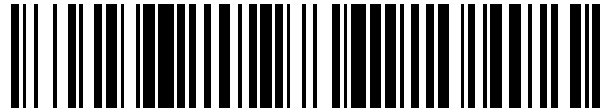


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 657 668**

51 Int. Cl.:

H02G 7/20

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.05.2013 PCT/US2013/040965**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.10.2013 WO13163660**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.05.2013 E 13781498 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.12.2017 EP 2845279**

54 Título: **Diseño de una línea de transmisión de alta capacidad y alta eficiencia**

30 Prioridad:

27.04.2012 US 201261639126 P

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

06.03.2018

73 Titular/es:

**BOLD TRANSMISSION, LLC (100.0%)
1 Riverside Plaza
Columbus OH 43215, US**

72 Inventor/es:

**FULK, MEIHUAN, ZHU y
GUTMAN, RICHARD**

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 657 668 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

Diseño de una línea de transmisión de alta capacidad y alta eficiencia**Descripción**5 REFERENCIAS CRUZADAS CON OTRAS SOLICITUDES RELACIONADAS

La presente solicitud reivindica la prioridad o beneficio sobre la solicitud provisional de patente de EE. UU. n° de serie 61/639,126, presentada el 27 de abril de 2012, en relación con el diseño de una línea de transmisión de alta capacidad y eficiencia, la cual se incorpora en el presente documento como referencia.

10

ANTECEDENTES EN EL CAMPO DE LA PRESENTE INVENCION

La presente invención está relacionada con las líneas de transmisión aéreas de corriente alterna (CA) con una alta capacidad y eficiencia. En una realización, una línea de transmisión de energía con una configuración delta compacta y trifásica (o de tres fases) está colgada o suspendida mediante una sola cruceta. La presente invención está relacionada con una nueva e innovadora línea de transmisión que maximiza la capacidad de transportar la carga, la compatibilidad con el medioambiente, la eficacia en los costes y la aceptación pública.

15

El interés público en los suministros o fuentes de energía limpios y fiables, junto con los proyectos de generación renovable que se están desarrollando en zonas muy alejadas de los centros de carga o distribución, requieren de infraestructuras de transmisión que puedan transportar de forma eficiente grandes bloques o volúmenes de energía a largas distancias. Debido al rechazo de la ciudadanía a las líneas de transmisión aérea, en general, y a las de 765 kilovoltios (kV) (es decir, el voltaje de transmisión más alto en Estados Unidos), en particular, las compañías eléctricas recurren a la construcción de líneas convencionales de 345 kV y aumentan estas líneas con compensaciones en serie para obtener las características de rendimiento de las transmisiones con un voltaje superior.

20

25

El diseño de la línea de transmisión de la realización preferida eleva el rendimiento de las líneas de 345 kV más allá de su capacidad habitual sin tener que depender de costosos dispositivos externos, como los condensadores o capacitores en serie. En la realización preferida, las características estéticas, discretas y de perfil bajo, minimizan el impacto medioambiental y los costes de las estructuras, pues se pretende mejorar la aceptación de los ciudadanos en lo referente a los nuevos proyectos de transmisión.

30

Mediante la práctica y los análisis de ingeniería, se ha determinado que la capacidad para transportar una carga o, simplemente, capacidad de carga o 'cargabilidad' ('loadability', en inglés) de una línea de transmisión está limitada por uno o más de los siguientes factores: (i) la capacidad o clasificación térmica ('thermal rating', en inglés), (ii) las limitaciones relacionadas con las caídas de tensión y (iii) los límites o limitaciones de la estabilidad estacionaria ('steady-state stability', en inglés). La capacidad o clasificación térmica es el resultado del proceso de selección del equipo conductor y/o terminal, y es más restrictiva en las líneas de menos de 50 millas (unos 80 kilómetros; 1 milla = 1,60934 kilómetros). Las líneas más largas están limitadas principalmente por las caídas de tensión y/o las cuestiones relacionadas con la estabilidad, de manera que ambas se ven afectadas directamente por la impedancia de la línea, que depende de la longitud.

35

40

Para una longitud de línea determinada, el método más eficaz para reducir la impedancia y, por lo tanto, mejorar la capacidad de carga, es aumentar el voltaje o tensión de transmisión. Sin embargo, debido al rechazo de la opinión pública, se construyen múltiples líneas con un voltaje o tensión menor, y con compensaciones en serie, para reducir la impedancia y alcanzar los objetivos necesarios de capacidad de carga.

45

Las compensaciones en serie se han utilizado tradicionalmente como una solución a corto plazo para aumentar la capacidad del sistema de CA. Además, en algunas zonas, las líneas con compensaciones en serie sirven como un sustituto de las transmisiones de mayor voltaje para transportar grandes bloques de energía de un punto a otro recorriendo largas distancias. Estas aplicaciones siempre van acompañadas de cuestiones o problemas tales como la resonancia subsincrónica (SSR, por sus siglas en inglés) y las interacciones de control subsincrónicas (SSCI, por sus siglas en inglés), las cuales conllevan ciertos riesgos para el equipo eléctrico y la estabilidad de la red eléctrica.

50

55

Otras cuestiones incluyen la complejidad del sistema de protección, el mantenimiento y las necesidades de los repuestos del equipo eléctrico, las pérdidas eléctricas, la esperanza de vida limitada de la propia línea y los futuros desafíos relacionados con la capacidad de expansión de la red eléctrica. La capacidad de expansión de la red eléctrica es especialmente importante cuando se aprovecha una línea con compensaciones en serie para prestar servicio a un nuevo centro de distribución o integrar una nueva fuente generadora, ya que este desarrollo: (i) puede hacer que haya tramos o segmentos de la línea que estén sobrecompensados y (ii) puede escapar al control de la compañía.

60

El diseño de la nueva línea de transmisión, una línea de 345 kV en la realización preferida, minimiza estos problemas y, al mismo tiempo, proporciona la capacidad y la eficiencia requeridas para grandes suministros de

65

energía en distancias cortas y largas dentro de la red eléctrica.

US2010/364598 desvela una torre de transmisión de energía, que incluye un cuerpo; seis brazos de aislamiento conectados mediante uno de sus extremos al cuerpo de la torre de manera que forman un ángulo con el mismo, y colocados de forma radial y simétrica alrededor del cuerpo de la torre en una dirección longitudinal; y ocho brazos auxiliares de aislamiento que conectan de forma selectiva el otro extremo de los seis brazos principales de aislamiento y el cuerpo de torre, de manera que cada brazo de aislamiento auxiliar forma un lado de un octógono. Puesto que los brazos de aislamiento están dispuestos octogonalmente, se puede reforzar la fuerza mecánica y mejorar las propiedades eléctricas de la torre.

RESUMEN DEL CONCEPTO GENERAL DE LA INVENCION

Los problemas de las invenciones y equipos previos presentes en este campo se resuelven gracias a la estructura de la torre de transmisión que se define en la reivindicación 1. En todas las realizaciones de la invención, el diseño de la línea aérea de transmisión de 345 kV con una alta capacidad y una alta eficiencia ofrece ventajas de rendimiento con respecto a las habituales configuraciones que se usan hoy en día en el campo de las compañías eléctricas. Este diseño proporciona una alternativa viable al uso de líneas de 345 kV compensadas en serie, y/o de líneas de más voltaje, para transportar eficientemente grandes bloques de energía a largas distancias (por ejemplo, 100 millas o unos 160 kilómetros); así, es superior en lo referente a la simplicidad del diseño, la ingeniería, la construcción, el funcionamiento, la capacidad de expansión de la red eléctrica, la esperanza de vida -o vida útil- y el coste de cada ciclo de vida.

La realización preferida de la invención presenta líneas con un circuito doble (y con un circuito simple con capacidad para funcionar como un circuito doble), que se caracterizan por contar con una configuración interfásica compacta que utiliza conductores incorporados que están suspendidos de unas estructuras con una estética discreta. Preferiblemente, la nueva estructura se compone de una sola cruceta tubular de acero con forma de arco que soporta ambos circuitos de forma simétrica alrededor de un solo eje de un poste de acero tubular. Preferiblemente, se unen o integran tres fases con dos, tres, cuatro (o más) haces de conductores usando una configuración 'delta' mediante montajes -o estructuras- aislantes de suspensión en forma de V (o 'V-string', en inglés) y aislantes interfásicos, de manera que al mismo tiempo se conservan las conexiones del montaje aislante entre la fase y la estructura ('de fase a estructura'). Esta realización preferida de la invención mejora la carga de impedancia propia o SIL (por sus siglas en inglés) de una línea de transmisión (es decir, un indicador de la 'cargabilidad'), reduce su impedancia en serie, disminuye las pérdidas resistivas y de corona (ionización del aire), y modera los campos electromagnéticos (o 'EMF', por sus siglas en inglés). Todo ello se consigue de forma rentable.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS ILUSTRACIONES

La siguiente descripción de las realizaciones ejemplares hace referencia a las figuras adjuntas que forman parte de ellas. La descripción proporciona explicaciones por medio de las realizaciones ejemplares. Debe entenderse que pueden usarse otras realizaciones que incorporen cambios mecánicos y eléctricos que se incluyen dentro del alcance de la invención sin alejarse del espíritu de la misma.

