



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

(21) PI 0720670-4 A2



(22) Data de Depósito: 12/12/2007
(43) Data da Publicação: 28/01/2014
(RPI 2247)

(51) Int.Cl.:
H02G 7/20
H02G 7/02

(54) Título: LINHA AÉREA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

(57) Resumo:

(30) Prioridade Unionista: 28/12/2006 US 11/617.494

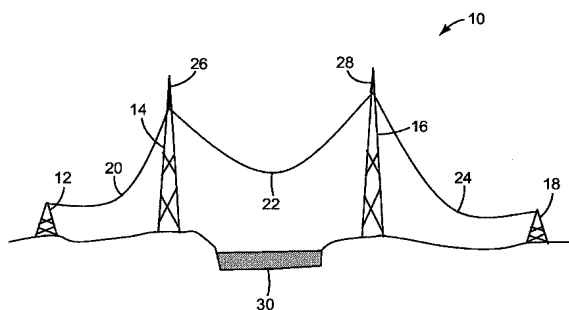
(73) Titular(es): 3M Innovative Properties Company.

(72) Inventor(es): Anton F. Jachim, Douglas E. Johnson

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

(86) Pedido Internacional: PCT US2007087243 de 12/12/2007

(87) Publicação Internacional: WO 2008/082886 de 10/07/2008



“LINHA AÉREA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA”

Antecedentes

Uma variedade de condutores suspensos de transmissão de energia (elétrica) é conhecida na técnica, inclusive aqueles que tem fios (por exemplo, fios de alumínio, fios de cobre, fios de liga de alumínio, e fios de liga de cobre) enrolados ao redor de um núcleo que compreende, por exemplo, fios de aço ou fios compósitos de matriz de alumínio (por exemplo, fibras de alumina alfa em um alumínio ou liga de alumínio (por exemplo, até 2%, em peso, de cobre)).

Tipicamente, a mesma construção de um condutor suspenso de transmissão de energia elétrica é usada em uma única seção de tensão entre torres terminais, apesar do fato de que combinações de construções podem ser encontradas quando uma seção de tensão é consertada.

Devido ao custo relativamente alto, ou mais alto, de diversos condutores suspensos de transmissão de energia elétrica, que são alternativas aos condutores suspensos de transmissão de energia elétrica tradicionais com núcleo de aço, é desejável que se seja capaz de usar os condutores suspensos de transmissão de energia elétrica de custo mais alto em áreas selecionadas de uma seção de tensão entre torres terminais. Em um outro aspecto, é desejável que se seja capaz de se ter uma flexibilidade na construção para se usar ao menos dois condutores suspensos diferentes de transmissão de energia elétrica em uma seção de tensão entre torres terminais.

Em um outro aspecto, diversas linhas aéreas de transmissão de energia têm seções de tensão especialmente projetadas, como cruzamentos de extensão longa, segmentos que são especialmente projetados para superar obstáculos como rios. Conforme a carga elétrica aumenta nestas linhas de transmissão, estes cruzamentos de extensão longa se tornam “pontos de estrangulamento térmicos”. Isto é, os cruzamentos de extensão longa podem forçar a corrente permitida a fluir através da linha de transmissão, devido ao fato de que, conforme a passagem de corrente aumenta, os condutores de cruzamentos de extensão longa se aquecem, se alongam a partir de expansão térmica, e se curvam o máximo permitido, oferecendo uma folga mínima abaixo das extensões do cruzamento. É frequentemente desejável aumentar a capacidade de carregamento de corrente destes cruzamentos de extensão longa. Pode ser desejável, também, diminuir o arqueamento de uma extensão do cruzamento (também chamada de “extensão limitadora”), para permitir uma folga maior, enquanto se mantém a capacidade de carregamento de corrente existente. Além disto, pode ser desejável reduzir as cargas estruturais impostas por condições ambientais severas tanto nas estruturas como no condutor.

Sumário

Em um aspecto, a presente invenção fornece um método que fornece uma linha

aérea de transmissão de energia elétrica instalada de terminal-a-terminal, a linha aérea de transmissão de energia elétrica instalada de terminal-a-terminal compreendendo:

uma primeira e segunda torres terminais,

5 pelo menos uma torre de suspensão (também chamada de “torre tangente”) entre a primeira e a segunda torre terminal, e

uma seção de tensão de um condutor suspenso de transmissão de energia elétrica, que tem um comprimento de pelo menos 100 metros, e que tem uma primeira extremidade fixa à primeira torre terminal e uma segunda extremidade fixa à segunda torre terminal,

sendo que o método compreende:

10 fornecer uma primeira e segunda torres terminais,

fornecer pelo menos uma (em algumas modalidades, pelo menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 50, 75, ou mesmo pelo menos 100) torre(s) de suspensão entre a primeira e a segunda torre terminal, e

15 selecionar uma seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica que tem uma primeira e segunda extremidades, e um comprimento de pelo menos 100 metros (em algumas modalidades, pelo menos 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1.000, 1.200, 1.500, 1.800, 2.100, 2.400, 2.700, 3.000, 5.000, 10.000, 15.000, 20.000, 25.000, ou mesmo pelo menos 30.000 metros), a seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica compreendendo pelo menos uma primeira e uma
20 segunda subseções de tensão sequencial do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica, sendo que a primeira subseção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica tem um primeiro coeficiente de expansão térmica (por exemplo, em uma faixa de $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$; em algumas modalidades, em uma faixa de $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, ou mesmo de $14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), uma primeira densidade (por
25 exemplo, na faixa de $1,4 \text{ g/cm}^3$ a 20 g/cm^3 , em algumas modalidades, em uma faixa de $2,7 \text{ g/cm}^3$ a $3,6 \text{ g/cm}^3$, ou mesmo numa faixa de $2,2 \text{ g/cm}^3$ to $4,5 \text{ g/cm}^3$), um primeiro comportamento de tensão/alongamento, e uma primeira área em seção transversal, sendo que a segunda subseção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica tem um segundo coeficiente de expansão térmica (por exemplo, em uma faixa de
30 zero a $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$; em algumas modalidade, em uma faixa de $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, ou mesmo $14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), uma segunda densidade (por exemplo, em uma faixa de $1,4 \text{ g/cm}^3$ a 20 g/cm^3 , em algumas modalidades, em uma faixa de $2,7 \text{ g/cm}^3$ a $3,6 \text{ g/cm}^3$, ou mesmo em uma faixa de $2,2 \text{ g/cm}^3$ a $4,5 \text{ g/cm}^3$), um segundo comportamento de tensão/alongamento, e uma segunda área em seção transversal, sendo que,
35 intencionalmente, (isto é, selecionamento deliberado baseado em pelo menos uma das seguintes propriedades, para fornecer o resultado desejado especificado) pelo menos um dentre (a) o primeiro e o segundo coeficientes de expansão térmica, (b) a primeira e a

segunda densidades, (c) o primeiro e o segundo comportamentos de tensão/alongamento, ou (d) as áreas em seção transversal, a temperaturas na faixa de 20°C a 75°C (em algumas modalidades, em uma faixa de 25°C a 75°C, 20°C a 100°C, 25°C a 100°C, 20°C a 125°C, 25°C a 125°C, 20°C a 150°C, 25°C a 150°C, 20°C a 175°C, 25°C a 175°C, 20°C a 200°C, 25°C a 200°C, 20°C a 225°C, 25°C a 225°C, 20°C a 240°C, 25°C a 240°C, 0°C a 75°C, 0°C a 100°C, 0°C a 200°C, 0°C a 300°C, -40°C a 100°C, -40°C a 200°C, ou mesmo -40°C a 300°C), são diferentes, de tal modo que, acima de uma faixa de temperatura de pelo menos 20°C a 75°C (em algumas modalidades, em uma faixa de 25°C a 100°C, 25°C a 100°C, 25°C a 125°C, 25°C a 150°C, 25°C a 175°C, 25°C a 200°C, 25°C a 210°C, 25°C a 220°C, 25°C a 230°C, 25°C a 240°C, 25°C a 250°C, 25°C a 275°C, 25°C a 300°C), conforme a passagem de corrente aumenta através da seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica, sendo que a tensão da segunda subseção do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica é mais alta (em algumas modalidades, pelo menos 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, ou mesmo pelo menos 15%) em comparação à tensão da segunda subseção do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica sob as mesmas condições, quando toda a seção de tensão do condutor consiste em apenas o condutor da segunda subseção de tensão do condutor suspenso de transmissão e energia elétrica; e

instalar a seção de tensão selecionada do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica, sendo que a primeira e a segunda extremidades da seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica são fixas a primeira e a segunda torres terminais, respectivamente, e ao menos uma porção da subseção de tensão sequencial do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica está sendo suportada pela torre de suspensão.

Em algumas modalidades, a primeira, segunda, ou quaisquer subseções de tensão sequenciais adicionais do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica compreendem um núcleo compósito (por exemplo, compósitos de alumínio (incluindo ligas de alumínio) e de matriz polimérica). Em algumas modalidades, a primeira, segunda, ou quaisquer subseções de tensão sequenciais adicionais do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica compreendem um Invar (isto é, uma liga de ferro que compreende ferro, níquel e, opcionalmente, outros elementos como cromo, titânio e carbono, sendo que a liga de ferro tem um coeficiente de expansão térmica que é menor que a combinação linear dos seus constituintes). Em algumas modalidades, há pelo menos uma (em algumas modalidades, pelo menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 50, 75, ou mesmo pelo menos 100) torre de suspensão posicionada entre a primeira e a segunda torres terminais.

Em um outro aspecto, a presente invenção apresenta uma linha aérea de transmissão de energia elétrica terminal-a-terminal, que compreende:

uma primeira e segunda torres terminais,

pelo menos uma (em algumas modalidades, pelo menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 50, 75, ou mesmo pelo menos 100) torre(s) de suspensão entre a primeira e a segunda torres terminais, e

- 5 uma seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica, que tem uma primeira extremidade fixa a primeira torre terminal e uma segunda extremidade fixa a segunda torre terminal, a seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica compreendendo pelo menos uma primeira e uma segunda subseções de tensão sequenciais do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica, sendo que a primeira
- 10 subseção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica tem pelo menos um dentre um núcleo compósito (por exemplo, compósitos de alumínio (incluindo ligas de alumínio) e de matriz polimérica) ou um núcleo Invar, um primeiro coeficiente de expansão térmica (por exemplo, numa faixa de zero a $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, em algumas modalidades, numa faixa de $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, ou mesmo de $14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), uma primeira densidade (por
- 15 exemplo, numa faixa de $1,4 \text{ g/cm}^3$ a 20 g/cm^3 , em algumas modalidades, em uma faixa de $2,7 \text{ g/cm}^3$ a $3,6 \text{ g/cm}^3$, ou mesmo numa faixa de $2,2 \text{ g/cm}^3$ a $4,5 \text{ g/cm}^3$), um primeiro comportamento de tensão/alongamento, e uma primeira área em seção transversal, sendo que a segunda subseção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica tem um segundo coeficiente de expansão térmica (por exemplo, em uma faixa de zero a $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$,
- 20 em algumas modalidades, numa faixa de $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, ou mesmo de $14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$), uma segunda densidade (por exemplo, numa faixa de $1,4 \text{ g/cm}^3$ a 20 g/cm^3 , em algumas modalidades, numa faixa de $2,7 \text{ g/cm}^3$ a $3,6 \text{ g/cm}^3$, ou mesmo numa faixa de $2,2 \text{ g/cm}^3$ a $4,5 \text{ g/cm}^3$), um segundo comportamento de tensão/alongamento, e uma segunda área em seção transversal, sendo que pelo menos um dentre (a) o primeiro e o segundo coeficientes de
- 25 expansão térmica, (b) a primeira e a segunda densidades, (c) o primeiro e o segundo comportamentos de tensão/alongamento, ou (d) áreas em seção transversal, a temperaturas na faixa de 20°C a 75°C (em algumas modalidades, numa faixa de 25°C a 75°C , 20°C a 100°C , 25°C a 100°C , 20°C a 125°C , 25°C a 125°C , 20°C a 150°C , 25°C a 150°C , 20°C a 175°C , 25°C a 175°C , 20°C a 200°C , 25°C a 200°C , 20°C a 225°C , 25°C a 225°C , 20°C a 240°C , 25°C a
- 30 240°C , 0°C a 75°C , 0°C a 100°C , 0°C a 200°C , 0°C a 300°C , -40°C a 100°C , -40°C a 200°C , ou mesmo -40°C a 300°C), são diferentes, de tal modo que, em uma faixa temperatura de pelo menos 20°C a 75°C (em algumas modalidades, em uma faixa de 25°C a 100°C , 25°C a 100°C , 25°C a 125°C , 25°C a 150°C , 25°C a 175°C , 25°C a 200°C , 25°C a 210°C , 25°C a 220°C , 25°C a 230°C , 25°C a 240°C , 25°C a 250°C , 25°C a 275°C , 25°C a 300°C), conforme a passagem de
- 35 corrente aumenta através da seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica, sendo que a tensão da segunda subseção condutor suspenso de transmissão de energia elétrica é mais alta (em algumas modalidades, pelo menos 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%,

7%, 8%, 9%, 10%, ou mesmo pelo menos 15%), em comparação à tensão da segunda subseção condutor suspenso de transmissão de energia elétrica sob as mesmas condições, quando toda a seção de tensão do condutor consiste em apenas o condutor da segunda subseção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica.

