

REIVINDICACIONES

1. Un método para operar una línea eléctrica aérea, que comprende los pasos de:

recopilar datos de condición distribuidos en un primer momento desde un sensor de fibra óptica que se extiende a lo largo de una longitud de un cable eléctrico aéreo mientras la línea eléctrica aérea se energiza a una primera corriente, comprendiendo el cable eléctrico aéreo un elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra y un conductor eléctrico que rodea el elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra, en donde los datos de condición distribuidos comprenden al menos uno de datos de temperatura del cable distribuido y datos de deformación del cable distribuido; y

ajustar la primera corriente en el cable eléctrico aéreo desde la primera corriente a una segunda corriente, en donde el ajuste reduce la diferencia absoluta entre la primera corriente y una corriente admisible.

2. El método recitado en la reivindicación 1, que comprende además el paso de determinar la corriente admisible para el cable eléctrico aéreo a partir de los datos de condición distribuidos.

3. El método descrito en cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, en el que:

la corriente admisible es mayor que la primera corriente; y

El paso de ajustar la corriente en el cable eléctrico aéreo comprende aumentar la corriente en el cable eléctrico aéreo.

4. El método recitado en cualquiera de las reivindicaciones 2, en donde:

la corriente admisible es menor que la primera corriente; y

El paso de ajustar la corriente en el cable eléctrico aéreo comprende disminuir la corriente en el cable eléctrico aéreo.

5. El método recitado en la reivindicación 4, en el que el paso de ajustar la corriente en el cable eléctrico aéreo comprende derivar energía eléctrica desde la línea eléctrica aérea a una segunda línea eléctrica aérea o a tierra.

6. El método descrito en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además:

recopilar datos de condición no distribuida asociados con el cable eléctrico aéreo, en donde el paso de determinar la corriente permitida para el cable eléctrico aéreo comprende complementar los datos de condición distribuida con los datos de condición no distribuida.

7. El método recitado en la reivindicación 6, en donde los datos de condición no distribuidos comprenden al menos uno de una temperatura ambiente, una velocidad del viento, un valor de radiación solar y un valor de precipitación.

8. El método recitado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en donde los datos de condición distribuidos comprenden al menos datos de temperatura del cable distribuidos.

9. El método recitado en la reivindicación 8, en el que los datos de temperatura del cable comprenden un valor de temperatura localizado en el cable eléctrico aéreo.

10. El método recitado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, en donde los datos de condición distribuidos comprenden al menos datos de deformación de cable distribuidos.

11. El método recitado en la reivindicación 10, en el que los datos de deformación del cable distribuido comprenden un valor de deformación localizado en el cable eléctrico aéreo.

12. El método recitado en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el sensor de fibra óptica está incrustado dentro del elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra.

13. El método descrito en cualquiera de las reivindicaciones 1 a 12, en el que el paso de recopilar datos de condición distribuidos comprende recibir datos de

condición distribuidos desde un OTDR (reflectómetro óptico de dominio de tiempo) que está conectado operativamente al sensor de fibra óptica.

14. El método recitado en la reivindicación 13, en el que el OTDR es un BOTDR (reflectómetro de dominio de tiempo óptico Brillouin).

15. El método descrito en cualquiera de las reivindicaciones 13 ó 14, en el que el OTDR está conectado operativamente a una unidad terminal remota (RTU), y en el que la RTU transmite los datos de condición distribuidos a un servidor de adquisición de datos (DAS).

16. El método recitado en la reivindicación 15, en el que el DAS transmite datos a un sistema de control de supervisión y adquisición de datos (SCADA).

17. Un sistema para determinar la potencia nominal de una línea eléctrica, comprendiendo el sistema:

un sensor de fibra óptica que se extiende a lo largo de un cable eléctrico aéreo en una línea eléctrica, comprendiendo el cable eléctrico aéreo un elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra y un conductor eléctrico que rodea el elemento de resistencia, estando configurado el sensor de fibra óptica para proporcionar datos de condición distribuidos a lo largo de la longitud del cable eléctrico aéreo; y

un dispositivo de interrogación conectado operativamente al sensor de fibra óptica y configurado para interrogar al sensor de fibra óptica y recopilar los datos de condición distribuida del sensor de fibra óptica, en donde los datos de condición distribuida incluyen al menos datos de temperatura distribuidos;

un servidor de adquisición de datos (DAS) configurado para recibir y analizar los datos de condición distribuidos desde el dispositivo de interrogación.

