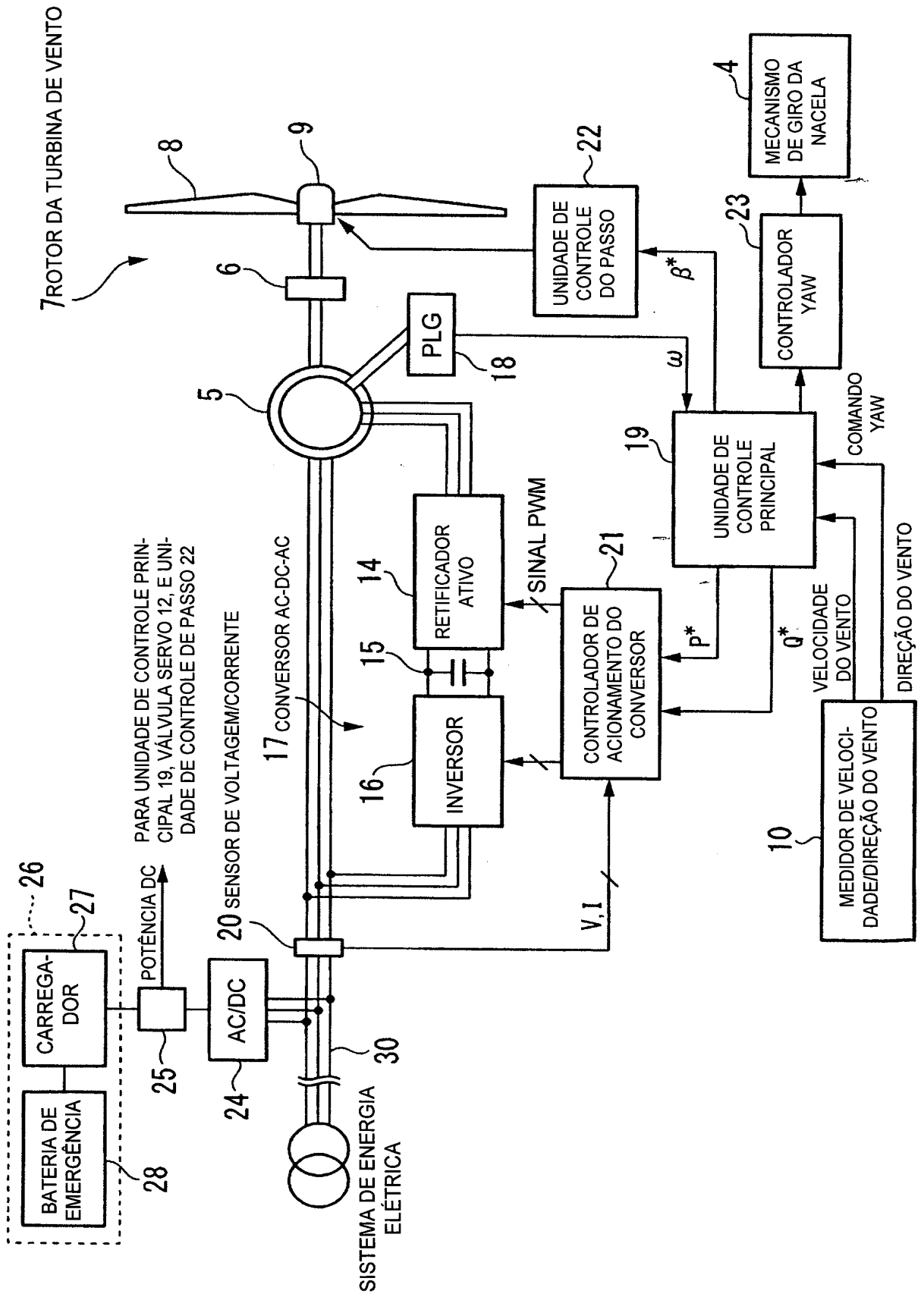
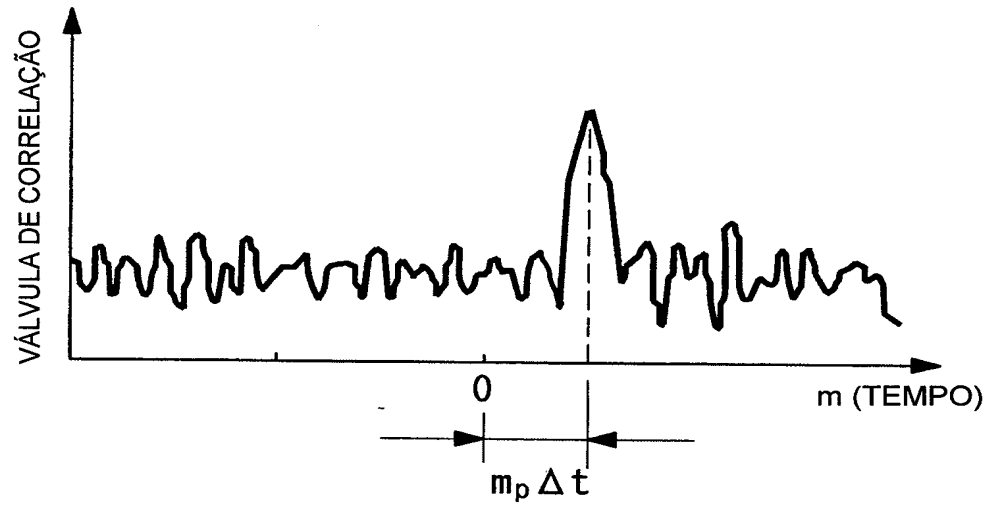


FIG. 5



RESUMO

“SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA E MÉTODO DE CONTROLE DE OPERAÇÃO DO MESMO”

O objetivo é reduzir uma flutuação de saída em um nó de interconexão. Fornecido é

5 um método de controle de operação de um sistema de geração de energia eólica incluindo uma etapa de obter os dados de saída de cada turbina de vento, uma etapa de determinar uma correlação entre as flutuações de saída das turbinas de vento adjacentes usando dados de saída, e uma etapa de alterar, se uma correlação forte for apresentada, uma fase de flutuação de saída de qualquer uma das duas turbinas de vento adjacentes por um período

10 no qual a correlação forte é apresentada.