5 Em algumas modalidades, a seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica tem um comprimento de pelo menos 100 metros (em algumas modalidades, pelo menos 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1.000, 1.200, 1.500, 1.800, 2.100, 2.400, 2.700, 3.000, 5.000, 10.000, 15.000, 20.000, 25.000, ou mesmo pelo menos
10 cerca de 30.000 metros). Em algumas modalidades, há pelo menos uma (em algumas modalidades, pelo menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20, 25, 50, 75, ou mesmo pelo menos 100) torre de suspensão posicionada entre a primeira e a segunda torres terminais.

Os condutores suspensos de transmissão de energia elétrica que consistem em núcleos compósitos de matriz de alumínio, por exemplo, são tipicamente desejáveis para uso em linhas de transmissão de energia elétrica devido ao fato de que eles oferecem mais
15 ampacidade que os condutores suspensos de transmissão de energia elétrica que consistem em, por exemplo, condutores com núcleos de aço, bem como arqueamento reduzido, dada a mesma seção transversal dos condutores de núcleo de aço. Como resultado, os condutores suspensos de transmissão de energia elétrica que consistem em núcleos compósitos de matriz de alumínio podem ser usados para aumentar a folga ao redor de uma linha de
20 transmissão e/ou operar a uma temperatura mais alta, e, deste modo, carregar mais corrente. Entretanto, uma vez que os condutores suspensos de transmissão de energia elétrica que consistem em núcleos compósitos de matriz de alumínio são tipicamente mais caros que os condutores suspensos de transmissão de energia elétrica que consiste em núcleos de aço, pode ser desejável usar condutores suspensos de transmissão de energia elétrica que
25 consistem em núcleos compósitos de matriz de alumínio apenas nas porções de uma seção de tensão que precisa de menos arqueamento para manter a folga desejada ou necessária.

Breve Descrição dos Desenhos

A FIGURA 1 é um cruzamento de extensão longa exemplificador de uma linha aérea de transmissão de energia elétrica de acordo com a presente invenção.

30 As FIGURAS 2 e 3 são diagramas de fluxo ilustrando processos exemplificadores usados para selecionar uma configuração de condutor adequada para uma linha aérea de transmissão de energia elétrica.

A FIGURA 4 é uma linha aérea de transmissão de energia elétrica exemplificadora de acordo com a presente invenção, representando as variáveis descritas na equação 1.

Descrição Detalhada

35 A FIGURA 1 é um cruzamento de extensão longa exemplificador de uma linha aérea de transmissão de energia elétrica de acordo com a presente invenção, que mostra a linha

aérea de transmissão de energia elétrica 10 cruzando um rio 30 com diferentes condutores 20, 22 e 24. A linha aérea de transmissão de energia elétrica consiste em duas torres terminais 12 e 18, duas torres de suspensão 14 e 16, dois fios isolantes 26 e 28 conectando o condutor às torres de suspensão, e três extensões de condutores. As extensões do condutor 20 e 24 têm o mesmo tipo de condutor, e a extensão do condutor 22 é um condutor diferente daquele dos condutores 20 e 24. A extensão do condutor 22 é chamada de extensão de cruzamento ou extensão limitadora. As extensões dos condutores 20 e 24 são chamadas de extensões não-limitadoras.

A distância entre as duas torres terminais é chamada de seção de tensão. A distância entre duas torres adjacentes, tanto torres de suspensão como terminais, é chamada de extensão. Uma subseção de tensão é alguma porção da seção de tensão da linha de transmissão que inclui apenas um tipo de condutor. Esta subseção de tensão pode cobrir mais ou menos que uma extensão entre duas torres adjacentes, e duas subseções de tensão diferentes podem se encontrar dentro de uma extensão ou em uma torre. Uma configuração de condutor define as múltiplas subseções de tensão da seção de tensão da linha de transmissão (por exemplo, quanto da seção de tensão da linha de transmissão é produzida a partir da cada tipo de condutor). Como exemplo, duas subseções de tensão que compensam uma porção da linha aérea de transmissão de energia podem se encontrar dentro de uma extensão ou no ponto de conexão de uma torre.

Inúmeros acessórios são conhecidos na técnica e usados para facilitar a conexão das seções do condutor e fixar o condutor às torres. Por exemplo, terminações (também chamadas de “terminais”) e juntas (também chamadas de “junções de meia-extensão” ou juntas/junções de tensão completa) estão disponíveis comercialmente, por exemplo, junto à Alcoa Conductor Accessories (ACA), Spartanburg, SC, EUA, e junto à Preformed Line Products (PLP), Cleveland, OH, EUA. Apesar do fato de que a construção específica dos condutores dependerá das características desejadas da seção de tensão como um todo, os acessórios de terminal tipicamente conectam o condutor às torres.

As torres (estruturas) terminais permitem que, genericamente, não haja movimento longitudinal do condutor. As estruturas de suspensão entre as estruturas terminais suportam o condutor verticalmente. O condutor está conectado à torre de suspensão através de um fio isolante (tipicamente, discos de cerâmica isolados, enrolados juntos). Uma extremidade do fio isolante é fixa à torre de suspensão e a outra extremidade do fio isolante é fixa ao condutor. A fixação deste é chamada de ponto de fixação do condutor. Conforme alterações na tensão ocorrem no condutor, o fio isolante, girando ao redor do local de fixação da torre de suspensão, irá assentar o condutor e mover longitudinalmente o ponto de fixação do condutor para equilibrar as forças resultantes. Este movimento é chamado de oscilação do isolante. As alterações na tensão do condutor entre extensões de uma torre de suspensão são normalmente equalizadas

pela oscilação do isolante. O isolante oscila de uma extensão de baixa tensão para uma extensão de tensão mais alta, para equalizar a tensão entre extensões. Isto faz com que a tensão caia na extensão de tensão mais alta, aumentando o arqueamento naquela extensão.

Em designs convencionais onde o mesmo condutor é instalado em extensões de comprimento iguais, em ambos os lados da torre de suspensão, a carga na tensão será a mesma para ambos os condutores e o ponto de fixação do condutor não irá se mover. Se uma extensão não é mais longa que a outra, a tensão irá diminuir mais rápido na extensão curta. O ponto de fixação do condutor irá então se mover em direção à extensão mais longa.

Tipicamente, um único tipo de condutor é usado em toda a seção de tensão, de um terminal ao outro. Se a seção de tensão é um cruzamento de extensão longa, então a extensão do cruzamento é, tipicamente, a extensão limitadora. Isto é, conforme o condutor se aquece, a extensão do cruzamento será a primeira a alcançar o arqueamento máximo permitida. Às vezes, é desejável usar tamanhos, construções e/ou materiais de condutores diferentes para estes cruzamentos de extensão longa. Por exemplo, pode ser desejável substituir um cruzamento de extensão longa existente por um condutor menor produzido a partir de materiais de alto desempenho, como um condutor em alumínio reforçado por compósitos ("ACCR"), discutido adicionalmente abaixo. Apesar do fato de que o condutor de substituição pode ser menor que o condutor existente, ele pode ser capaz de transmitir mais energia, operando a uma temperatura mais alta que a do condutor existente. Este desempenho otimizado pode ser alcançado substituindo-se toda a seção de tensão de terminal-a-terminal por este tipo de condutor.

Surpreendentemente, descobriu-se que, selecionando-se um tipo de condutor nas extensões não-limitadoras diferente daqueles usados na extensão limitadora, como na FIGURA 1, um desempenho ainda melhor pode ser alcançado, do que usando-se apenas um tipo de condutor. Com a linha aérea de transmissão de energia elétrica exemplificadora de acordo com a presente invenção mostrada na FIGURA 1, um condutor de temperatura mais baixa, maior e mais pesado, produzido a partir de materiais baratos, pode ser usado nas extensões não-limitadoras, enquanto um condutor menor, leve e produzido a partir de materiais de alto desempenho relativamente mais caros pode ser usado na extensão limitadora. Este tipo de configuração de condutor seria desejável em um retro-ajuste, quando as cargas mecânicas totais da combinação de condutores novos e existentes não excedem as cargas designadas das estruturas, e as folgas necessárias ou desejada de todas as expansões são mantidas.

O uso de tipos diferentes de condutores em uma linha aérea de transmissão de energia elétrica pode ser desejável, por exemplo, decido ao custo (isto é, condutores menos dispendiosos também podem ser usados, ao invés de se usar o material de alto desempenho em toda a seção de tensão) e desempenho (isto é, combinações de condutores podem ser escolhidas para produzir um desempenho melhor do que aquele que poderia ser alcançado com

um único tipo de condutor). O desempenho desejável pode estar sob a forma, por exemplo, de uma folga maior, em comparação a um design convencional com um único tipo de condutor, aumento da capacidade de carregamento de corrente, em comparação a um design convencional com um único tipo de condutor, ou diminuição das cargas na estrutura ou no condutor mecânico, em comparação a um design convencional com um único tipo de condutor. Uma combinação destes atributos de desempenho desejáveis pode, também, ser alcançada.

Pode ser desejável selecionar diferentes condutores para uma linha de transmissão em particular, ou uma porção da mesma (por exemplo, o cruzamento de um rio, o cruzamento de uma rodovia, ou cruzamento de alguma outra característica topográfica). A FIGURA 2 é um fluxograma que ilustra o processo exemplificador 100 usado para selecionar condutores, e as tensões de instalação que irão produzir a folga mínima para uso em uma linha aérea de transmissão de energia. Na etapa 102, um condutor é selecionado a partir de uma base de dados de condutores para identificar um condutor que irá satisfazer os requisitos de ampacidade (etapa 104). A temperatura de operação máxima é registrada para o condutor selecionado na ampacidade necessária. Se o condutor não alcança a ampacidade necessária para a linha aérea de transmissão de energia, outro condutor é selecionado da base de dados. Se o condutor alcança a ampacidade, o condutor é registrado em uma lista de candidatos a condutores, e a temperatura de operação de ampacidade mínima para o condutor é registrada (etapa 106). Na etapa 107, a lista de condutores é examinada e, se mais condutores forem necessários, iterações adicionais das etapas 102 a 106 são conduzidas. Se nenhum condutor adicional for necessário para a avaliação, então, na etapa 108, pelo menos um par de condutores é selecionado da lista de candidatos a condutores, e uma tensão de baixa instalação é selecionada (etapa 110), por exemplo, 8% da resistência à ruptura do condutor mais fraco.