Además de las características previamente mencionadas, otros aspectos de la presente invención también resultarán claramente evidentes a partir de las siguientes descripciones de las ilustraciones y las realizaciones ejemplares, de manera que los números iguales o similares de las diversas vistas hacen referencia a características iguales o equivalentes, y de manera que:

- La Figura 1 (FIG. 1) ilustra la realización preferida de la línea de transmisión de la presente invención;
- La Figura 2 ilustra la realización preferida de la línea de transmisión de la presente invención (en forma de esquema);
- La Figura 3 ilustra una línea de transmisión habitual de 345 kV usada actualmente (estado anterior de la técnica);
- La Figura 4 ilustra otra realización de la línea de transmisión de la presente invención;
- La Figura 5 ilustra otra realización de la línea de transmisión de la presente invención;
- La Figura 6 ilustra otra realización de la línea de transmisión de la presente invención;
- La Figura 7 ilustra otra realización de la línea de transmisión de la presente invención;
- La Figura 8 ilustra otra realización de la línea de transmisión de la presente invención;
- La Figura 9 ilustra una realización de la placa de unión (o abrazadera) para un haz de 4 conductores;
- La Figura 10 ilustra una realización de la placa de unión para un haz de 3 conductores;
- La Figura 11 ilustra una realización de la placa de unión para un haz de 2 conductores.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA(S) REALIZACIÓN(ES) EJEMPLAR(ES)

La Figura 1 muestra la realización preferida del diseño de una línea de circuito doble de 345 kV de la presente invención. Presenta una estructura aerodinámica y relativamente discreta con unos haces 'fase-conductor' dispuestos en configuraciones compactas 'delta' mediante unos aislantes o aisladores de interfase (el término 'delta' hace referencia a una forma básicamente triangular que tiene ángulos interiores de entre 30 y 120 grados). Las

configuraciones compactas delta ofrecen las ventajas de contar con una mejor SIL de la línea, una impedancia en serie menor y unos campos electromagnéticos o EMF más bajos a nivel de suelo (el término 'compacto/a' hace referencia a una disposición más junta que las configuraciones convencionales de una línea de transmisión, de manera que dicha disposición elimina la necesidad de las compensaciones en serie o de cualquier cantidad significativa de compensación en serie; el término 'compacto/a' hace referencia a un rango o intervalo de entre 10 y 20 pies -entre 3,048 y 6,096 metros, aproximadamente- entre dos fases cualesquiera). La SIL, un nivel de carga en el que la línea alcanza la autosuficiencia o autonomía de potencia reactiva (es decir, no hay potencia reactiva de red dentro o fuera de la línea), es un criterio o patrón adecuado para medir las 'cargabilidades' relativas de las líneas largas que funcionan con voltajes nominales similares o diferentes.

El diseño de la Figura 1 emplea hasta cuatro (o más) conductores por fase, lo que proporciona ganancias significativas en lo referente a la capacidad térmica y la eficiencia energética de la línea. En los casos en los que se considera que los haces de cuatro conductores, o más grandes, son innecesarios por razones térmicas, la presente invención puede usarse con haces de dos o tres conductores, con la correspondiente reducción de costes, pero esto provocará una cierta pérdida de SIL. De forma alternativa, el mayor coste de los haces más grandes puede reducirse con conductores que tengan un diámetro menor, a la vez que se conserva gran parte de las mejoras en la SIL. Además, el coste más elevado de los haces más grandes puede compensarse mediante el ahorro en potencia y energía debido a una mayor eficiencia de la línea. Estos cambios supondrían un perfeccionamiento del diseño de la presente invención que se describe en este documento.

Tomando en cuenta la susceptibilidad que provoca la colocación de las líneas de transmisión, se espera que la baja altura media y la apariencia estética del nuevo diseño mejoren la aceptación de la ciudadanía con respecto a los nuevos proyectos de transmisión. El nuevo diseño se adapta de forma eficaz a la típica construcción o estructura de 150 pies (unos 45,72 metros; 1 pie = 30,48 cm) y 345 kV.

La Figura muestra un esquema del diseño con doble circuito de 345 kV que se ilustra en la Figura 1. Preferiblemente, incluye un solo eje de un poste de acero (1) que soporta una cruceta de acero tubular con forma de arco (2), lo cual da como resultado una apariencia aerodinámica, estética y discreta. La altura media de la estructura, de 100 pies aproximadamente (unos 30,48 metros), es alrededor de un 30% más baja que la de un diseño convencional de circuito doble y 345 kV, con la misma altura de sujeción del haz conductor de la fase inferior. Cada fase tiene múltiples -cables- conductores que forman un haz con un diámetro de entre 16 y 32 pulgadas (entre 40,64 cm y 81,28 cm; 1 pulgada = 2,54 cm), aproximadamente. Los espacios entre las tres fases de la realización ejemplar (aproximadamente, 14 pies, 14 pies y 18 pies) se mantienen usando aislantes de la interfase (7) y (9). Estas dimensiones y las disposiciones haz/fase pueden variar, siempre y cuando se conserven los espacios libres entre fases para proteger a los trabajadores de la línea y al resto de ciudadanos. Preferiblemente, la cruceta (2) soporta dos cables de tierra blindados (12), que están colocados para proporcionar un ángulo de protección preferido de cero grados a la fase más exterior del haz de conductores (62).

Tal y como se muestra en la Figura 2, se prefiere una cruceta de acero tubular en forma de arco; proporciona los puntos de unión del montaje o estructura aislante en las posiciones deseadas y, al mismo tiempo, tiene un aspecto simple y elegante. La forma de la cruceta puede variar, desde un arco con un radio de 30-50 pies hasta un brazo recto, siempre y cuando los puntos de unión de las estructuras aislantes conserven los espacios libres 'de fase a suelo' y 'de fase a fase' requeridos.

La configuración preferida del nuevo diseño de 345 kV emplea aislantes de la interfase, que sujetan los haces conductores de fase en una configuración compacta delta, y otros aislantes que unen cada uno de estos haces con el cuerpo de la estructura/cruceta para minimizar el riesgo de que haya averías o defectos 'de fase a fase'. Se prefiere que el ángulo interior entre las parejas de aislantes (3) y (4), (6) y (7), (9) y (10) tenga 100 grados, pero puede variar entre 60 y 120 grados. El ángulo preferido mantiene en tensión ambos lados de los aislantes con forma de V con una carga de viento de hasta 6 psf (del inglés 'pounds-force per square inch', o 'libra fuerza por pulgada cuadrada'; 1 psi = 6894,76 pascales = 6,895 kPa = 0,0689 bares), que se corresponde con un viento con una velocidad de alrededor de 50 mph (o 'millas por hora'; alrededor de 80,4672 km/hora; 1 mph = 1,60934 km/h). Los aislantes (3), (4), (6) y (10) pueden ser de cerámica, vidrio o polímeros, por ejemplo.

Los aislantes de la interfase (7) y (9) tienen la capacidad de resistir las cargas de tensión, compresión y torsión del diseño y conservar los requisitos de distancia 'de fase a fase' y la distancia de pérdidas o fugas. Preferiblemente, la distancia neta entre los anillos de nivelación (si fueran necesarios) del aislante de la interfase no es de menos de 9,25 pies. Preferiblemente, los aislantes de la interfase (7) y (9) tienen el mismo índice de contaminación que los demás aislantes utilizados en la estructura con forma de V. Esto provoca que la distancia real de pérdidas sea más larga que la de los aislantes 'de fase a suelo' por un factor de la raíz cuadrada de tres. Los aislantes poliméricos pueden proporcionar un ratio o proporción mayor de la distancia de fuga sobre la distancia de arco seco ('dry-arc distance', en inglés) para dar cabida a una distancia de fuga mayor en la misma longitud media de una parte o sección. Son preferibles los aislantes poliméricos de goma de silicona debido a su mayor capacidad para soportar descargas o arcos eléctricos en comparación con los aislantes poliméricos de goma de monómeros de etileno propileno dieno (EPDM) y los aislantes estándar de vidrio o cerámica.

Los anillos de nivelación, si fueran necesarios, se instalan preferiblemente en ambos extremos de los aislantes poliméricos. En el caso de los aislantes de vidrio o cerámica, esta necesidad se determina mediante pruebas eléctricas. Los anillos de nivelación y sus enganches deberían aguantar los arcos eléctricos de una descarga sobre el aislante y también los de un rayo. Preferiblemente, en condiciones secas estos anillos y los accesorios de los extremos no deberían presentar coronas. Preferiblemente, el campo eléctrico de 60 Hz en cualquier parte de la parte polimérica del aislante no debe sobrepasar los 0,42 kVrms/mm en una distancia mayor de 10 mm medida a lo largo del eje longitudinal del aislante.