18. El sistema según la reivindicación 17, en el que el DAS está configurado para recibir y analizar los datos de condición distribuidos calculando una corriente admisible para el cable eléctrico aéreo basándose en los datos de condición distribuidos y enviando la corriente admisible a un dispositivo de control.

19. El sistema descrito en la reivindicación 18, en el que el DAS está configurado para recibir y analizar los datos de condición distribuidos calculando la capacidad de transporte de corriente en tiempo real del cable eléctrico aéreo y calculando la tasa de cambio de temperatura del cable eléctrico aéreo en función del cambio en la corriente que fluye a través del cable eléctrico aéreo.

20. El sistema descrito en cualquiera de las reivindicaciones 17 a 19, en el que el DAS está configurado para recibir y analizar segundos datos de condición distribuidos del dispositivo de interrogación, donde dichos segundos datos de condición distribuidos son recopilados por el dispositivo de interrogación en un momento posterior a la recopilación de los primeros datos de condición distribuidos.

21. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 17 a 20, en donde el dispositivo de control es un dispositivo de interfaz hombre-máquina (HMI).

22. El sistema según cualquiera de las reivindicaciones 18 a 21, en el que el dispositivo de control es un controlador automatizado programado para ajustar la corriente en el cable eléctrico aéreo en función de la corriente admisible calculada.

23. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 17 a 22, en donde el DAS está integrado operativamente con un sistema de control de supervisión y análisis de datos (SCADA).

24. El sistema según cualquiera de las reivindicaciones 17 a 23, en el que el dispositivo de interrogación está configurado además para recopilar datos de condición distribuida, en el que los datos de condición distribuida incluyen además datos de deformación distribuida.

25. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 17 a 24, en el que el sensor de fibra óptica está incrustado dentro del elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra.

26. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 17 a 25, en donde el dispositivo de interrogación es un reflectómetro óptico de dominio de tiempo (OTDR).

27. El sistema recitado en la reivindicación 26, en el que el dispositivo de interrogación es un reflectómetro de dominio de tiempo óptico Brillouin (BOTDR).

28. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 17 a 27, en donde el DAS recibe los datos de condición distribuidos desde el dispositivo de interrogación a través de una unidad terminal remota (RTU).

29. Un método para operar una red eléctrica que comprende una línea eléctrica aérea, la cual comprende un cable eléctrico aéreo con un elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra y un conductor eléctrico que rodea dicho elemento. El método comprende los siguientes pasos:

determinar al menos un primer estado de condición ambiental de una región geográfica, en donde al menos una porción de la línea eléctrica aérea está dispuesta dentro de la región geográfica;

recopilar datos de condición distribuidos de un sensor distribuido asociado con el cable eléctrico aéreo mientras la línea eléctrica aérea está energizada, donde los datos de condición distribuidos comprenden al menos uno de datos de temperatura del cable, datos de tensión del cable y datos de vibración del cable de al menos la parte de la línea eléctrica aérea que está dispuesta dentro de la región geográfica; y

Proporcionar el estado de las condiciones ambientales y los datos de las condiciones distribuidas a un modelo virtual de la red eléctrica.

30. El método recitado en la reivindicación 29, en donde el estado de condición ambiental comprende al menos uno de un valor de temperatura ambiente, un valor de velocidad del viento, un valor de radiación solar y un valor de precipitación.

31. El método recitado en cualquiera de las reivindicaciones 29 ó 30, en donde el estado de la condición ambiental se determina a partir de un sensor no distribuido.

32. El método recitado en la reivindicación 31, en el que el sensor no distribuido se selecciona entre un sensor de temperatura, un sensor de viento, un sensor de radiación solar y un sensor de precipitación.

33. El método recitado en cualquiera de las reivindicaciones 29 ó 30, en el que el estado de las condiciones ambientales se determina a partir de un informe meteorológico.

34. El método recitado en cualquiera de las reivindicaciones 29 a 33, en donde el paso de recopilar datos de condición distribuidos comprende recopilar datos de temperatura de cable distribuidos.

35. El método recitado en cualquiera de las reivindicaciones 29 a 34, en donde el paso de recopilar datos de condición distribuida comprende recopilar datos de tensión de cable distribuidos.

36. El método recitado en cualquiera de las reivindicaciones 29 a 35, en donde el paso de recopilar datos de condición distribuidos comprende recopilar datos de vibración de cable distribuidos.

37. El método descrito en cualquiera de las reivindicaciones 29 a 36, en el que el modelo virtual actualiza los datos históricos del modelo dentro del modelo virtual en función del estado de la condición ambiental y de los datos de condición distribuidos ingresados al modelo virtual.