Um modelo da seção de tensão, dada a tensão de instalação, pode ser criado, e o comprimento não-tencionado dos condutores para cada extensão é calculado. Por uma questão de simplicidade, pode se assumir que tipos diferentes de condutores são instalados com a mesma tensão, e que fios isolantes suspensos associados são inicialmente verticais. O corte de compensação (isto é, fios isolantes não-verticais) dos condutores pode ser desejado e pode ser incorporado ao modelo. Em seguida, o comportamento mecânico dos condutores (incluindo a tensão) sob várias condições, conforme solicitado pelas práticas de engenharia aceitas (por exemplo, frio extremo, carregamento de gelo e vento), é modelado (etapa 112). As cargas mecânicas deste modelo são avaliadas na etapa 114. Se as cargas mecânicas não são aceitáveis na primeira iteração da tensão de instalação, então a etapa 108 é repetida, e um diferente conjunto de condutores é selecionado. Se as cargas mecânicas são aceitáveis, então a tensão de instalação é aumentada por um pequeno incremento (por exemplo, cerca de 10N) (etapa 116), e o comportamento mecânico dos condutores é modelado (etapa 112), reverificando-se o mesmo para cargas mecânicas indesejadas. Se na etapa 114 a carga

mecânica não é aceitável, e esta não é a primeira iteração da tensão instalada (etapa 118), então deve-se reverter (etapa 120) a mesma a tensão instalada anteriormente, a partir da etapa 116. Os resultados da modelagem que usa a tensão máxima permitida podem ser usados para avaliar o arqueamento de cada extensão e determinar se o requisito de

5 arqueamento do design foi alcançado (etapa 122). Se o arqueamento é aceitável, então aquela combinação de condutores e tensão pode ser preservada como um candidato (etapa 124). Se o arqueamento não é aceitável, então aquela combinação de condutores pode ser descartada, e a etapa 108 é repetida para selecionar um diferente conjunto de condutores.

A etapa 108 pode ser reiterada múltiplas vezes, conforme necessário, com diferentes

10 conjuntos de condutores, até que uma variedade, em alguns casos, todas as combinações, tenham sido avaliadas. Depois que as várias combinações foram avaliadas, o usuário pode revisar todos os candidatos à combinações registradas na etapa 124, e determinar qual tem as propriedades mais úteis (incluindo a mais desejável ou a melhor) para a aplicação, por exemplo, as combinações que têm o menor arqueamento em um cruzamento de extensão longa.

15 O processo 100 pode ser modificado para identificar as combinações de condutores que satisfazem vários objetivos do design (por exemplo, para produzir uma maior passagem de corrente ou um custo menor). Por exemplo, a FIGURA 3 mostram um fluxograma de um processo exemplificador usado para determinar combinações de condutores que irão produzir a maior ampacidade. O processo é similar àquele na FIGURA 2, exceto pelo fato de

20 que iterações adicionais são adicionadas para identificar as temperaturas máximas de operação do condutor permitidas dos candidatos a condutores. Com referência à FIGURA 3, são mostrados os processos exemplificadores 200 usados para selecionar os condutores e as tensões de instalação que irão produzir a ampacidade máxima para uso em uma linha aérea selecionada de transmissão de energia. Na etapa 202, um condutor é selecionado a

25 partir de uma base de dados de condutores para identificar um condutor que irá satisfazer os requisitos mínimos de ampacidade (etapa 204). A temperatura de operação é registrada para o condutor selecionado na ampacidade mínima necessária. Se o condutor não alcança a ampacidade mínima necessária para a linha aérea de transmissão de energia, outro condutor é selecionado da base de dados. Se o condutor alcança a ampacidade mínima, o

30 condutor é registrado em uma lista de candidatos a condutores, e a temperatura de operação de ampacidade mínima para o condutor é registrada (etapa 206). Na etapa 207, a lista de condutores é examinada e, se mais condutores são necessários, iterações adicionais das etapas 202 a 206 são conduzidas. Se nenhum condutor adicional for necessário para a avaliação, então, na etapa 208, pelo menos um par de condutores é

35 selecionado da lista de candidatos a condutores, e uma tensão de baixa instalação é selecionada (etapa 210), por exemplo, 8% da resistência à ruptura do condutor mais fraco.

Um modelo da seção de tensão, dada a tensão de instalação, pode ser criado, e o comprimento não-tencionado dos condutores para cada extensão é calculado. Por uma questão de simplicidade, pode-se assumir que tipos diferentes de condutores são instalados com a mesma tensão, e que fios isolantes suspensos associados são inicialmente verticais. O corte de compensação (isto é, fios isolantes não-verticais) dos condutores pode ser desejado, e pode ser acomodado. Em seguida, o comportamento mecânico dos condutores (incluindo a tensão) sob várias condições, conforme solicitado pelas práticas de engenharia aceitas (por exemplo, frio extremo, carregamento de gelo e vento), é modelado (etapa 212). As cargas mecânicas deste modelo são avaliadas na etapa 214. Se as cargas mecânicas não são aceitáveis na primeira iteração da tensão de instalação, então a etapa 108 é repetida e um diferente conjunto de condutores é selecionado. Se as cargas mecânicas são aceitáveis, então a tensão é aumentada por um pequeno incremento (etapa 216), e o comportamento mecânico dos condutores é modelado (etapa 212), reverificando-se o mesmo para cargas mecânicas indesejadas. Se na etapa 214 a carga mecânica não é aceitável, e esta não é a primeira iteração da tensão instalada (etapa 218), então deve-se reverter (etapa 220) a mesma a tensão instalada anteriormente, a partir da etapa 216. Os resultados da modelagem que usa a tensão máxima permitida são usados para avaliar o arqueamento de cada extensão e determinar se o requisito de arqueamento do design foi alcançado (etapa 222). Se o arqueamento não é aceitável e esta é a primeira iteração de avaliação do arqueamento (etapa 226), então aquela combinação de condutores pode ser descartada e a etapa 208 é repetida para se selecionar um diferente conjunto de condutores. Se o arqueamento é aceitável, então novas temperaturas de operação são calculadas para um pequeno aumento na corrente (por exemplo, cerca de 5 ampéres) (etapa 224). Dadas estas novas temperaturas de operação, o arqueamento é reavaliado. Este processo de aumento de corrente e reavaliação do arqueamento é repetido até que o arqueamento não é mais aceitável. A última combinação de condutores e de corrente com um arqueamento aceitável (etapa 228) pode ser preservada como um candidato (etapa 230).

A etapa 208 pode ser reiterada múltiplas vezes, conforme necessário, com diferentes conjuntos de condutores, até que uma variedade, em alguns casos, todas as combinações, tenham sido avaliadas. Depois que as várias combinações foram avaliadas, o usuário pode revisar todos os candidatos a combinações registrados na etapa 230 e determinar qual tem as propriedades mais úteis (incluindo a mais desejável ou a melhor) para a aplicação, por exemplo, em um cruzamento de extensão longa, com a maior ampacidade.

As entradas diferentes que podem entrar no processo de decisão para identificar possíveis pares de condutores que irão fornecer combinações benéficas incluem: uma base de dados de propriedades do condutor que mantém dados que definem os condutores e os parâmetros operacionais de condutores (em particular, esta base de dados de condutores compreende os dados exemplificadores anotados na tabela 1 abaixo, para cada condutor a

ser avaliado), os comprimentos das extensões para a seção de tensão, as alturas dos pontos de fixação para torres e isolantes existentes e/ou planejados, o comprimento dos fios de isolamento de suspensão para estruturas existentes e/ou planejadas, os requisitos de folga (tipicamente fornecidos pelo código elétrico aplicável), as condições climáticas para o cálculo de ampacidade (por exemplo, os tipos de dados mostrados na tabela 2 abaixo, estas são as condições climáticas que são usadas para determinar a capacidade de carregamento de corrente de um condutor, dada uma temperatura de operação, ou alternativamente, a temperatura de operação de uma dada carga de corrente).

Tabela 1

Área da seção transversal
Diâmetro externo
Peso da unidade
Tensão máxima
Módulo da elasticidade final
Coefficiente de expansão térmica
Resistência a 25°C
Resistência a 75°C
Coefficiente de emissividade
Coefficiente de absorção solar
Capacidade de calor dos filamentos externos
Capacidade de calor do núcleo

Tabela 2

Latitude
Atmosfera
Tempo exposto ao sol
Azimuth da linha
Temperatura do ar
Velocidade do vento
Direção do vento em relação ao condutor
Elevação do condutor
Corrente de regime permanente

As pesadas cargas climáticas são as condições usadas pelos designers de linha de transmissão para representar o pior clima pelo qual uma linha de transmissão pode provavelmente passar. Estas condições climáticas incluem, tipicamente, a velocidade mais alta do vento, as temperaturas mais frias e a maior carga de gelo. Frequentemente, combinações de temperatura frias, gelo e vento também são consideradas. As cargas de

condutor permitidas, que são genericamente determinadas por códigos estruturais ou elétricos, práticas de engenharia ou utilidade de transmissão elétrica, podem ser, em termos de tensão absoluta do condutor (por exemplo, 53.376 N (12.000 lbs)) ou, por exemplo, em termos de porcentagem da resistência nominal à ruptura do condutor (por exemplo, 40% da resistência nominal à ruptura). As cargas de torre permitidas são tipicamente determinadas com base na capacidade estrutural das torres existentes e/ou propostas. As oscilações do isolante permitidas são tipicamente determinadas com base na tensão da linha de transmissão, no design da torre e no tamanho do fio isolante.

Para determinar se os arqueamentos, tensão e oscilações do isolante são aceitáveis, a linha aérea de transmissão de energia pode ser modelada, e o arqueamento, tensão e oscilação do isolante são determinados. Com referência à FIGURA 4, uma linha aérea de transmissão de energia elétrica exemplificadora, de acordo com a presente invenção 40, é mostrada cruzando um rio 50 com três extensões de diferentes condutores adjacentes 48a (extensão esquerda), 49 (extensão central), e 48b (extensão direita), ilustrando as diferentes variáveis da linha de transmissão de energia suspensa.

A equação 1 abaixo é um exemplo de uma matriz matemática para uma configuração com três extensões representada na FIGURA 4, onde os condutores 48a e 48b são idênticos e o condutor 49 não é igual aos condutores 48a e 48b.

$$\left\{ \begin{array}{l} D_1 + D_2 - S_2 - L_{ins}(\theta_1 - \theta_2) \\ D_{b1} + D_{b2} - S_1 + L_{ins}\theta_1 \\ D_{a1} + D_{a2} - S_3 - L_{ins}\theta_2 \\ W_s(D_{a2}^2 - D_{a1}^2)/(2T_h) + H_3 - H_4 \\ W_s(D_{b2}^2 - D_{b1}^2)/(2T_h) + H_1 - H_2 \\ W_c(D_2^2 - D_1^2)/(2T_h) + H_2 - H_3 \\ D_{b1} + D_{b2} + (D_{b1}^3 + D_{b2}^3)W_s^2/(6T_h^2) - L_1(1 + T_h/E_s + \alpha_s\Delta_{Ts}) \\ D_1 + D_2 + (D_1^3 + D_2^3)W_c^2/(6T_h^2) - L_2(1 + T_h/E_c + \alpha_c\Delta_{Tc}) \\ D_{a1} + D_{a2} + (D_{a1}^3 + D_{a2}^3)W_s^2/(6T_h^2) - L_3(1 + T_h/E_s + \alpha_s\Delta_{Ts}) \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{array} \right\} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: L_{ins} é o comprimento dos fios isolantes, T_h é o componente horizontal de tensão, W_s é o peso do condutor 48a/b em massa/comprimento da unidade, W_c é o peso do condutor 49 em massa/comprimento da unidade, α_s é o coeficiente de expansão térmica do condutor 48a/b, α_c é o coeficiente de expansão térmica do condutor 49, E_s é o módulo elástico do condutor 48a/b, E_c é o módulo elástico do condutor 49, Δ_{Ts} é a mudança de temperatura no condutor 48a/b a partir de um estado de estresse zero, Δ_{Tc} é a mudança de temperatura no condutor 49 a partir de um estado de estresse zero, L_1 é o comprimento não-tensionado do condutor na extensão 45, L_2 é o comprimento não-tensionado do condutor na extensão 46, L_3 é o comprimento não-tensionado do condutor na extensão 47, θ_1 é o ângulo em que o isolante se move a partir de um sentido horário normal (isto é, perpendicular ao horizonte)

na segunda torre, e θ_2 é o ângulo em que o isolante se move a partir de um sentido horário normal (isto é, perpendicular ao horizonte) na terceira torre.