Tal y como se muestra en la Figura 2 para el Circuito nº 1 (70), el aislante (3) está suspendido de la cruceta tubular de acero con forma de arco (2) mediante una placa de unión o conexión denominada 'through-vang' (16). El aislante (4) está unido al eje o barra de acero tubular (1) mediante una 'through-vang' (13). A su vez, los aislantes (3) y (4) mantienen suspendida la placa de unión (5) para un haz de conductores de primera fase. El aislante (6) está suspendido de la cruceta (2) mediante una 'through-vang' (15), y el aislante (7) está suspendido de una placa de unión (5). Los aislantes (6) y (7) mantienen suspendida la placa de unión (8) para un haz de conductores de segunda fase (62). El aislante (9) está suspendido de la placa de unión (8), y el aislante (10) está unido al eje de acero tubular (1) mediante una 'through-vang' (14). Los aislantes (9) y (10) mantienen suspendida la placa de unión (11) para un haz de conductores de tercera fase (64). Los aislantes, 'through-vangs' y placas de unión del Circuito nº 2 (72) están dispuestos de manera similar a sus componentes correspondientes del Circuito nº 1 (70). Una estructura con esta configuración puede tener una altura aproximada de 100 pies en condiciones en las que el terreno sea llano.

A modo de comparación, en la Figura 3 se muestra la estructura habitual de un poste de circuito doble de 345 kV, que tiene un Circuito Uno (74) y un Circuito Dos (76), que se usa hoy en día. Seis crucetas de conductores (18) y dos brazos con cables blindados (21) están sujetos por un solo eje del poste de acero (17). El montaje aislante con forma de I ('I-string', en inglés) (19) está suspendido por el extremo de cada cruceta de conductores (18) y sujeta un haz de dos conductores de fase (20). El montaje de cables blindados (22) está unido en el extremo de cada uno de los dos brazos de cables blindados (21). Los espacios verticales entre las tres fases pueden variar, pero en esta estructura tienen 25,5 pies, 25,5 pies y 51 pies. Una estructura con esta configuración puede tener una altura aproximada de 150 pies en condiciones en las que el terreno sea llano.

La Tabla 1 resume los ejemplos de las características físicas y eléctricas del diseño de una línea habitual de dos circuitos y 345 kV y tres variaciones de una realización de la presente invención que utiliza disposiciones de haces de dos, tres y cuatro conductores. Tienen un interés particular las mejoras en las propiedades de la SIL, la impedancia y la pérdida de energía, que influyen directamente en la 'cargabilidad' y la eficiencia de la línea. Estas cuestiones son clave en cualquier desarrollo de transmisiones construidas para transportar grandes bloques de energía a largas distancias. La Tabla 1 también proporciona una comparación entre la capacidad térmica, los EMF y las emisiones de ruidos audibles de los diseños de líneas nuevos y los convencionales, además de los costes de instalación y la rentabilidad, expresados en dolares por milla por megavatios de SIL. Esta última es una medida más completa del coste de la línea de transmisión y, si se toman en cuenta los costes de un ciclo de vida completo, pone de manifiesto aún más las ventajas del nuevo diseño.

Tabla 1. Comparación de los diseños de líneas de 345 kV habituales y de la presente invención

	DISEÑO de 345 kV habitual	NUEVO DISEÑO de 345 kV					
Haz de conductores de fase	2-954 kCM ACSR ⁽⁸⁾ Cardinal (espacios de 18")	2-954 kCM ACSR Cardinal (espacios de 18")		3-795 kCM ACSR Drake (Diámetro del haz de 30")		4-795 kCM ACSR Drake (Diámetro del haz de 30")	
Espacios entre fases (en pies) (Fases 1-2/2-3/3-1)	Actualmente 25,5 / 25,5 / 51,0	Planificado 14,0 / 14,0 / 18,0		Planificado 14,0 / 14,0 / 18,0		Planificado 14,0 / 14,0 / 18,0	
Altura de la estructura (en pies)	145,5	99	-32%	99	-32%	99	-32%
CADA CIRCUITO:							
Resistencia (Ω / 100 millas)	5,01	4,96	-1,0%	3,93	-22%	2,96	-41%
Impedancia característica (Ω)	284	243	-14%	194	-32%	178	-37%
SIL (MW)	420	490	+17%	610	+45%	670	+60%
Capacidad o clasificación térmica (A) ⁽¹⁾	2,246	2,246	0%	3,075	+37%	4,100	+83%
AMBOS CIRCUITOS COMBINADOS:							
Pérdida resistiva (MW/100 millas) ⁽²⁾	84	83	-1,2%	66	-21%	50	-41%
Pérdida de corona (MW/100 millas) ⁽³⁾	1,0	2,3	+130%	1,6	+60%	0,8	-20%
Ruidos audibles en el límite de la preferencia de paso o ROW (dBA) ⁽⁴⁾⁽⁵⁾	44	53	+20%	44	0%	37	-16%
Campo eléctrico en el límite de la preferencia de paso (kV/m) ⁽⁴⁾	0,5	0,6	+20%	0,8	+60%	0,9	+80%
Campo magnético en el límite de la preferencia de paso (mG) ⁽⁴⁾	116	54	-53%	54	-53%	54	-53%
Costes de instalación (\$M/100 millas) ⁽⁶⁾	151	140	-7%	164	+9%	190	+26%
Rentabilidad (\$/MW-milla) ⁽⁷⁾	1798\$	1429\$	-21%	1344\$	-25%	1418\$	-21%

- 5 Notas:
- (1) Capacidad o clasificación en verano para un funcionamiento continuo en AEP ('American Electric Power') (Zona Oeste)
- (2) Pérdida de la línea basada en cargas de 1000 MVA en cada uno de los dos circuitos
- 10 (3) Pérdida media de corona por año (20% de lluvia, 2% de nieve, 78% despejado)
- (4) Se muestran los resultados de una disposición de fases con un 'superhaz' (Fases 1-2-3; 1-2-3, de arriba hacia abajo); también son posibles otras disposiciones. La anchura del ROW (o preferencia de paso) es de 150 pies
- (5) Valor medio del ruido audible con lluvia a nivel del mar
- 15 (6) Costes estimados de la línea en base a criterios de diseño del NESC ('National Electrical Safety Code' o 'Código de seguridad eléctrica nacional' de EE. UU.) para zonas de carga elevada de grado B
- (7) Rentabilidad en base a la capacidad en MW de la SIL (dos circuitos)

(8) Cable conductor de aluminio reforzado con acero ('ACSR', en inglés)

5 Como queda demostrado, las mejoras en la SIL y las reducciones en la impedancia, las cuales se acercan a un 60% y un 40%, respectivamente, pueden obtenerse con una realización del diseño de 345 kV de la presente invención usando estructuras aerodinámicas discretas y haces de conductores de fases dispuestos en configuraciones delta compactas. Además, si se usan haces de tres o cuatro conductores de fases se obtienen ganancias significativas en la capacidad térmica y la eficiencia energética de la línea, lo cual da como resultado una reducción de las temperaturas de funcionamiento. Un beneficio derivado de estas mejoras es que se ayuda a descargar las líneas con una impedancia mayor y una capacidad menor del sistema de transmisión, mejorando así el rendimiento general del sistema.

15 Otros beneficios incluyen: (i) un menor ruido audible a nivel de suelo, que es comparable al que hay en una biblioteca, y (ii) unos niveles bajos de EMF, que corresponden a una fracción de las directrices aplicables en esta industria, incluso en las condiciones de funcionamiento más exigentes.

20 Los campos eléctricos a nivel del suelo producidos por la presente invención y los diseños habituales son muy débiles, pero los campos eléctricos asociados con la primera son más elevados. Ambos campos, medidos en los límites de la línea de preferencia de paso (o 'ROW'), se encuentran sobradamente dentro de las correspondientes directrices de la industria (5 kV/m). El campo magnético, que actualmente recibe una mayor atención por parte de la comunidad científica y en los procesos para seleccionar el emplazamiento de las líneas, se reduce a la mitad con las mismas condiciones de carga de la línea en esta realización. Dependiendo de las aplicaciones, es posible obtener reducciones adicionales en el campo eléctrico y/o magnético usando otras posibles disposiciones de las fases diferentes a las de la Tabla 1.

25 En la realización preferida, se tienen en cuenta los haces simétricos de 'ACSR' ('Cables conductores de aluminio reforzados con acero' o 'Aluminum conductor steel reinforced', en inglés); sin embargo, en la presente invención pueden usarse tipos de conductores diferentes y/o haces asimétricos, lo cual tiene efectos variados en el coste y en el rendimiento eléctrico y mecánico de la línea.

30 Tal y como se demuestra en la realización relacionada con la Tabla 1, las tres variantes o variaciones del diseño de la presente invención son más rentables (basándose en la relación \$/MW-milla) que los diseños habituales debido a su mayor 'cargabilidad'. Además, en los proyectos que normalmente requerirían una compensación en serie, los gastos evitados son los gastos relacionados con la instalación y el mantenimiento/recambio del equipo de compensación (incluyendo las pruebas de SSR/SSCI y/o los gastos o costes de moderación) a largo plazo, teniendo en cuenta que la línea de transmisión tiene una esperanza de vida larga. Estos gastos, además de las cuestiones explicadas previamente, pueden ser considerables.