38. El método recitado en la reivindicación 37, en donde la actualización de los datos del modelo histórico incluye el paso de correlacionar el estado de la condición ambiental con los datos de condición distribuidos.

39. El método descrito en la reivindicación 38, que comprende además el paso de:

determinar un voltaje o corriente en al menos la porción de la línea eléctrica aérea que está dentro de la región geográfica; y

correlacionar el voltaje o corriente determinado en la porción de la línea eléctrica aérea con los datos de condición distribuidos.

40. El método descrito en cualquiera de las reivindicaciones 38 o 39, que comprende además los pasos de:

recibir un pronóstico meteorológico futuro para la región geográfica;

modelado, en el modelo virtual de la red eléctrica, de una condición futura de la línea eléctrica basándose en el pronóstico meteorológico futuro, comprendiendo el modelado la aplicación del estado de la condición ambiental correlacionado a los datos de condición distribuidos.

41. El método descrito en la reivindicación 40, en el que el modelado determina un valor de voltaje o corriente proyectado para la porción de la línea eléctrica aérea en la región geográfica, donde el valor de voltaje o corriente proyectado se determina de tal manera que no se exceda una temperatura preseleccionada de la línea eléctrica aérea.

42. Un sistema para la medición de temperatura en tiempo real en una línea eléctrica aérea, que comprende:

un cable eléctrico aéreo que comprende un elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra y un conductor eléctrico que rodea el elemento de resistencia compuesto, en donde el cable eléctrico aéreo está tendido sobre una pluralidad de torres de soporte;

un sensor de fibra óptica incrustado dentro y que se extiende a lo largo de una longitud del elemento de resistencia compuesto, comprendiendo el sensor de fibra óptica un núcleo de fibra de vidrio y un revestimiento polimérico que tiene un espesor de al menos aproximadamente 250 μm que rodea el núcleo de fibra de vidrio, teniendo el sensor de fibra óptica un diámetro exterior de al menos aproximadamente 600 μm ; y

un reflectómetro óptico de dominio de tiempo (OTDR) conectado operativamente a un primer extremo del sensor de fibra óptica, en donde el OTDR está configurado para medir al menos datos de perfil de temperatura a lo largo de la longitud del sensor de fibra óptica.

43. El sistema recitado en la reivindicación 42, en el que el revestimiento polimérico que rodea el núcleo de fibra de vidrio tiene un espesor de al menos aproximadamente 300 μm .

44. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 42 ó 43, en donde el sensor de fibra óptica tiene un diámetro exterior de al menos aproximadamente 700 μm .

45. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 42 a 44, en el que el revestimiento polimérico que rodea la fibra de vidrio está fabricado a partir de un polímero termoplástico.

46. El sistema según la reivindicación 45, en el que el polímero termoplástico se selecciona del grupo que consiste en poliariletercetona (PAEK), un polímero de cristal líquido, una poliamida-imida y polibenzimidazol.

47. El sistema recitado en la reivindicación 46, en el que el polímero termoplástico es un polímero PAEK.

48. El sistema según la reivindicación 47, en el que el polímero PAEK se selecciona del grupo que consiste en polietercetona (PEK), polieteretercetona (PEEK), polietercetonaacetona (PEKK), polieteretercetonaacetona (PEEKK) y polietercetonaetercetonaacetona (PEKEKK).

49. El sistema recitado en la reivindicación 48, en el que el polímero PAEK comprende PEEK.

50. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 42 a 49, en donde una porción final del sensor de fibra óptica se extiende más allá de un primer extremo del elemento de resistencia compuesto.

51. El sistema recitado en la reivindicación 50, en el que el OTDR está conectado operativamente a la porción final del sensor de fibra óptica.

52. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 42 a 51, en el que el OTDR es un reflectómetro de dominio de tiempo óptico Brillouin (BOTDR).

53. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 42 a 52, que comprende una unidad terminal remota (RTU) en comunicación operativa con el OTDR.

54. El sistema según la reivindicación 53, en el que la RTU está en comunicación operativa con un servidor de adquisición de datos (DAS) para permitir que la RTU transmita los datos del perfil de temperatura a lo largo de la longitud del sensor de fibra óptica al DAS.

55. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 42 a 52, en el que el OTDR está en comunicación inalámbrica con un DAS.

56. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 42 a 52, en el que el OTDR está en comunicación con el DAS a través de un cable de tierra óptico (OPGW).

57. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 54 a 56, en donde el DAS está configurado para convertir los datos del perfil de temperatura en mediciones de temperatura legibles y para transmitir las mediciones de temperatura legibles a una interfaz hombre-máquina (HMI).

58. El sistema recitado en la reivindicación 57, en el que la HMI incluye un procesador que está programado para superponer las mediciones de temperatura legibles sobre un mapa geográfico.

59. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 42 a 58, en donde el sensor de fibra óptica es un único sensor de fibra óptica incrustado dentro del elemento de resistencia compuesto.

60. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 42 a 59, en donde el OTDR está configurado para medir datos del perfil de deformación a lo largo de la longitud del sensor de fibra óptica.

61. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 42 a 60, en donde el elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra comprende fibras de refuerzo de carbono en una matriz de polímero.

62. El sistema recitado en la reivindicación 61, en el que el elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra comprende una capa aislante que rodea las fibras de refuerzo de carbono.

63. El sistema recitado en cualquiera de las reivindicaciones 42 a 62, en donde el conductor eléctrico comprende una pluralidad de hebras de aluminio enrolladas alrededor del elemento de resistencia compuesto.

64. Un método para aumentar la corriente en una línea eléctrica, que comprende los pasos de:

determinar una constante de tiempo térmica en estado estacionario (τ) para la línea eléctrica aérea para al menos una primera temperatura (T_1) y una segunda temperatura (T_2);

medir una temperatura inicial (T_i) de la línea eléctrica aérea utilizando un sensor distribuido asociado con el cable eléctrico aéreo;

midiendo una corriente inicial (I_i) de la línea eléctrica aérea asociada con la temperatura inicial (T_i);

determinar una temperatura de cable en estado estacionario (T_f) a partir de la constante de tiempo térmica (τ), el tiempo de aplicación deseado (t), la temperatura inicial de la línea (T_i) y una temperatura máxima deseada (T_c);

determinar una corriente final (I_f) que se puede aplicar a la línea eléctrica aérea antes de superar la temperatura máxima deseada (T_c) de la línea eléctrica aérea dentro de un tiempo de aplicación deseado (t);

aumentando la corriente en la línea eléctrica a un amperaje de I_f durante un período de tiempo que no exceda el tiempo de aplicación deseado (t).

65. El método recitado en la reivindicación 64, en el que el paso de medir una corriente inicial (I_i) de la línea eléctrica aérea asociada con la temperatura inicial (T_i) comprende medir la corriente inicial utilizando un BOTDR.

66. El método recitado en cualquiera de las reivindicaciones 64 o 65, en el que la temperatura del cable en estado estacionario (T_f) se determina a partir de la ecuación:

$$T_f = \left(\frac{(T_c - T_i)}{1 - e^{-t/\tau}} \right) - T_i$$

donde:

τ = constante de tiempo térmica del cable eléctrico;

t = tiempo de aplicación deseado;

T_i = temperatura inicial del cable;

T_c = temperatura máxima deseada;

T_f = temperatura del cable en estado estable.

67. El método descrito en cualquiera de las reivindicaciones 64 a 66, en el que la corriente aplicada I_f se determina utilizando la ecuación:

$$I_f = \sqrt{\left(\frac{(T_f - T_i) \cdot MC_p}{R(T_c)} \right)^2 + I_i^2}$$

donde:

I_f = corriente final aplicada en el cable eléctrico aéreo;

I_i = corriente inicial en el cable eléctrico aéreo;

T_f = temperatura final del cable eléctrico;

T_i = temperatura inicial del cable eléctrico;

m = masa del cable eléctrico;

C_p = capacidad calorífica del cable eléctrico; y

$R(T_c)$ = Resistencia AC del cable eléctrico a la temperatura T_c .

68. El método recitado en cualquiera de las reivindicaciones 64 a 67, en el que la constante de tiempo térmica τ se determina a partir de datos existentes que correlacionan valores de temperatura conocidos con valores de corriente conocidos.

69. El método recitado en cualquiera de las reivindicaciones 64 a 68, en donde el sensor distribuido comprende al menos una primera fibra óptica.

70. El método recitado en la reivindicación 69, en donde un reflectómetro de dominio de tiempo óptico Brillouin (BOTDR) está conectado operativamente a al menos una primera fibra óptica.

71. El método recitado en cualquiera de las reivindicaciones 64 a 70, en donde el cable eléctrico comprende un elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra.

72. El método recitado en la reivindicación 71, en el que el sensor distribuido está incrustado dentro del elemento de resistencia compuesto reforzado con fibra.