A equação 1 representa um método exemplar para determinar parâmetros como a tensão do condutor e a oscilação do isolante, através de uma mudança na temperatura de operação para as três extensões de cruzamento exemplificadoras mostradas na FIGURA 4. Dados os resultados da equação 1, pode ser determinado o arqueamento de cada extensão que ocorre após uma mudança na temperatura de operação. Tais cálculos são usados para determinar a adequação do par de condutores para uma aplicação específica. Além disto, o designer da configuração do condutor executa, tipicamente, cálculos semelhantes para os climas mais extremos que a linha aérea de transmissão de energia pode vir a sofrer. Conforme discutido acima, estas condições climáticas incluem, tipicamente, a maior velocidade de vento, as temperaturas mais frias e a maior carga de gelo. Frequentemente, combinações de temperatura frias, gelo e vento também são consideradas. Estes cálculos podem ser feitos, por exemplo, modificando-se a equação 1 de tal modo que as temperaturas de operação do condutor são as temperaturas do ar dadas, e usando-se “pesos resultantes” causados pelas cargas de vento e gelo no lugar do peso do condutor. O cálculo do peso resultante pode ser encontrado em Overhead Conductor Manual, 1994, Southwire Company, Carrollton, GA, EUA.

As primeiras três fileiras da equação 1 representam o fato de que a distância horizontal entre os pontos de fixação é igual ao comprimento inicial da extensão menos o efeito da oscilação do isolante, para as extensões esquerda, central, e direita, respectivamente. As quarta a sexta fileiras da equação 1 são equações de catenárias simplificadas para as extensões esquerda, central e direita, respectivamente, apesar do fato de que pode ser desejável, em alguns casos, o uso de equações de catenárias mais precisas. As sétima a nona fileiras da equação 1 representam o fato de que o comprimento do condutor deve ser o comprimento não-tencionado mais o alongamento devido ao esforço mecânico e térmico, para as extensões esquerda, central e direita, respectivamente.

Com referência à tabela 3 (abaixo), as variáveis da equação 1 são descritas e mencionadas com referência à FIGURA 4.

Tabela 3

Número na figura 4	Variável correspondente na equação 1	Descrição
41	H_1	altura do ponto de fixação do condutor na primeira torre
42	H_2	altura do ponto de fixação do condutor na segunda torre
43	H_3	altura do ponto de fixação do condutor na terceira torre
44	H_4	altura do ponto de fixação do condutor na quarta torre
45	S_1	Comprimento da extensão
46	S_2	Comprimento da extensão

47	S_3	Comprimento da extensão
51a	D_{a1}	Distância horizontal da primeira torre até o ponto baixo no condutor
51b	D_{a2}	Distância horizontal da primeira torre até o ponto baixo no condutor
52	D_1	Distância horizontal da segunda torre até o ponto baixo no condutor
53	D_2	Distância horizontal do ponto baixo no condutor até a terceira torre
54a	D_{b1}	Distância horizontal da terceira torre até o ponto baixo no condutor
54b	D_{a2}	Distância horizontal do ponto baixo no condutor até a quarta torre

A equação 1 pode ser resolvida através de vários métodos conhecidos na técnica, incluindo a bem conhecida técnica de solução iterativa Newton-Raphson (Numerical Recipes in Fortran ^{2a. Ed.} de Press, W. H., Saul, A. T., Vetterling, W. T. e Flannery, B. P., 1992 Cambridge University Press, New York, NY, EUA). A equação 1 assume um modelo linear simples para o comportamento termomecânico do condutor. Este comportamento linear foi escolhido por uma questão de simplicidade. Entretanto, o uso de modelos mais sofisticados, modelos não-lineares, de comportamento do condutor por um método similar também podem ser usados, e podem ser desejáveis, por exemplo, para condutores de alta temperatura, como ACCRs. Adicionalmente, a equação 1 faz suposições ainda mais simplificadoras, tais como “os componentes de tensão horizontais são os mesmos para cada condutor”. Os versados na técnica irão reconhecer que a formulação representada pela equação 1 pode ser prontamente estendida para qualquer uma de uma variedade de extensões e/ou tipos de condutores. Além disto, os versados na técnica irão reconhecer que métodos de formulação alternativos, como o método de elemento finito, podem ser empregados para representar o comportamento de configurações do condutor iguais, e se alcançar uma solução similar.

O comportamento de tensão/alongamento de um condutor pode ser determinado através de métodos conhecidos na técnica (por exemplo, ele pode ser representado por um módulo linear simples, ou pelas curvas polinomiais de tensão-alongamento mais complexas e bem conhecidas usadas em vários tipos de programas de design de linha de transmissão (por exemplo, um programa disponível junto à ACA Conductor Accessories, Spartanburg, SC, EUA, sob a designação comercial “SAG 10”, e outro disponível junto à Powerline Systems, Madison, WI, EUA, sob a designação comercial “PLS CADD)).

Conforme mencionado anteriormente, as seções de tensão das linhas de transmissão são projetadas para manter folgas desejadas ou necessárias o tempo todo. Para assegurar uma folga adequada sob qualquer clima e quaisquer cargas elétricas, o comportamento de arqueamento do condutor é incorporado no design da linha aérea de transmissão de energia.

Os cálculos de tensão do arqueamento são usados para prever o comportamento de arqueamento do condutor sob condições variadas. Estes cálculos de tensão do arqueamento são normalmente feitos numericamente, com o uso de diferentes condições e características de carregamento de linha. Uma condição de carregamento importante é o arqueamento e a tensão do condutor à temperaturas de operação diferentes. Conforme mais corrente é transmitida através de um condutor, sua temperatura aumenta devido a perdas resistivas “ I^2R ”, e ele se alonga devido à expansão térmica dos materiais. Conforme o condutor se alonga, a tensão na extensão diminui e o arqueamento do condutor aumenta. Uma equação comum e simplificada para o arqueamento é representada pela equação 2, abaixo.

$$\text{arqueamento} = \frac{wS^2}{8T_h} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: w é o peso/comprimento de unidade do condutor, S é o comprimento da extensão e T_h é o componente horizontal da tensão. A equação 2 é resolvida para o arqueamento com o uso dos resultados obtidos na equação 1.

Em algumas modalidades exemplares, cada uma das subseções de tensão suspensas de transmissão de energia elétrica utilizadas na prática da presente invenção são de pelo menos cerca de 100 metros em comprimento, apesar do fato de que outros comprimentos são contemplados. Em algumas modalidades, cada uma das subseções de tensão suspensas de transmissão de energia elétrica têm pelo menos cerca de 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1.000, 2.000, 3.000, 4.000, 5.000, 6.000, 7.000, 8.000, 9.000, 10.000, 15.000, 20.000, ou mesmo pelo menos cerca de 25.000 metros de comprimento.

Os condutores suspensos de transmissão de energia elétrica exemplificadores para subseções de tensão suspensas de transmissão de energia elétrica incluem cabos suspensos de transmissão de energia elétrica que têm núcleos que compreendem pelo menos dentre um fio(s) compósito(s) (por exemplo, compósitos de matriz de alumínio e compósitos poliméricos), fio(s) Invar, fio(s) de aço, material (por exemplo, fios poliméricos) polimérico (por exemplo, aramida e poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol)), cerâmica, boro, grafite, carbono, titânio (por exemplo, fio(s)), tungstênio (por exemplo, fio(s)), e/ou liga com memória de formato (por exemplo, fio(s)), e combinações dos mesmos. Tipicamente, fios de alumínio, fios de cobre, fios de liga de alumínio, e/ou fios de liga de cobre são enrolados ao redor dos núcleos. Um núcleo compósito exemplificador para o cabo suspenso de transmissão de energia elétrica compreende um núcleo compósito de matriz de alumínio, e fios de alumínio, fios de cobre, fios de liga de alumínio, e/ou fios de liga de cobre estão enrolados ao redor do núcleo. Um condutor que tem um núcleo compósito de matriz de alumínio é, às vezes, chamado de condutor em alumínio reforçado por compósitos (“ACCR”).

Em algumas modalidades, um núcleo compósito utilizado na presente invenção compreende pelo menos um (em algumas modalidades, pelo menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11,

12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, ou mesmo pelo menos 50) compósito contínuo e alongado (por exemplo, um fio) ou Invar (por exemplo, um fio). Em algumas modalidades, um núcleo compósito utilizado na presente invenção tem uma área em seção transversal, sendo que o núcleo que compreende pelo menos 5 (em algumas modalidades, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, ou mesmo 100) por cento da área em seção transversal do núcleo é um compósito (por exemplo, fio(s)) ou Invar (por exemplo, fio(s)). Em algumas modalidades, o núcleo utilizado na presente invenção, que compreende pelo menos um dentre um núcleo contendo um compósito ou um Invar, compreende adicionalmente fios de aço, fibras poliméricas (por exemplo, aramida e poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol)), fibras cerâmicas, fibras de boro, fibras de grafite, fibras de carbono, fios de titânio, fios de tungstênio, fios de liga com memória de formato, e combinações dos mesmos.

Em algumas modalidades, a primeira e/ou segunda (ou outra, adicional) subseção de tensão sequencial do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica é isenta de compósito e tem um núcleo que compreende fios de aço, fibras poliméricas (por exemplo, aramida e poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol)), fibras cerâmicas, fibras de boro, fibras de grafite, fibras de carbono, fios de titânio, fios de tungstênio, fios de liga com memória de formato, e combinações dos mesmos. Em algumas modalidades, o núcleo de tal primeira e/ou segunda (ou outra, adicional) subseção de tensão sequencial do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica compreende pelo menos um (em algumas modalidades, pelo menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, ou mesmo, pelo menos 50) fios de aço, fibras poliméricas (por exemplo, aramida e poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol)), fibras cerâmicas, fibras de boro, fibras de grafite, fibras de carbono, fios de titânio, fios de tungstênio, fios de liga com memória de formato, e combinações dos mesmos. Em algumas modalidades, o núcleo desta segunda subseção de tensão sequencial do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica tem uma área de seção transversal, sendo que pelo menos 5 (em algumas modalidades, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, ou mesmo 100) por cento da área em seção transversal do núcleo são fios de aço, fibras poliméricas (por exemplo, aramida e poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol)), fibras cerâmicas, fibras de boro, fibras de grafite, fibras de carbono, fios de titânio, fios de tungstênio, fios de liga com memória de formato, e combinações dos mesmos.

Em algumas modalidades, o condutor suspenso de transmissão de energia elétrica de terminal-a-terminal, de acordo com a presente invenção, compreende adicionalmente pelo menos uma (em algumas modalidades, pelo menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100 ou mesmo mais) subseção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica adicional. Em algumas modalidades, a(s) subseção(ões) de tensão do

condutor suspenso de transmissão de energia elétrica adicional(is) podem ser, independentemente, um núcleo compósito que compreende pelo menos um (em algumas modalidades, pelo menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, ou mesmo, pelo menos 50) fio compósito. Em algumas modalidades, a(s) subseção(ões) de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica adicional(is) podem ser, independentemente, o núcleo compósito que compreende pelo menos 5 (em algumas modalidades, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, ou mesmo 100) por cento da área em seção transversal do núcleo é um compósito (por exemplo, fio(s)), ou um núcleo isento de compósito que compreende fios de aço, Invar (por exemplo, fio(s)), fibras poliméricas (por exemplo, aramida e poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol)), fibras cerâmicas, fibras de boro, fibras de grafite, fibras de carbono, fios de titânio, fios de tungstênio, fios de liga com memória de formato, e combinações dos mesmos. Em algumas modalidades, o(s) núcleo(s) da subseção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica adicional, que compreende um compósito no núcleo, compreende, também, fios de aço, fibras poliméricas (por exemplo, aramida e poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol)), fibras cerâmicas, fibras de boro, fibras de grafite, fibras de carbono, fios de titânio, fios de tungstênio, fios de liga com memória de formato, e combinações dos mesmos. Em algumas modalidades, o(s) núcleo(s) da(s) subseção(ões) de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica adicional(is) é isento de compósitos no núcleo e compreende pelo menos um (em algumas modalidades, pelo menos 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, ou mesmo, pelo menos 50) dentre fios de aço, fibras de material polimérico (por exemplo, aramida e poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol)), fibras cerâmicas, fibras de boro, fibras de grafite, fibras de carbono, fios de titânio, fios de tungstênio, fios de liga com memória de formato, e combinações dos mesmos. Em algumas modalidades, pelo menos 5 (em algumas modalidades, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, ou mesmo 100) por cento da área em seção transversal do núcleo da subseção de tensão adicional é formada por fios de aço, fibras poliméricas (por exemplo, aramida e poli(p-fenileno-2,6-benzobisoxazol)), fibras cerâmicas, fibras de boro, fibras de grafite, fibras de carbono, fios de titânio, fios de tungstênio, fios de liga com memória de formato, e combinações dos mesmos.