35 La opción de cuatro conductores para el diseño de circuito doble de 345 kV de la presente invención, tal y como se muestra en la Figura 2, también sale ganando en comparación con un diseño habitual para una línea de 500 kV (en la que las tres fases están suspendidas en una configuración horizontal bajo una cruceta de torre). Tal y como se muestra en la Tabla 2, el primero, con una preferencia de paso de 150 pies de ancho, proporciona una SIL un 40% más elevada que el segundo, que normalmente es más alto y está construido en una preferencia de paso de 175 pies. La eficiencia energética y los costes de instalación de ambos diseños son similares, de manera que el diseño de 345 kV de la presente invención es considerablemente más rentable debido a su 'cargabilidad' más elevada (un objetivo importante en el desarrollo de la transmisión de grandes cantidades de energía).

40 Gracias a la Tabla 2, resulta evidente que el diseño de la presente invención no puede tomarse como un sustituto de una línea de transmisión habitual de 765 kV (en la que las tres fases están suspendidas en una configuración horizontal bajo una cruceta de torre), pero puede servir como la siguiente mejor alternativa. Para integrar en una línea de 765 kV o 500 kV una transmisión de 345 kV sería necesario el uso de transformadores y otros equipos, cuyo coste no se incluye en esta comparativa.

55

60

65

Tabla 2.

Nuevo diseño de 345 kV versus diseños de mayor voltaje			
	NUEVO DISEÑO de 345 kV ⁽¹⁾	DISEÑO DE 500 kV	DISEÑO de 765 kV
Haz de conductores de fase	4-795 kCM ACSR Drake (Diámetro del haz de 30")	3-1113 kCM ACSS Finch (Espacios de 18")	6-795 kCM ACSR Tern (Diámetro del haz de 30")
Anchura de la preferencia de paso (en pies)	150	175	200
Carga de impedancia característica (MW)	1340	960	2380
Pérdida resistiva (MW/100 millas) ⁽²⁾	50	47	14
Pérdida de corona (MW/100 millas) ⁽³⁾	0,8	1,1	2,4
Costes de instalación (\$M/100 millas) ⁽⁴⁾	190	192	266
Rentabilidad (\$M/100 millas) ⁽⁵⁾	1418\$	2000\$	1118\$

Notas:

(1) Datos de los dos circuitos, combinados, del nuevo diseño de 345 kV

(2) Pérdida de la línea basada en cargas de 1000 MVA en cada circuito de 345 kV; 2000 MVA en las líneas de 500 kV y 765 kV

(3) Pérdida media de corona por año (20% de lluvia, 2% de nieve, 78% despejado)

(4) Costes estimados de la línea en base a criterios de diseño del NESC ('National Electrical Safety Code' o 'Código de seguridad eléctrica nacional' de EE. UU.) para zonas de carga elevada de grado B

(5) Rentabilidad en base a la capacidad en MW de la SIL

En las realizaciones alternativas, pueden usarse tanto crucetas tubulares de acero con formas rectas como crucetas de acero con rejas o enrejados en lugar de la única cruceta tubular de acero con forma de arco del diseño con circuito doble de la Figura 2.

La Figura 4 muestra una configuración de estructura alternativa del nuevo diseño que utiliza dos crucetas tubulares de acero rectas (23) para sostener los conductores de fase y los cables blindados (12) para un primer circuito (78) y un segundo circuito (80). La longitud del montaje aislante (24) es diferente de la del correspondiente montaje aislante (6) de la Figura 2 para que encaje en esta configuración alternativa. Una estructura con esta configuración puede tener una altura aproximada de 105 pies en condiciones en las que el terreno sea llano.

La Figura 5 muestra otra alternativa con dos crucetas de acero arqueadas con rejas o enrejados (25), en lugar de la única cruceta tubular de acero con forma de arco (2) que se muestra en la Figura 2, para sostener los conductores de fase y los cables blindados (12) para un primer circuito (82) y un segundo circuito (84). Las placas de unión (26) y (27) en las crucetas con enrejados, y las 'through-vangs' (13) y (14) en el eje del poste de acero (1), proporcionan un soporte para los montajes o estructuras aislantes. Una estructura con esta configuración puede tener una altura aproximada de 105 pies en condiciones en las que el terreno sea llano.

La Figura 6 muestra otra alternativa con crucetas d acero con enrejados (28) y un cuerpo de la torre (33) que sostiene los conductores de fase y los cables blindados (12) para un primer circuito (86) y un segundo circuito (88). En esta alternativa, las placas de unión (29) y (30) en las crucetas, y las placas de unión (31) y (32) en el cuerpo de la torre, sostienen los montajes o estructuras aislantes. Esta es una alternativa rentable que puede usarse durante tramos más largos en un terreno montañoso. Una estructura con esta configuración puede tener una altura aproximada de 105 pies en condiciones en las que el terreno sea llano.

Se prefiere que ninguno de los diseños alternativos requiera un cambio en las posiciones físicas fase/conductor, conservando así las propiedades eléctricas básicas del diseño más representativo (en referencia a la Figura 2), incluyendo su eficiencia y su capacidad para transportar la carga.

Las alternativas previas podrían simplificar el proceso de fabricación de las estructuras y reducir los costes, pero aumentarían la altura media en unos 5-6 pies. Además, pueden alejarse del aspecto aerodinámico de la línea (y de la aceptación pública), una cuestión importante en la confección del nuevo diseño.

5 La Figura 7 muestra una modificación de la presente invención, en la que una cruceta de acero con forma de arco (56) sostiene el Circuito nº 1 (90) directamente por encima de otra cruceta de acero con forma de arco (57) que sostiene el Circuito nº 2 (92), de manera que ambas están situadas en la estructura de un solo eje de un poste tubular (55) que puede colocarse en una 'ROW' o una preferencia de paso más estrecha, de menos de 150 pies de ancho. Este diseño puede modificarse aún más para incluir hasta dos circuitos adicionales, preferiblemente situados
10 simétricamente respecto a los Circuitos nº 1 (90) y nº 2 (92), de manera que se dobla la 'cargabilidad' media de la línea, en una anchura de preferencia de paso de 150 pies.

15 La Figura 8 muestra otra modificación de la presente invención que utiliza crucetas (35), montajes aislantes de refuerzo (36) y (37), similares a los de Lindsey Manufacturing Co., y montajes aislantes de suspensión con forma de I (38) para mantener suspendida una placa de unión (39), en lugar de los montajes aislantes con forma de V, para conservar las fases en una disposición delta similar sin aislantes interfásicos. La cruceta (35) sostiene el Circuito nº 1 (94) y el Circuito nº 2 (96). Los espacios entre las tres fases, cada una con múltiples conductores, se aumentan en este diseño modificado hasta aproximadamente 20 pies para mantener el margen de apagón del 'I-string' con vientos de 6 psf. Los mayores márgenes o espacios de fase darán como resultado una cierta pérdida en
20 la capacidad de la SIL. Los montajes de cables blindados/de tierra (42) se disponen en los extremos de la cruceta (35). En esta realización ejemplar, las placas 'through-vang' (43) y (44) se usan para conectar los aislantes (38) y los montajes aislantes posteriores (37) a la cruceta. Además, las placas de unión (40) y (41) están unidas al eje del poste (34) mediante montajes aislantes posteriores de refuerzo (36) y (37). Cada montaje aislante (36) y (37) está conectado al eje del poste (34) mediante placas 'through-vang' (45), (46) y (47).

25 La Figura 9 ilustra una realización de una placa de unión diseñada para haces de fase con cuatro conductores. Unidas a esta placa de unión (5), hay cuatro abrazaderas de suspensión que sujetan los conductores del haz de fases (60). Preferiblemente, la placa tiene cuatro orificios de unión aislantes (51); dos de ellos son para los aislantes (3) y (4), y el tercer orificio es para el aislante interfásico (7). El cuarto orificio de esta placa no se usa en el haz de conductores de fase (60); proporciona un sitio de unión alternativo para el aislante interfásico en otras fases del diseño de la línea. Preferiblemente, ambos extremos de los aislantes (3), (4) y (7) están equipados con anillos de nivelación (48), (49) y (52).

30 La placa de unión (5) puede reemplazarse por la placa de unión (53) en el caso de los haces de fase de tres conductores (Figura 10), lo que proporciona un soporte para las tres abrazaderas de suspensión (50) que sujetan los conductores del haz de conductores de fase (60). Esta placa de unión también tiene cuatro orificios de unión aislantes (51); dos de ellos son para los aislantes (3) y (4), y el tercer orificio es para el aislante (7). El cuarto orificio no se usa en el haz de conductores de fase (60).