Os condutores suspensos de transmissão de energia elétrica exemplificadores para as subseções de tensão utilizadas na presente invenção incluem: condutores de alumínio reforçados a aço (ACSR), condutores de liga de alumínio termorresistentes reforçados a aço (TACSR), condutores de liga de alumínio ultra termorresistentes reforçados a aço (ZTACSR), condutores de liga de alumínio ultra termorresistentes reforçados a Invar (ZTACIR), ligas de alumínio resistentes ao calor (ZTAL), condutores de liga de alumínio ultra

termorresistentes reforçados a aço (ZTACSR), condutores de liga de alumínio extra termorresistentes reforçados a aço (XTACSR), condutores de liga de alumínio extra termorresistentes reforçados a Invar (XTACIR), liga de alumínio com intervalo ultra termorresistente reforçada a aço (GZTACSR), condutores de liga de alumínio termorresistente de alta durabilidade reforçados a aço (KTACSR), condutores de alumínio (AAC), condutores de liga de alumínio (AAAC), núcleo compósito condutor de alumínio (ACCC), e condutor de alumínio suportado a aço (ACSS).

Os fios que são enrolados no núcleo, para fornecer um condutor utilizado na prática da presente invenção, são conhecidos na técnica. Os fios de alumínio estão disponíveis comercialmente, por exemplo, junto à Nexans, Weyburn, Canadá ou junto à Southwire Company, Carrollton, GA, EUA, sob as designações comerciais “1350-H19 ALUMINUM” e “1350-H0 ALUMINUM”. Tipicamente, um fio de alumínio tem um coeficiente de expansão térmica em uma faixa de cerca de $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a cerca de $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, em uma faixa de temperatura de pelo menos cerca de 20°C a cerca de 500°C . Em algumas modalidades, os fios de alumínio (por exemplo, “1350-H19 ALUMINUM”) têm uma resistência à ruptura elástica de pelo menos 138 MPa (20 ksi), 158 MPa (23 ksi), 172 MPa (25 ksi), 186 MPa (27 ksi) ou mesmo pelo menos 200 MPa (29 ksi.). Em algumas modalidades, os fios de alumínio (por exemplo, “1350-H0 ALUMINUM”) têm uma resistência à ruptura elástica maior que 41 MPa (6 ksi) até não mais que 97 MPa (14 ksi), ou mesmo não mais que 83 MPa (12 ksi). Os fios de liga de alumínio estão disponíveis comercialmente, por exemplo, junto à Sumitomo Electric Industries, Osaka, Japão, sob a designação comercial “ZTAL”, ou junto à Southwire Company, Carrollton, GA, EUA, sob a designação “6201”. Em algumas modalidades, os fios de liga de alumínio têm um coeficiente de expansão térmica na faixa de cerca de $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a cerca de $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, em uma faixa de temperatura de pelo menos cerca de 20°C a cerca de 500°C . Os fios de cobre estão disponíveis comercialmente, por exemplo, junto à Southwire Company, Carrollton, GA, EUA. Tipicamente, os fios de cobre têm um coeficiente de expansão térmica na faixa de cerca de $12 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a cerca de $18 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, em de uma faixa de temperatura de pelo menos cerca de 20°C a cerca de 800°C . Os fios de liga de cobre (por exemplo, bronzes acobreados como Cu-Si-X, Cu-Al-X, Cu-Sn-X, Cu-Cd, onde X = Fe, Mn, Zn, Sn, e/ou Si, comercialmente disponíveis, por exemplo, junto à Southwire Company, Carrollton, GA, EUA; cobre reforçado com dispersão de óxido, disponível, por exemplo, junto à OMG Americas Corporation, Research Triangle Park, NC, EUA, sob a designação comercial “GLIDCOP”). Em algumas modalidades, os fios de liga de cobre têm um coeficiente de expansão térmica na faixa de cerca de $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a cerca de $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, em uma faixa de temperatura de pelo menos cerca de 20°C a cerca de 800°C . Os fios podem estar em qualquer uma de uma variedade de formatos (por exemplo, circulares, elípticos, e trapezoidais).

Os condutores suspensos de transmissão de energia elétrica adequados para subseções de tensão suspensas de transmissão de energia elétrica, que têm núcleos que compreendem fio(s) compósito(s) por uma matriz de alumínio, podem ser feitos a partir de métodos conhecidos no estado da técnica. Exemplos de fibras cerâmicas contínuas (isto é, que têm um comprimento que é relativamente infinito quando comparado ao diâmetro médio da fibra) adequadas para os núcleos de ACCR dos condutores suspensos de transmissão de energia elétrica incluem vidro, fibras de carbureto de silício e fibras óxidas de cerâmica. Tipicamente, as fibras cerâmicas são cerâmicas cristalinas (isto é, as fibras exibem um padrão discernível de difração de raios X do pó) e/ou uma mistura de cerâmicas cristalinas e vidro (isto é, uma fibra pode conter ambas fases cerâmica cristalina e vítrea), apesar de que elas podem, também, ser de vidro. Em algumas modalidades, a fibra é pelo menos 50 (em algumas modalidades, pelo menos 55, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 96, 97, 98, 99, ou mesmo 100) por cento, em peso, cristalina. Exemplos de fibras de óxidos de cerâmica cristalina adequados incluem fibras refratárias como fibras de alumina, fibras de aluminossilicato, fibras de alumínio borato, fibras de alumínio borossilicato, fibras de zircônia-sílica, e combinações dos mesmos.

Em algumas modalidades dos núcleos dos condutores ACCR suspensos de transmissão de energia elétrica, é desejável que as fibras compreendam pelo menos 40 (em algumas modalidades, pelo menos 50, 60, 65, 70, 75, 80, 85, 90, 95, 96, 97, 98, 99, ou mesmo 100) %, por volume, de Al_2O_3 , com base no volume total da fibra. Em algumas modalidades, é desejável que as fibras estejam compreendidas em uma faixa de 40 a 70 (em algumas modalidades, em uma faixa de 55 a 70, ou mesmo 55 a 65) %, por volume de Al_2O_3 , com base no volume total da fibra.

Adicionalmente, fibras de vidro exemplificadoras estão disponíveis, por exemplo, junto à Corning Glass, Corning, NY, EUA. Tipicamente, as fibras de vidro contínuas têm um diâmetro médio de fibra em uma faixa de cerca de 3 micrômetros a cerca de 19 micrômetros. Em algumas modalidades, as fibras de vidro têm uma resistência média à tração de pelo menos 3 GPa, 4 GPa e/ou mesmo pelo menos 5 GPa. Em algumas modalidades, as fibras de vidro têm um módulo na faixa de cerca de 60 GPa a 95 GPa, ou cerca de 60 GPa a cerca de 90 GPa.

As fibras de alumina são descritas, por exemplo, nas patentes US nº 4.954.462 (Wood et al.) e 5.185.299 (Wood et al.). Em algumas modalidades, as fibras de alumina são fibras policristalinas de alumina alfa, e compreendem, em uma base óxida teórica, mais que 99 por cento, em peso, de Al_2O_3 e 0,2 a 0,5 por cento, em peso, de SiO_2 , com base no peso total das fibras de alumina. Em um outro aspecto, algumas fibras policristalinas de alumina alfa desejáveis compreendem alumina alfa com um tamanho médio de grão menor que 1 micrômetro (ou mesmo, em algumas modalidades, menor que 0,5 micrômetro). Em um outro aspecto, em algumas modalidades, as fibras policristalinas de alumina alfa têm uma resistência à tração média de, ao menos, 1,6 GPa (em algumas

modalidades, ao menos, 2,1 GPa, ou mesmo, ao menos, 2,8 GPa), conforme determinado de acordo com o teste de resistência à tração descrito na patente US nº 6.460.597 (McCullough et al.). As fibras de alumina alfa exemplificadoras são comercializadas sob a designação comercial de “NEXTEL 610” junto à 3M Company, St. Paul, MN, EUA.

5 As fibras de alumino silicato são descritas, por exemplo, na patente US nº 4.047.965 (Karst et al). As fibras de alumino silicato exemplificadoras são comercializadas sob a designação comercial de “NEXTEL 440”, “NEXTEL 550” e “NEXTEL 720” junto à 3M Company.

As fibras de alumínio borato e alumínio borosilicato são descritas, por exemplo, na patente US nº 3.795.524 (Sowman). As fibras de alumínio borosilicato exemplificadoras são
10 comercializadas sob a designação comercial de “NEXTEL 312” junto à 3M Company.

As fibras de zircônia-sílica exemplificadoras são descritas, por exemplo, na patente US nº 3.795.524 (Sowman).

Tipicamente, as fibras cerâmicas contínuas têm um diâmetro médio de fibra de pelo menos cerca de 5 micrômetros, mais tipicamente, em uma faixa de cerca de
15 5 micrômetros a cerca de 20 micrômetros; e, em algumas modalidades, na faixa de cerca de 5 micrômetros a cerca de 15 micrômetros.

Tipicamente, as fibras cerâmicas estão em estopas. As estopas são conhecidas na técnica de fibra e tipicamente incluem, em geral, uma pluralidade de fibras não-torcidas (individuais) (tipicamente pelo menos 100 fibras, mais tipicamente pelo menos 400 fibras).
20 Em algumas modalidades, as estopas compreendem pelo menos 780 fibras individuais por estopa e, em alguns casos, pelo menos 2600 fibras individuais por estopa ou pelo menos 5200 fibras individuais por estopa. Estopas de várias fibras cerâmicas estão disponíveis em uma variedade de comprimentos, incluindo 300 metros, 500 metros, 750 metros, 1000 metros, 1500 metros e mais longas. As fibras podem ter um formato em seção
25 transversal que seja circular, elíptico ou no formato de osso canino.

Fibras de boro exemplificadoras estão disponíveis comercialmente, por exemplo, junto à Textron Specialty Fibers, Inc. de Lowell, MA, EUA. Tipicamente, tais fibras têm um comprimento da ordem de pelo menos 50 metros, e podem ter comprimentos da ordem de até quilômetros ou mais. Tipicamente, as fibras de boro contínuas têm um diâmetro médio de fibra
30 na faixa de cerca de 80 micrômetros a cerca de 200 micrômetros. Mais tipicamente, o diâmetro médio da fibra não é maior que 150 micrômetros, mais tipicamente, situam-se na faixa de 95 micrômetros a 145 micrômetros. Em algumas modalidades, as fibras de boro têm uma resistência média à tração média de pelo menos 3 GPa, e/ou pelo menos 3,5 GPa. Em algumas modalidades, as fibras de boro têm um módulo na faixa de cerca de 350 GPa a cerca
35 de 450 GPa, ou mesmo na faixa de cerca de 350 GPa a cerca de 400 GPa.

Adicionalmente, fibras de carbureto de silício exemplificadoras são comercializadas, por exemplo, pela COI Ceramics de San Diego, CA, EUA, sob a

designação comercial "NICALON" em estopas de 500 fibras, pela Ube Industries do Japão, sob a designação comercial "TYRANNO", e pela Dow Corning de Midland, MI, EUA, sob a designação comercial "SYLRAMIC".

5 Fibras de monofilamento de carbureto de silício exemplificadoras são comercializadas, por exemplo, pela Specialty Materials, Inc., Lowell, MA, EUA sob as designações comerciais "SCS-9", "SCS-6" e "Ultra-SCS".

10 Os metais de alumínio exemplificadores para matriz são alumínio elementar altamente puro (por exemplo, maior que 99,95%) ou ligas de alumínio puro com outros elementos, como cobre. Tipicamente, o material da matriz de alumínio é selecionado de modo que o material de matriz não reaja quimicamente de maneira significativa com a fibra (ou seja, ele é quimicamente inerte em relação ao material da fibra), por exemplo, para eliminar a necessidade de se fornecer um revestimento protetor no exterior da fibra.

15 Em algumas modalidades, a matriz de alumínio compreende ao menos 98%, em peso, de alumínio, ao menos 99%, em peso, de alumínio, mais que 99,9%, em peso, de alumínio, ou mesmo mais que 99,95%, em peso, de alumínio. As ligas de alumínio exemplificadoras de alumínio e cobre compreendem ao menos 98%, em peso de alumínio e até 2%, em peso, de cobre. Em algumas modalidades, ligas de alumínio úteis são ligas de alumínio de série 1.000, 2.000, 3.000, 4.000, 5.000, 6.000, 7.000 e/ou 8.000 (designações da Aluminum Association). Apesar do fato de que um alumínio com pureza
20 mais alta tende a ser desejável para a fabricação de fios com resistências à tração mais altas, formas menos puras de metais também são úteis.

Por exemplo, alumínio está disponível sob a designação comercial "SUPER PURE ALUMINUM; 99,99% Al" junto à Alcoa de Pittsburgh, PA, EUA. As ligas de alumínio (por exemplo, Al-2%, em peso, de Cu (0,03%, em peso, de impurezas)) podem ser obtidas, por
25 exemplo, junto à Belmont Metals, New York, NY, EUA.

Os núcleos e fios compósitos compreendem, tipicamente, ao menos 15%, por volume (em algumas modalidades, ao menos 20, 25, 30, 35, 40, 45, ou mesmo 50%, por volume) de fibras, com base no volume total de fibras e material de matriz de alumínio, juntos. Mais tipicamente, os núcleos e fios compósitos compreendem na faixa de 40 a 75
30 (em algumas modalidades, 45 a 70) %, por volume, de fibras, com base no volume total de fibras e material de matriz de alumínio, juntos.

Tipicamente o diâmetro médio do núcleo está na faixa de cerca de 3 mm a cerca de 40 mm. Em algumas modalidades, o diâmetro médio do núcleo desejável é pelo menos 10 mm, pelo menos 15 mm, 20 mm, ou mesmo até cerca de 25 mm (por exemplo, de 10 mm a 30 mm).
35 Tipicamente, o diâmetro médio do fio compósito está na faixa de cerca de 1 mm a 12 mm, de 1 mm a 10 mm, de 1 a 8 mm, ou mesmo de 1 mm a 4 mm. Em algumas modalidades, o

diâmetro médio desejado do fio compósito é de pelo menos 1 mm, pelo menos 1,5 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm, 7 mm, 8 mm, 9 mm, 10 mm, 11 mm, ou mesmo pelo menos 12 mm.

Técnicas para a produção de fios compósitos de alumínio são conhecidas na técnica. Por exemplo, fios compósitos contínuos de matriz metálica podem ser feitos por processos contínuos de infiltração de matriz metálica. Um processo adequado é descrito, por exemplo, na patente US nº 6.485.796 (Carpenter et al.). Outros meios de processamento da fibra contínua reforçada com compósitos de matriz metálica são, por exemplo, discutidos no ASM Handbook Vol. 21, Composites, páginas 584 a 588 (da ASM International, Metals Park, OH, EUA), publicado em 2001.

Os condutores suspensos de transmissão de energia elétrica que têm núcleos que compreendem fio(s) de aço estão disponíveis comercialmente, por exemplo, junto à Southwire, Carrollton, GA, EUA. Tipicamente, os fios de aço do núcleo são feitos a partir de um aço com força média a alta, com uma resistência nominal à tração na faixa de 1.172 MPa (170 ksi) a 1.931 MPa (280 ksi) e geralmente são revestidos para conferir boa resistência à corrosão. Os materiais de revestimento mais comuns incluem o zinco (também conhecido como galvanizado) ou uma liga de zinco com 5% de alumínio-mischmetal. Tipos adicionais de revestimento são o alumínio ou um revestimento em alumínio, por exemplo, aço revestido com alumínio (por exemplo, "ALUMOWELD", disponível junto à Alumoweld, Duncan, SC, EUA) como o Wires AWG #4 (com um diâmetro nominal de 5,18 mm (0,2043 polegadas) e uma resistência máxima à tração de 793 MPa (115 ksi (109 kg/mm²)), que pesa 139,3 kg/km (93,63 lbs/1.000 pés) e uma resistência de 4,009 Ohms/km à 20°C (1,222 Ohms/1.000 pés à 68°F)), e o Wires AWG #8 (com um diâmetro nominal de 3,264 mm (0,1285 polegadas) e uma resistência máxima à tração de 1.344 MPa (195 ksi (137 kg/mm²)), que pesa 55,11 kg/km (37,03 lbs/1.000 pés) e tem com uma resistência de 10,13 Ohms/km à 20°C (3,089 Ohms/1.000 pés à 68°F)).

Os condutores de núcleo polimérico com núcleos compósitos de fibra de vidro/fibra de carbono estão disponíveis, por exemplo, junto à Composite Technology Corporation, Irvine, CA, EUA, sob a designação comercial "ACCC/TW DRAKE". Os compósitos poliméricos reforçados com fibra de carbono estão disponíveis, por exemplo, junto à Tokyo Rope, Japão. Os fios de alumínio reforçados com fibras de carbureto de silício estão disponíveis, por exemplo, junto à Nippon Carbon, Japão. Os fios de alumínio reforçados com fibras de grafite estão disponíveis, por exemplo, junto à Yazaki Corp., Japão.

Em algumas modalidades, os coeficientes de expansão térmica das subseções de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica situam-se na faixa de zero a $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ (em algumas modalidades, situam-se na faixa de $8 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, ou mesmo de $14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ a $20 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Em algumas modalidades, as densidades das subseções de tensão do condutor de transmissão de energia elétrica situam-se na faixa

de $1,4 \text{ g/cm}^3$ a 20 g/cm^3 (em algumas modalidades, situam-se na faixa de 16 g/cm^3 a 19 g/cm^3 , de $2,7 \text{ g/cm}^3$ a $3,6 \text{ g/cm}^3$, ou de $2,2 \text{ g/cm}^3$ a $4,5 \text{ g/cm}^3$).

Os condutores utilizados na presente invenção são tipicamente trançados. Um condutor trançado inclui, tipicamente, um fio central e uma primeira camada de fios entrelaçados em formato helicoidal ao redor do fio central. O entrelaçamento do condutor é um processo em que filamentos individuais de fio são combinados em uma disposição helicoidal para produzir um condutor terminado (vide, por exemplo, as patentes US nº 5.171.942 (Powers) e 5.554.826 (Gentry)). O cabo de fios entrelaçados em formato helicoidal resultante fornece muito mais flexibilidade do que o que estaria disponível a partir de uma haste sólida de área em seção transversal equivalente. A disposição helicoidal também é benéfica, pois o condutor trançado mantém um formato circular em seção transversal de ponta a ponta, quando o condutor é submetido à flexão durante manuseio, instalação e uso. Os condutores trançados em formato helicoidal podem conter de 7 filamentos individuais a construções mais comuns contendo 50 filamentos ou mais.

Em algumas modalidades, e tipicamente, a área em seção transversal de um condutor está na faixa de cerca de 100 mm^2 a cerca de 1.400 mm^2 .

Detalhes adicionais para a fabricação de fios e condutores compósitos de matriz de alumínio incluem aqueles discutidos, por exemplo, nas patentes US nº 5.501.906 (Deve), 6.180.232 (McCullough et al.), 6.245.425 (McCullough et al.), 6.336.495 (McCullough et al.), 6.544.645 (McCullough et al.), 6.447.927 (McCullough et al.), 6.460.597 (McCullough et al.), 6.329.056 (Deve et al.), 6.344.270 (McCullough et al.), 6.485.796 (Carpenter et al.), 6.559.385 (Johnson et al.), 6.796.365 (McCullough et al.), 6.723.451 (McCullough et al.) 6.692.842 (McCullough et al.), 6.913.838 (McCullough et al.), e nas patentes US nº 7.093.416 (Johnson et al.), e 7.131.308 (McCullough et al.), e nas publicações de pedido de patente US nº 2004/0190733 (Nayar et al.), 2005/0181228 (McCullough et al.), 2006/0102377 (Johnson et al.), 2006/0102378 (Johnson et al.), e 2007/0209203 (McCullough et al.), e no pedido US de nº Serial 60/755.690, depositado em 30 de janeiro de 2005, para as suas instruções de fabricação e uso de fios compósitos de matriz de metal e condutores que compreendem os mesmos. Os condutores que contêm compósitos de matriz de alumínio também estão disponíveis, por exemplo, junto à 3M Company, sob a designação comercial “403 mm² (795 kcmil) ACCR”.

Detalhes adicionais na seleção de tipos de condutores, tipos de materiais usados para os condutores, métodos de fabricação de subseções de tensão, métodos de conexão de subseções de tensão, tipos de linha de transmissão de energia suspensa, e outros exemplos relacionados podem ser encontrados nos pedidos de patente US nº 11/617.461 e 11/617.480, depositados em 28 de dezembro de 2006.

O seguinte exemplo é oferecido para auxiliar no entendimento da presente invenção e não deve ser interpretado como um limitador do escopo da mesma.

Exemplo

O seguinte exemplo modela uma configuração de três condutores para o cruzamento de um rio, ilustrada na FIGURA 4. Dois condutores com diferentes áreas em seção transversal foram modelados: um condutor ASCR tipo Chukar com um filamento 84/19 de 976 mm² (1.780 kcmil) (disponível, por exemplo, junto à Southwire Company, Carrollton, GA, EUA) para as extensões curtas 48a e 48b, e um condutor ACSR tipo Drake com um filamento 26/7 de 403 mm² (795 kcmil) (disponível, por exemplo, junto à Southwire Company) para a extensão central 49. Os seguintes parâmetros para as três configurações de extensão representadas na FIGURA 4 são descritos na tabela 4, abaixo.

Tabela 4

S_1	400 m
S_2	1000 m
S_3	400 m
H_1	20 m
H_2	100 m
H_3	100 m
H_4	20 m
L_{ins}	5 m

Para o condutor tipo Chukar, foi usado um modelo de cabo elástico simplificado (sem desgaste gradual e sem coeficientes não-lineares) usando os parâmetros mencionados na tabela 5, abaixo, e foi baseado nos dados obtidos junto ao website da Powerline Systems, Inc., Madison, WI, EUA.

Tabela 5

Área da seção transversal	976 mm ²
Diâmetro externo	40,7 mm
Peso da unidade	30,28 N/m
Tensão máxima	226.859 N
Módulo da elasticidade final	621,9 MPa/100
Coeficiente de expansão térmica	0,0020396 /100°
Resistência a 25°C	0,03486 Ohm/km
Resistência a 75°C	0,04089 Ohm/km
Coeficiente de emissividade	0,5
Coeficiente de absorção solar	0,5
Capacidade de calor dos filamentos externos	2.394 Watt-s/m-°C
Capacidade de calor do núcleo	274,0 Watt-s/m-°C

Para o condutor tipo Drake, um modelo de cabo elástico simplificado (sem desgaste gradual e sem coeficientes) usando os parâmetros mencionados na tabela 6, abaixo, foi usado, e foi baseado nos dados obtidos junto ao website da Powerline Systems, Inc..

Tabela 6

Área da seção transversal	468,6 mm ²
Diâmetro externo	28,14 mm
Peso da unidade	15,96 N/m
Tensão máxima	140.119 N
Módulo da elasticidade final	696,4 MPa/100
Coeficiente de expansão térmica	0,0018819 /100°
Resistência a 25°C	0,07245 Ohm/km
Resistência a 75°C	0,08637 Ohm/km
Coeficiente de emissividade	0,5
Coeficiente de absorção solar	0,5
Capacidade de calor dos filamentos externos	1.064 Watt-s/m-°C
Capacidade de calor do núcleo	244,0 Watt-s/m-°C

5 A tabela 7 apresenta condições ambientes típicas para se calcular a ampacidade do condutor. Usando-se os parâmetros descritos nas tabelas de 4 a 7, o programa obtido junto à Powerline Systems, Inc. sob a designação comercial “PLS CADD” versão 8.0 foi usado para avaliar as temperaturas de operação do condutor, usando-se as características “dia do ano que produz máximo aquecimento solar” e o IEEE 738-1993 do programa.