35 La placa de unión (5) también puede reemplazarse por la placa de unión (54) en el caso de los haces de fase de dos conductores (Figura 11), lo que proporciona un soporte para dos abrazaderas de suspensión (50) que sujetan los conductores del haz de conductores de fase (60). Esta placa de unión tiene tres orificios de unión aislantes (51); dos de ellos son para los aislantes (3) y (4), y el tercer orificio es para el aislante (7).

40 El diseño de la línea de circuito doble con 345 kV de la presente invención (Figura 2) proporciona, de forma rentable, una alta capacidad y una alta eficiencia para la transmisión de energía. En esta realización, se compone de una cruceta tubular de acero con forma de arco que sostiene simétricamente dos circuitos alrededor de un solo eje de poste tubular, de manera que ofrece un aspecto estético simple y relativamente discreto; seis montajes aislantes con forma de V que forman configuraciones delta compactas de haces de conductores de fase con hasta cuatro conductores (o más) por fase; de manera que cada fase tiene al menos una conexión aislante con la estructura de soporte, lo que minimiza el riesgo de fallos o averías que suele haber con múltiples fases; y cuatro aislantes interfásicos, lo que permite hacer la línea más compacta. El diseño de circuito doble de 345 kV de la Figura 2 (haz de fases con cuatro conductores) proporciona una mejor SIL en la línea, que se acerca a los 670 MW por circuito versus los 420 MW de un diseño convencional. Además, reduce las pérdidas resistivas y de corona, y modera los
45 EMF y los efectos de los ruidos audibles de la línea.

50 Preferiblemente, los seis montajes aislantes con forma de V incluyen ocho aislantes 'de fase a suelo' y cuatro aislantes interfásicos. Estos aislantes pueden ser de cerámica, de vidrio o poliméricos, por ejemplo. El ángulo interior entre ambos lados de los aislantes con forma de V es, preferiblemente, de 100 grados, pero puede oscilar en un rango de entre 60 y 120 grados.

55 En la realización preferida, los aislantes deben cumplir dos requisitos principales. Deben tener: (i) una resistividad eléctrica y (ii) una fuerza dieléctrica lo suficientemente elevadas para una aplicación determinada. Los requisitos secundarios están relacionados con las propiedades térmicas y mecánicas. En algunos casos, también deben tenerse en cuenta otros requisitos terciarios relacionados con la pérdida dieléctrica y la constante dieléctrica. En la realización preferida, las propiedades de los aislantes no deberían empeorar en un medio determinado y en un

tiempo de vida deseado.

5 La línea de transmisión de la presente invención es flexible y puede dar cabida a haces de fases con dos, tres, cuatro o más conductores. Pueden usarse diversos tipos de conductores y/o haces asimétricos, lo cual tiene efectos variados en los costes y en el rendimiento eléctrico y mecánico. Los espacios interfásicos están controlados por la distancia de arco seco 'de fase a fase' para los rayos y las sobretensiones de impulsos de conmutación o tipo maniobra ('switching impulse', en inglés) entre los anillos de nivelación, y la distancia de pérdida o fuga, que es más larga que el aislamiento 'de fase a tierra' por un factor de la raíz cuadrada de tres.

10 Preferiblemente, los cables blindados/de tierra están instalados sobre la cruceta con forma de arco, lo cual proporciona el ángulo de protección preferido de cero grados a los conductores de fase más exteriores.

15 La cruceta tubular de acero con forma de arco del nuevo diseño puede sustituirse por dos crucetas tubulares de acero rectas o dos crucetas de acero con enrejados, sin que ello requiera cambios en las posiciones físicas de los conductores de fase, de manera que se conservan las propiedades eléctricas básicas del diseño preferido.

20 La cruceta tubular de acero con forma de arco y el eje de poste de acero pueden sustituirse por una cruceta de acero con enrejados o con un cuerpo de torre de acero con enrejados, respectivamente, de manera que se conserva intacta la disposición de los conductores de fase (y también las propiedades eléctricas de la línea).

25 El Circuito nº 1 puede instalarse directamente sobre el Circuito nº 2 en una sola estructura usando dos crucetas de acero con forma de arco, sin que esto afecte a las disposiciones de las fases. Esta modificación de la presente invención puede realizarse en una preferencia de paso más estrecha, de menos de 150 pies de ancho. El diseño puede modificarse aún más para incluir hasta dos circuitos adicionales, situados preferiblemente de forma simétrica respecto a los Circuitos nº 1 y nº 2, con lo cual se dobla la 'cargabilidad' media de la línea en una preferencia de paso de 150 pies.

30 Los montajes aislantes con forma de V pueden sustituirse por montajes aislantes posteriores de refuerzo y montajes aislantes de suspensión con forma de I para conservar las fases en una configuración delta similar sin aislantes interfásicos. Sin embargo, para realizar esta modificación puede ser necesario aumentar los espacios entre fases, lo que provoca cierta pérdida en la capacidad de la SIL.

35 El nuevo diseño ofrece una alternativa viable, elegante y rentable al uso de líneas de 345 kV con compensaciones en serie, y/o de líneas de mayor voltaje, que se necesitan hoy en día para transportar grandes volúmenes de energía a largas distancias.

40

45

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Una estructura de una torre de transmisión para mantener suspendida una línea aérea de energía, que comprende:
- 5 una estructura de la torre que incluye una torre eléctrica vertical (o torre de alta tensión) (1) y un brazo en voladizo (o brazo de soporte) (2) que tiene un extremo distal en relación con la torre vertical;
- 10 unos haces de -cables- conductores de primera, segunda y tercera fase (60, 62, 64) para transmitir energía eléctrica en un sistema de transmisión de energía eléctrica, de manera que cada haz de conductores está compuesto de múltiples conductores separados, y cada haz de conductores transmite energía eléctrica en un ángulo de fase eléctrica diferente;
- 15 unas unidades aislantes (primera, segunda y tercera) con forma de V ('V-string', en inglés) (3, 4, 6, 7, 9, 10) que mantienen suspendidos el primer, segundo y tercer haz de conductores, respectivamente, de manera que cada haz de conductores cuelga por debajo de la respectiva unidad aislante con forma de V de la que está suspendido,
- de manera que la primera unidad aislante con forma de V incluye una primera pata o pierna (4) unida a la torre vertical,
- la segunda unidad aislante con forma de V incluye una primera pata o pierna (7) unida a la primera unidad aislante con forma de V y una segunda pata (6) unida al brazo en voladizo, y
- 20 la tercera unidad aislante con forma de V incluye una primera pata (10) unida a la torre vertical, y una segunda pata (9) unida a la segunda unidad aislante con forma de V;
- que se caracteriza por el hecho de que:
- la primera unidad aislante con forma de V incluye una segunda pata (3) unida al brazo en voladizo; y por el hecho de que
- 25 los haces de conductores suspendidos (primero, segundo y tercero) forman una configuración delta con el extremo distal del brazo en voladizo, que está más cerca del segundo haz de conductores que del primer y tercer haz de conductores.
2. La estructura de la torre de transmisión de acuerdo con la reivindicación 1, de manera que el primer haz de conductores (60) queda suspendido gracias a la tensión en la primera (4) y la segunda (3) pata de la primera unidad aislante con forma de V; el segundo haz de conductores (62) queda suspendido gracias a la tensión en la primera (7) y la segunda (6) pata de la segunda unidad aislante con forma de V; y el tercer haz de conductores (64) queda suspendido gracias a la tensión en la primera (10) y la segunda (9) pata de la tercera unidad aislante con forma de V.
3. La estructura de la torre de transmisión de acuerdo con la reivindicación 1, de manera que la primera (4) y la segunda (3) pata de la segunda unidad con forma de V soportan mediante la tensión al menos una parte del peso del tercer haz de conductores (64).
4. La estructura de la torre de transmisión de acuerdo con la reivindicación 1, de manera que la primera (4) y la segunda (3) pata de la primera unidad con forma de V soportan mediante la tensión al menos una parte del peso del segundo (62) y el tercer (64) haz de conductores.
5. La estructura de la torre de transmisión de acuerdo con la reivindicación 1, de manera que:
- 45 la primera (4) y la segunda (3) pata de la primera unidad aislante con forma de V, la segunda pata (6) de la segunda unidad aislante con forma de V y la primera pata (10) de la tercera unidad aislante con forma de V comprenden un aislante 'de fase a tierra'; y
- 50 la primera pata (7) de la segunda unidad aislante con forma de V y la segunda pata (9) de la tercera unidad aislante con forma de V comprenden un aislante 'de fase a fase'.
6. La estructura de la torre de transmisión de acuerdo con la reivindicación 1, de manera que los haces de conductores suspendidos (primero, segundo y tercero) (60, 62, 64) forman una configuración delta compacta.
7. La estructura de la torre de transmisión de acuerdo con la reivindicación 6, de manera que la configuración delta compacta incluye un espacio o espaciado 'de fase a fase' de entre alrededor de 10 y 20 pies entre el centro de dos haces conductores cualesquiera (60, 62, 64), y unos ángulos interiores entre los haces de conductores (primero, segundo y tercero) (60, 62, 64) de entre 30 y 120 grados, y de manera que el voltaje -o tensión- nominal de funcionamiento de los haces de conductores es de 345 kV.
8. La estructura de la torre de transmisión de acuerdo con la reivindicación 1, de manera que las unidades aislantes con forma de V (primera, segunda y tercera) soportan todo el peso de los haces de conductores (primero, segundo y tercero) (60, 62, 64) juntos.
9. La estructura de la torre de transmisión de acuerdo con la reivindicación 1, de manera que el tercer haz de conductores (64) está suspendido básicamente por debajo del primer haz de conductores (60).

10. La estructura de la torre de transmisión de acuerdo con la reivindicación 1, de manera que el brazo en voladizo (2) es un brazo en voladizo arqueado.

5 **11.** La estructura de la torre de transmisión de acuerdo con la reivindicación 1, de manera que el brazo en voladizo (2) es recto y forma un ángulo hacia abajo.

12. La estructura de la torre de transmisión de acuerdo con la reivindicación 1, de manera que el brazo en voladizo (2) es un brazo en voladizo de acero en celosía (o con enrejado).

10 **13.** La estructura de la torre de transmisión de acuerdo con la reivindicación 1, de manera que la estructura de la torre comprende una sola torre eléctrica vertical (1) y un brazo en voladizo (2) que sale de la torre vertical (1).

15 **14.** La estructura de la torre de transmisión de acuerdo con la reivindicación 1, de manera que la estructura de la torre comprende un cuerpo en celosía (o con enrejado), y el brazo en voladizo (2) sale del cuerpo de la torre con enrejado.

20 **15.** La estructura de la torre de transmisión de acuerdo con la reivindicación 1, de manera que la altura de la estructura de la torre por encima del suelo es de menos de 100 pies.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

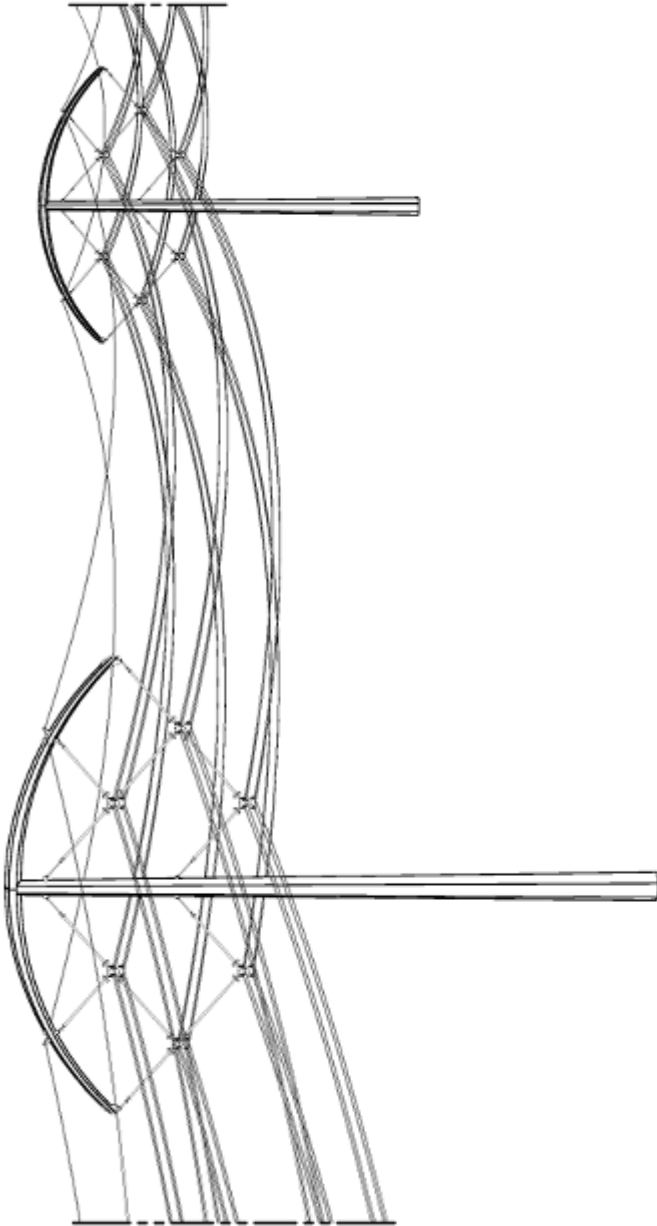


FIG-1

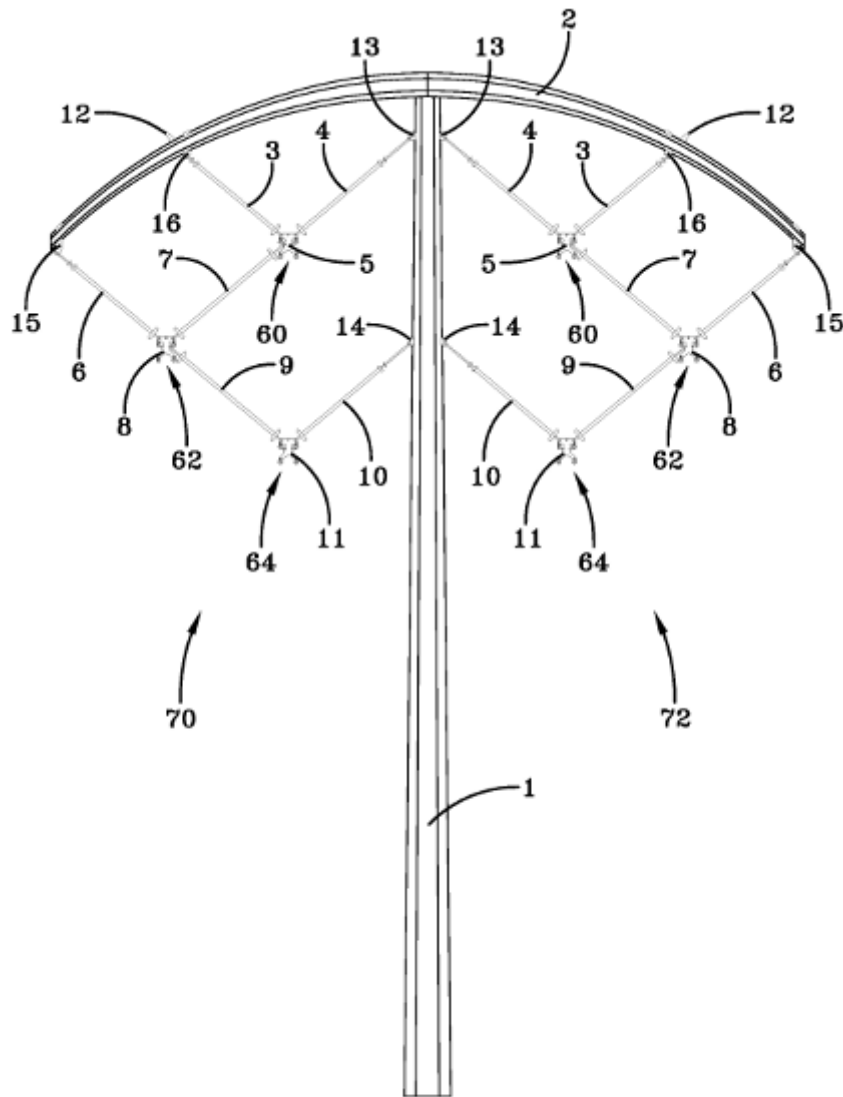


FIG-2

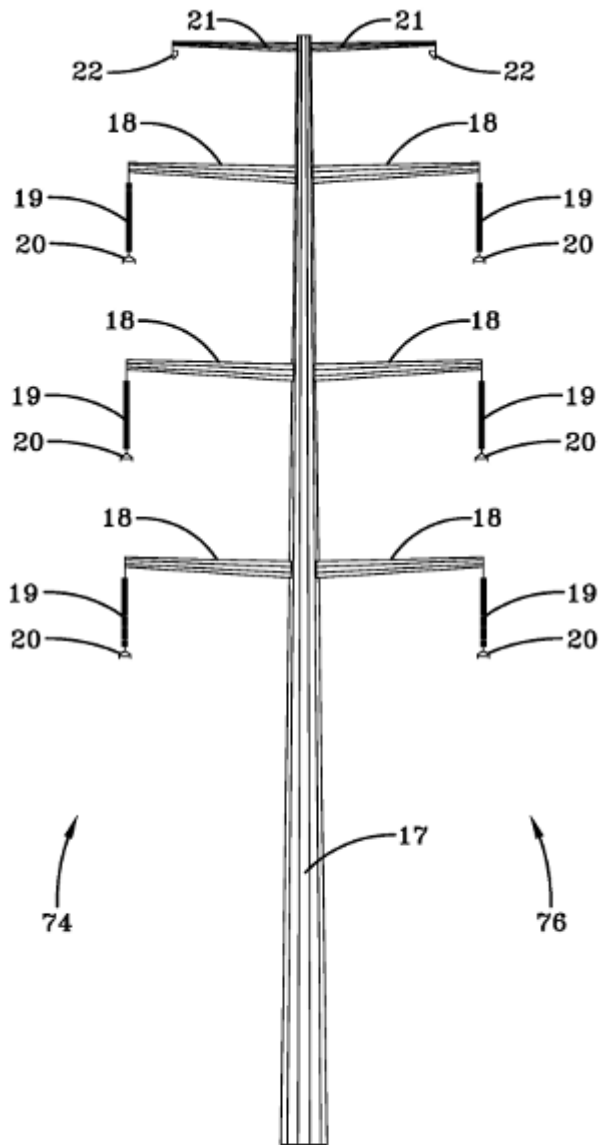


FIG-3
ESTADO DE LA TÉCNICA

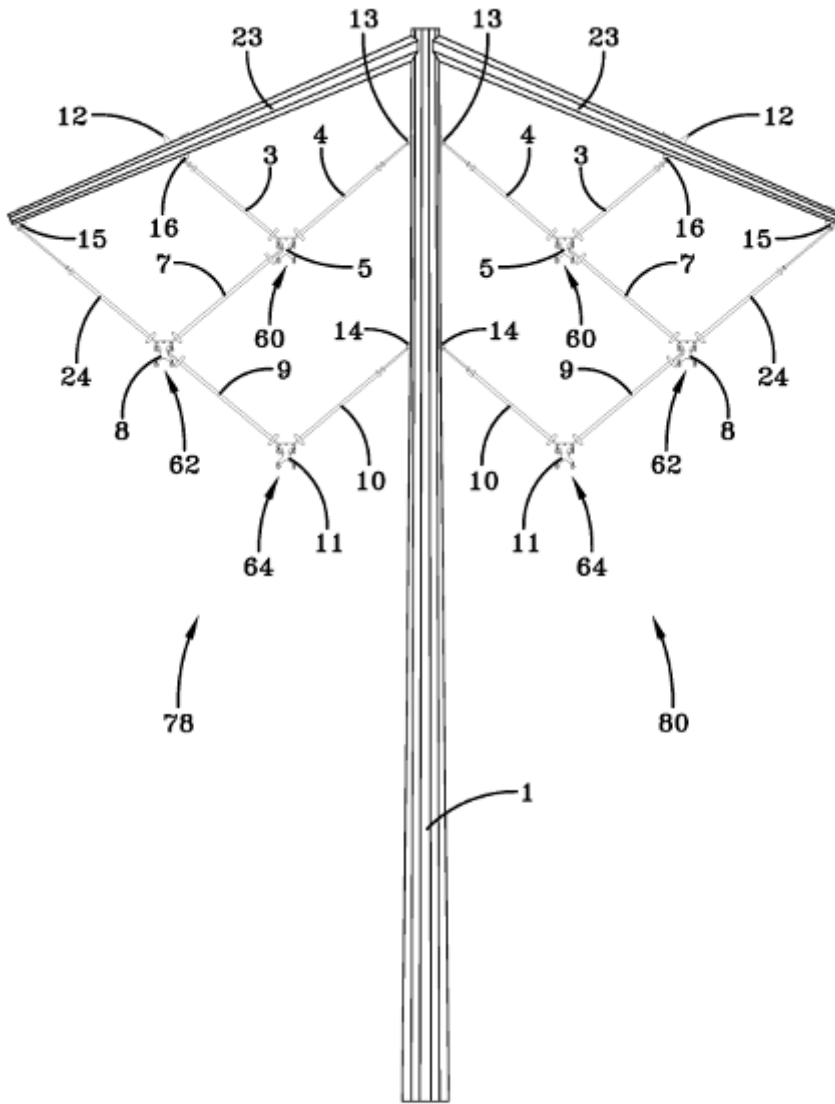


FIG-4

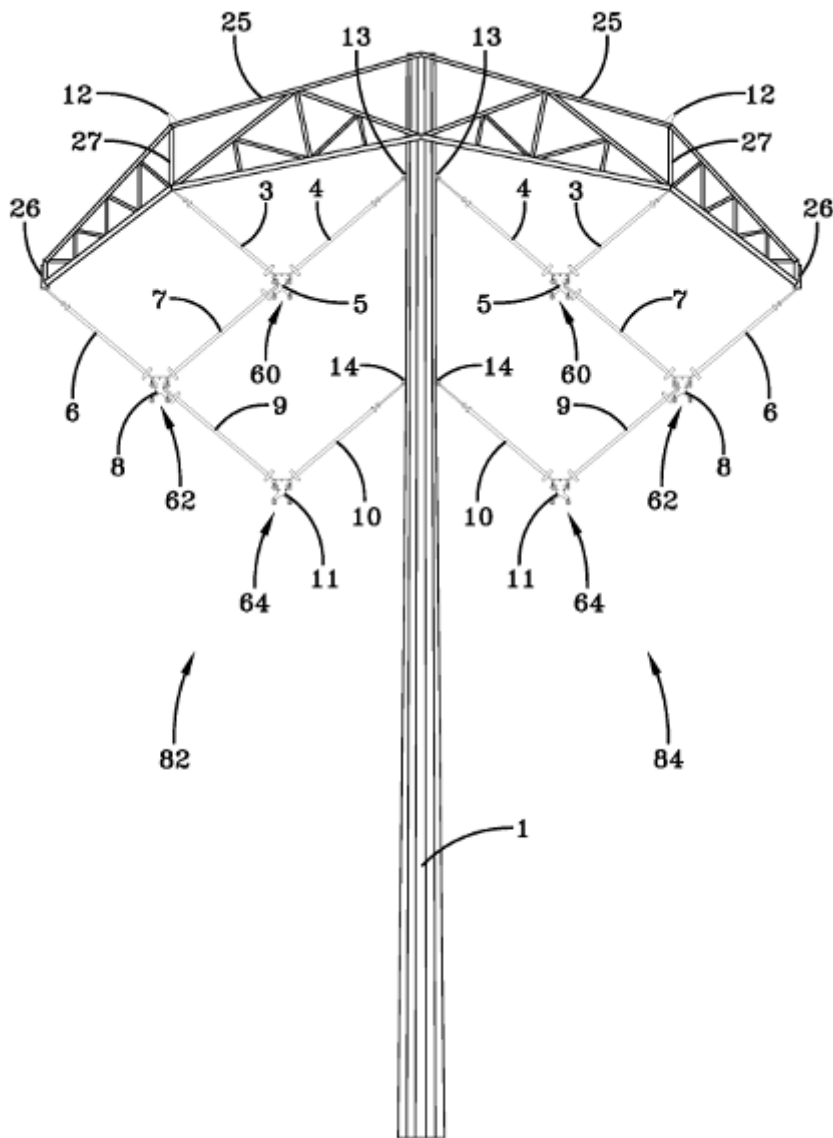


FIG-5

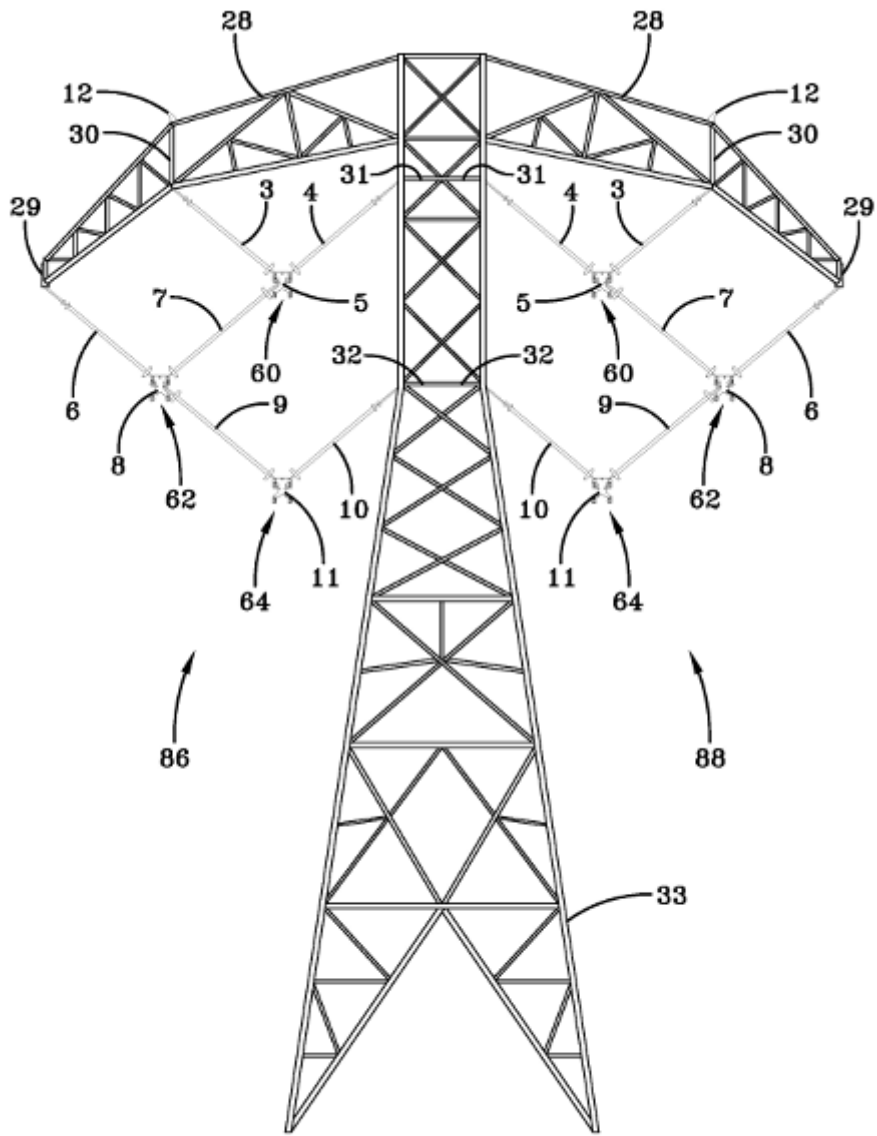


FIG-6

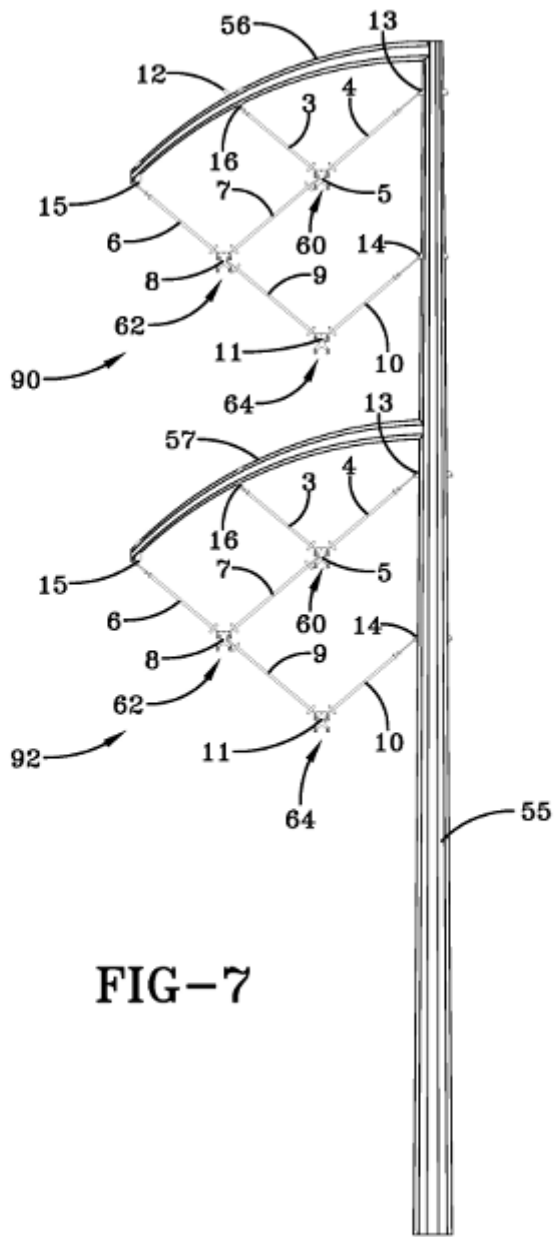


FIG-7

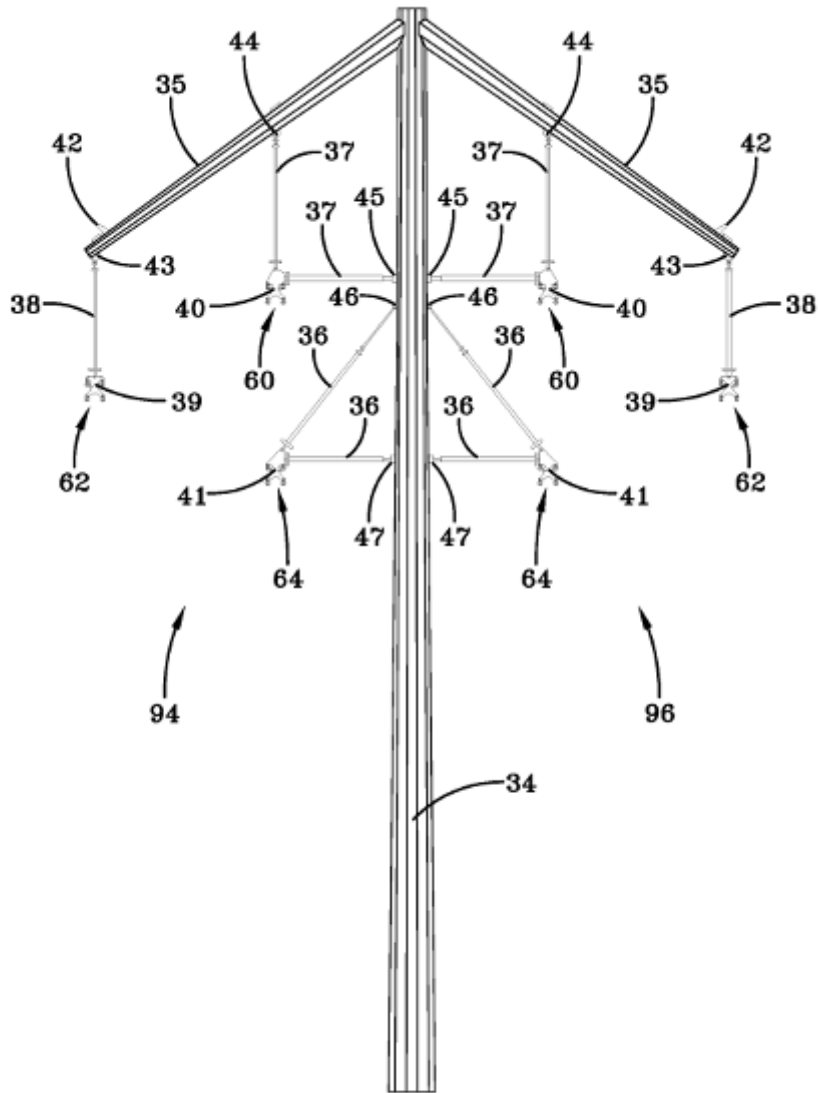


FIG-8

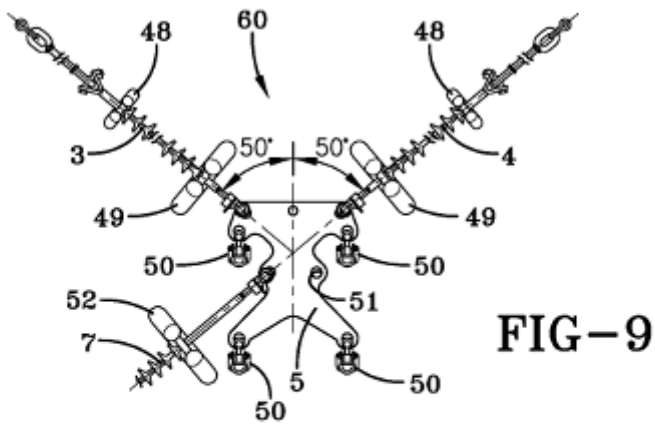


FIG-9

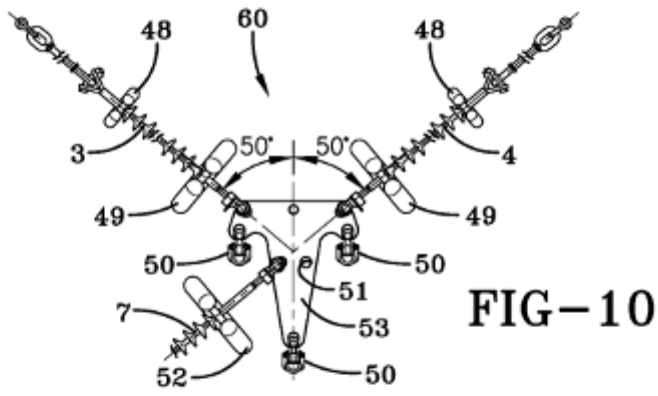


FIG-10

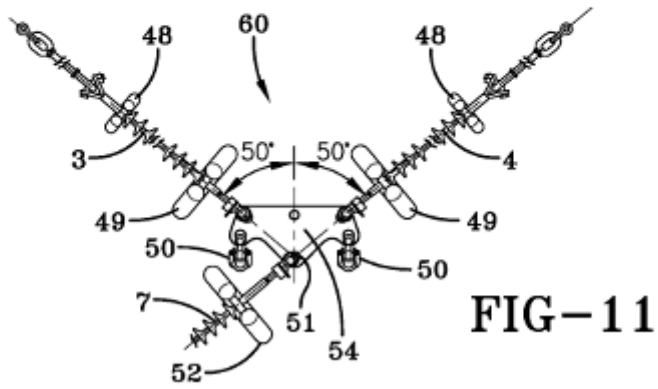


FIG-11