10 Tabela 7

Latitude	30
Atmosfera	Límpido
Tempo exposto ao sol	11 da manhã
Azimute da linha	90°
Temperatura do ar	25°C
Velocidade do vento	0,6096 m/s
Direção do vento em relação ao condutor	90°
Elevação do condutor	Nenhum
Corrente de regime permanente	1.044 Ampéres

O resultado desta avaliação indica que o condutor Drake operaria a uma temperatura máxima de 90°C, e que o condutor Chukar teria uma temperatura máxima de 54,6°C

Usando-se as temperaturas de operação calculadas e os dados das tabelas de 4 a 6, a equação 1 foi usada para resolver a tensão e as oscilações do isolante das configurações das três extensões mostradas na FIGURA 4. Presumindo-se que ambos os

15

condutores são instalados a uma tensão igual de 25.000 N, a uma temperatura do ar de 15°C, e que os isolantes se encontram inicialmente na vertical, quando os condutores alcançam suas temperaturas de operação máximas de 90°C e 54,6°C, a equação 1 resulta nos isolantes oscilando aproximadamente 0,9° para longe da extensão central, e em um condutor com um componente horizontal de tensão de cerca de 24.100 N. De modo oposto, se for usado o condutor ACSR do tipo Drake de menor peso para todo o cruzamento representado na FIGURA 4 e a característica do método de tensão do arqueamento baseado no vão de regulação do programa PLS CADD, o componente horizontal de tensão cairia para cerca de 23.300 N, quando estivesse operando a 90°C.

A equação 1 foi usada para resolver o T_h . Este valor de T_h foi então usado na equação 2 para resolver o arqueamento. Para a configuração de três extensões que tem tanto condutores ACSR do tipo Drake como ACSR do tipo Chuker, a extensão central (49) tinha um arqueamento calculado de cerca de 83 metros. Quando os mesmos cálculos são feitos usando-se um único tipo de condutor para todo o cruzamento, como com o uso apenas do condutor ACSR do tipo Drake, o arqueamento calculado para a extensão central foi de 86 metros.

Surpreendentemente, o cruzamento com condutores misturados tinha um arqueamento com cerca de 3 metros a menos na extensão central, o que pode ser desejável, por exemplo, para permitir que navios maiores passem sob o cruzamento.

Diversas modificações e alterações da presente invenção se tornarão evidentes para os versados na técnica sem se desviar do escopo e espírito desta invenção e deve ser entendido que a presente invenção não deve ser indevidamente limitada às modalidades ilustrativas aqui apresentadas.

REIVINDICAÇÕES

1. Método para fornecer uma linha aérea de transmissão de energia elétrica instalada de terminal-a-terminal, a linha aérea de transmissão de energia elétrica instalada de terminal-a-terminal compreende:

5 primeira e segunda torres terminais,
 pelo menos uma torre de suspensão entre a primeira e a segunda torres terminais, e
 uma seção de tensão de condutor suspenso de transmissão de energia elétrica,
que tem um comprimento de pelo menos 100 metros, e que tem uma primeira extremidade
fixa à primeira torre terminal e uma segunda extremidade fixa à segunda torre terminal,

10 o método sendo **CARACTERIZADO** por compreender:

 fornecer primeira e segunda torres terminais,
 fornecer pelo menos uma torre de suspensão entre a primeira e a segunda -torres
terminais, e

 selecionar uma seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia
15 elétrica que tem primeira e segunda extremidades, e um comprimento de pelo menos
100 metros, a seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica
compreendendo pelo menos uma primeira e uma segunda subseções de tensão
sequenciais do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica, sendo que a
primeira subseção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica
20 tem um primeiro coeficiente de expansão térmica, uma primeira densidade, um primeiro
comportamento de tensão/alongamento, e uma primeira área em seção transversal, sendo
que a segunda subseção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia
elétrica tem um segundo coeficiente de expansão térmica, uma segunda densidade, um
segundo comportamento de tensão/alongamento, e uma segunda área em seção
25 transversal, sendo que, intencionalmente, pelo menos um dentre (a) os primeiro e segundo
coeficientes de expansão térmica, (b) as primeira e a segunda densidades, (c) os primeiro
e o segundo comportamentos de tensão/alongamento, ou (d) as áreas em seção
transversal, a temperaturas na faixa de 20°C a 75°C, são diferentes de tal modo que, em
uma faixa de temperatura de pelo menos 20°C a 75°C, conforme o fluxo de corrente
30 aumenta através da seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia
elétrica, sendo que a tensão da segunda subseção de condutor suspenso de transmissão
de energia elétrica é mais alta, em comparação à tensão da segunda subseção de tensão
suspensa de transmissão de energia elétrica sob as mesmas condições quando toda a
seção de tensão do condutor consiste apenas no condutor da segunda subseção de
35 tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica, e

 instalar uma seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia
elétrica selecionada, sendo que a primeira e a segunda extremidades da seção de tensão

do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica são fixas a primeira e a segunda torres terminais, respectivamente, e ao menos uma porção da subseção de tensão sequencial do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica sendo suportada pela torre de suspensão.

5 2. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica tem primeira e segunda extremidades, e um comprimento de pelo menos 800 metros.

10 3. Método, de acordo com a reivindicação 2, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a primeira subseção de tensão sequencial do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica compreende um núcleo compósito.

4. Método, de acordo com a reivindicação 2, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o núcleo compósito compreende pelo menos um dentre compósito de alumínio ou compósito de matriz de liga de alumínio.

15 5. Método, de acordo com a reivindicação 3, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o núcleo compósito compreende compósito de matriz polimérica.

6. Método, de acordo com a reivindicação 3, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro e o segundo coeficientes de expansão térmica situam-se na faixa de zero a $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$.

7. Método, de acordo com a reivindicação 3, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a primeira e a segunda densidades situam-se na faixa de $1,4 \text{ g/cm}^3$ a 20 g/cm^3 .

20 8. Método, de acordo com a reivindicação 3, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que o primeiro e o segundo coeficientes de expansão térmica situam-se na faixa de zero a $25 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$, e sendo que a primeira e a segunda densidades situam-se na faixa de $1,4 \text{ g/cm}^3$ a 20 g/cm^3 .

9. Método, de acordo com a reivindicação 3, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a primeira e a segunda densidades situam-se na faixa de $2,7 \text{ g/cm}^3$ a $3,6 \text{ g/cm}^3$.

25 10. Método, de acordo com a reivindicação 3, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a primeira e a segunda densidades situam-se na faixa de $2,2 \text{ g/cm}^3$ a $4,5 \text{ g/cm}^3$.

11. Método, de acordo com a reivindicação 3, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a segunda seção sequencial do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica tem um núcleo de aço.

30 12. Método, de acordo com a reivindicação 3, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a segunda subseção de tensão sequencial do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica tem um núcleo que tem uma área em seção transversal, sendo que pelo menos 50 por cento da área em seção transversal do núcleo é um fio compósito de matriz de alumínio.

35 13. Método, de acordo com a reivindicação 3, **CHARACTERIZADO** pelo fato de que a segunda subseção de tensão sequencial do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica tem um núcleo compósito de matriz de alumínio.

14. Método, de acordo com a reivindicação 1, **CARACTERIZADO** pelo fato de que a seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica tem primeira e segunda extremidades e um comprimento de pelo menos 1.000 metros.

5 15. Linha aérea de transmissão de energia elétrica terminal-a-terminal, **CARACTERIZADA** por compreender:
 primeira e segunda torres terminais;
 pelo menos uma torre de suspensão entre a primeira e a segunda torres terminais, e
 uma seção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica, e
 10 que tem uma primeira extremidade fixa à primeira torre terminal e uma segunda
 extremidade fixa à segunda torre terminal, a seção de tensão do condutor suspenso de
 transmissão de energia elétrica compreendendo pelo menos uma primeira e uma segunda
 subseções de tensão sequenciais do condutor suspenso de transmissão de energia
 elétrica, sendo que a primeira subseção de tensão do condutor suspenso de transmissão
 15 de energia elétrica tem pelo menos um núcleo compósito ou núcleo Invar, um primeiro
 coeficiente de expansão térmica, uma primeira densidade, um primeiro comportamento de
 tensão/alongamento, e uma primeira área em seção transversal, sendo que a segunda
 subseção de tensão do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica tem um
 segundo coeficiente de expansão térmica, uma segunda densidade, um segundo
 comportamento de tensão/alongamento, e uma segunda área em seção transversal, sendo
 20 que pelo menos um dentre (a) os primeiro e segundo coeficientes de expansão térmica,
 (b) a primeira e a segunda densidades, (c) o primeiro e o segundo comportamentos de
 tensão/alongamento, ou (d) as áreas em seção transversal, a temperaturas na faixa de
 20°C a 75°C, são diferentes de tal modo que, em uma faixa de temperatura de pelo menos
 20°C a 75°C, conforme o fluxo de corrente aumenta através da seção de tensão do
 25 condutor suspenso de transmissão de energia elétrica, sendo que a tensão da segunda
 subseção condutor suspenso de transmissão de energia elétrica é mais alta, em
 comparação à tensão da segunda subseção de tensão suspensa de transmissão de
 energia elétrica sob as mesmas condições quando toda a seção de tensão do condutor
 consiste apenas no condutor da segunda subseção de tensão do condutor suspenso de
 30 transmissão de energia elétrica.

16. Linha aérea de transmissão de energia elétrica terminal-a-terminal, de acordo com a reivindicação 15, **CARACTERIZADA** pelo fato de que a primeira subseção de tensão sequencial do condutor suspenso de transmissão de energia elétrica compreende o núcleo compósito.

35 17. Linha aérea de transmissão de energia elétrica terminal-a-terminal, de acordo com a reivindicação 15, **CARACTERIZADA** pelo fato de que o núcleo compósito compreende pelo menos um dentre compósito de alumínio ou compósito de matriz de liga de alumínio.

18. Linha aérea de transmissão de energia elétrica terminal-a-terminal, de acordo com a reivindicação 15, **CARACTERIZADA** pelo fato de que o núcleo compósito compreende um compósito de matriz polimérica.

5 19. Linha aérea de transmissão de energia elétrica terminal-a-terminal, de acordo com a reivindicação 15, **CARACTERIZADA** por compreender pelo menos três torres de suspensão posicionadas entre a primeira e a segunda torres terminais.

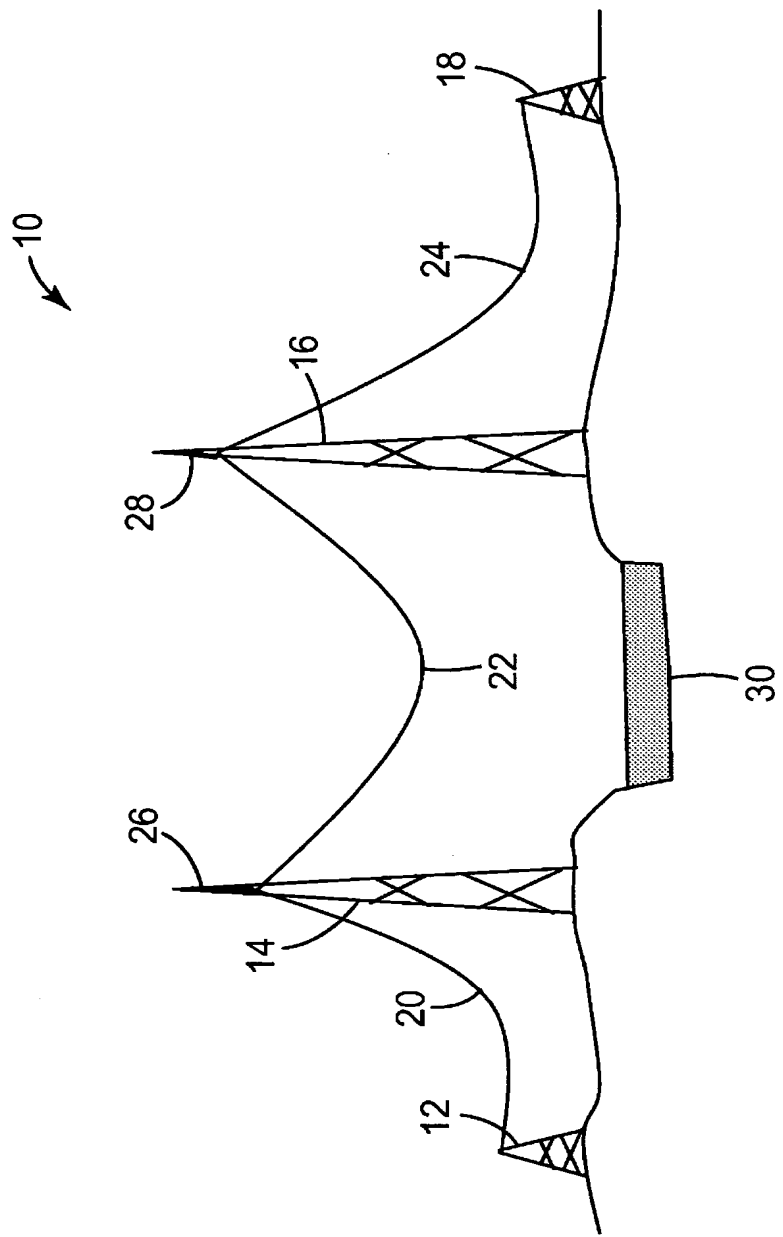
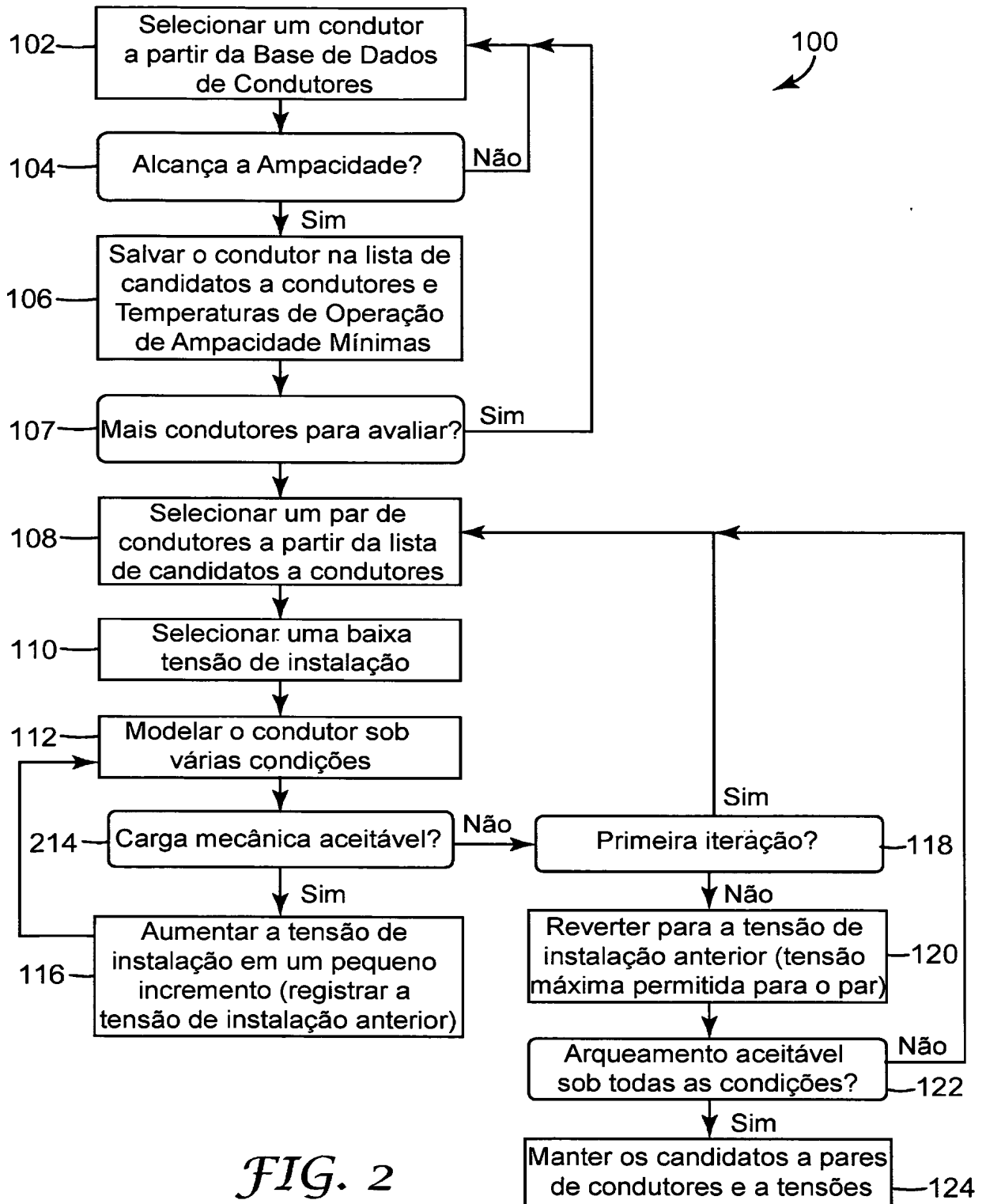


FIG. 1



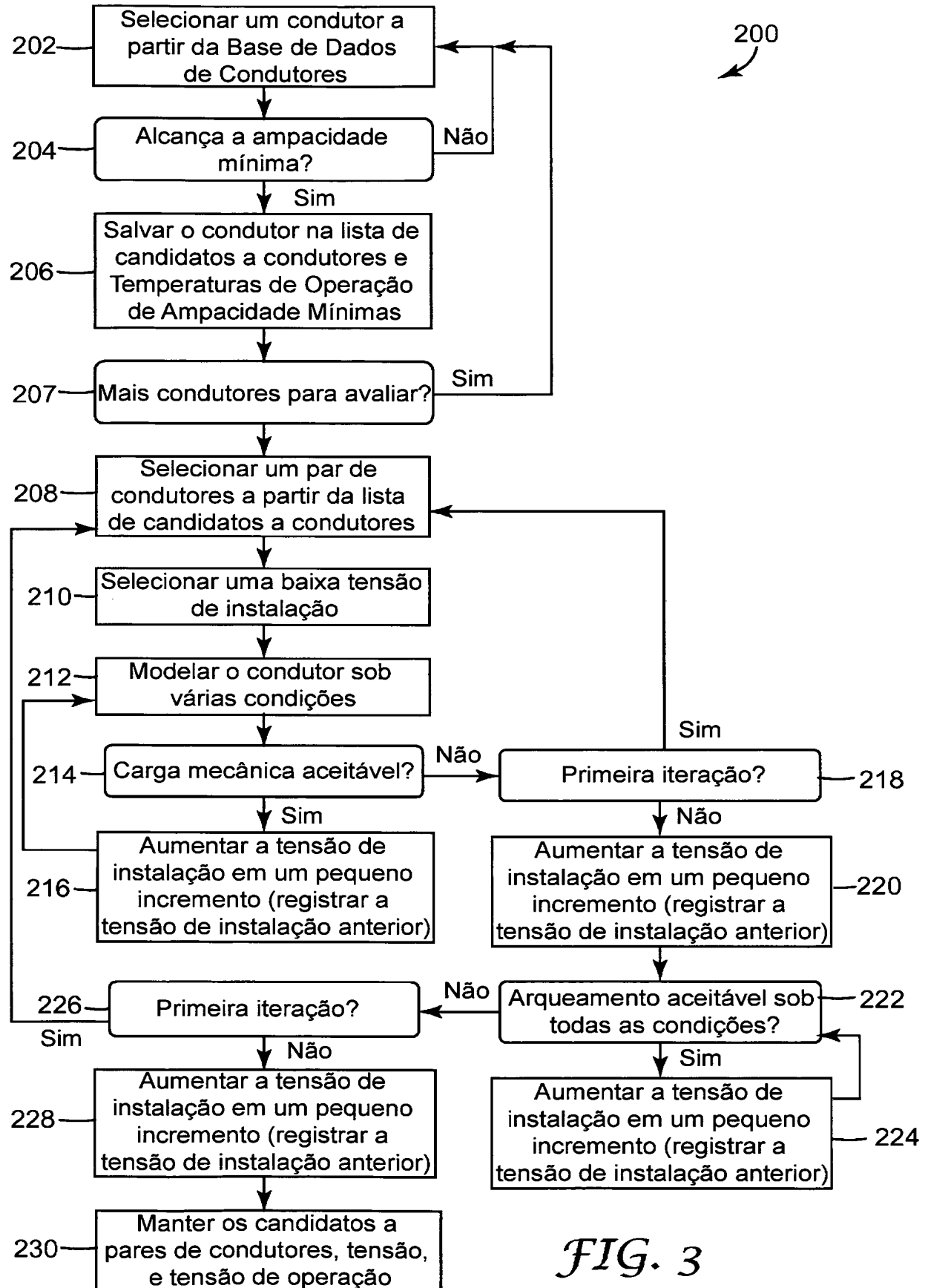


FIG. 3

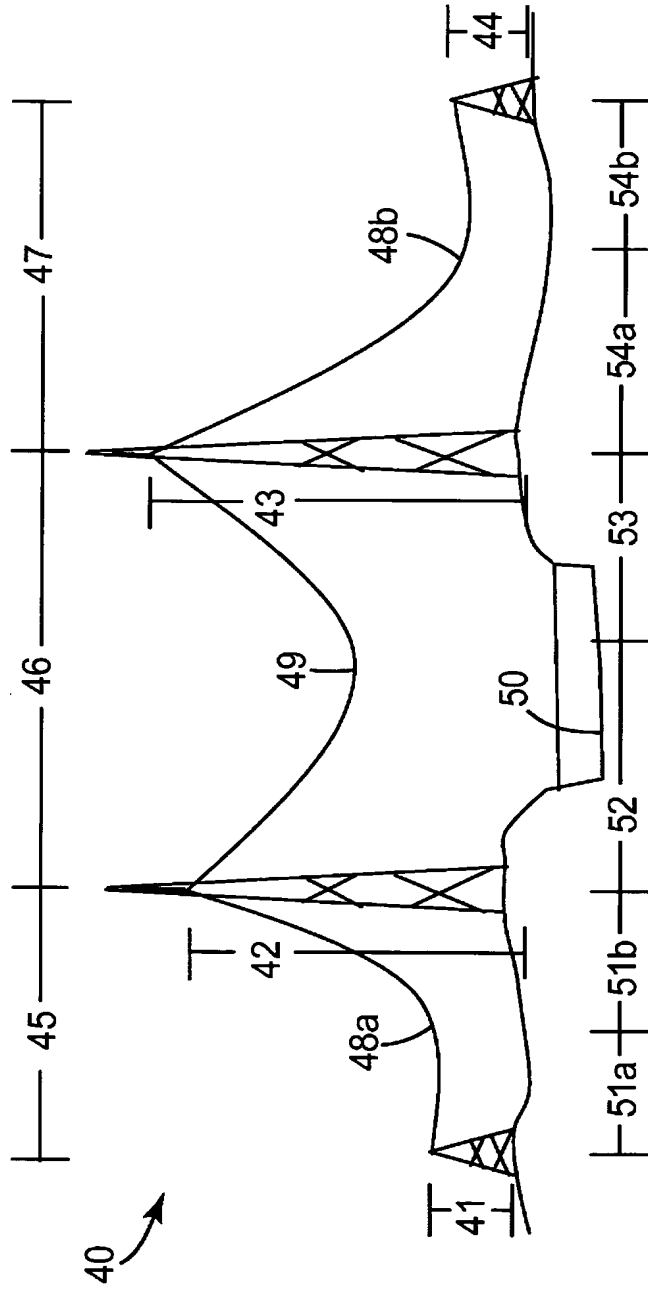


FIG. 4

RESUMO

“LINHA AÉREA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA”

A presente invenção refere-se a uma linha aérea de transmissão de energia elétrica de terminal-a-terminal com ao menos dois condutores diferentes, e um método de seleção e
5 instalação dos condutores.