

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 376 226**

51 Int. Cl.:

**H02J 3/06** (2006.01)

**H02J 3/18** (2006.01)

12

### TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03772981 .1**

96 Fecha de presentación: **27.10.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1565975**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **24.08.2005**

54 Título: **DISPOSITIVO Y PROCEDIMIENTO PARA EL CONTROL DEL FLUJO DE POTENCIA EN UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN.**

30 Prioridad:  
**25.11.2002 US 303081**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**12.03.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**12.03.2012**

73 Titular/es:  
**ABB AB**  
**721 83 Västerås, SE**

72 Inventor/es:  
**NOROOZIAN, Mojtaba y**  
**HALVARSSON, Per**

74 Agente/Representante:  
**Ungría López, Javier**

**ES 2 376 226 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).

## DESCRIPCIÓN

Dispositivo y procedimiento para el control del flujo de potencia en una línea de transmisión

5 **Campo de la técnica**

La presente invención se refiere a un dispositivo y un procedimiento para el control del flujo de potencia en una línea de transmisión trifásica. De forma más precisa, la invención concierne a un dispositivo y procedimiento de control de potencia en los que un voltaje adicional se aplica en serie a la línea de transmisión, para cada una de sus fases. El voltaje adicional se genera en función de una parte controlable del voltaje entre las otras dos fases de la línea de transmisión. La invención se refiere también a un uso de un dispositivo de este tipo para el control de la distribución de la potencia transmitida entre unas líneas de transmisión paralelas y para la amortiguación de las oscilaciones en la potencia activa entre dos redes de suministro de energía que se interconectan por medio de una línea de transmisión.

15 **Antecedentes de la técnica**

Se entenderá que una línea de transmisión en este contexto es una línea de CA trifásica que interconecta dos redes de suministro de energía eléctrica y transmite una potencia activa entre las redes de suministro de energía.

Se conocen diferentes tipos de dispositivos para un control del flujo de potencia tanto estático como dinámico en una línea de transmisión de este tipo. El objeto del control puede ser una distribución estática de la potencia entre líneas de suministro de energía o redes de suministro de energía, así como una amortiguación de las oscilaciones de potencia en la línea de transmisión.

Un dispositivo conocido de este tipo es un así denominado transformador de desplazamiento de fase (*PST, Phase Shifting Transformer*). El dispositivo comprende, para cada una de las fases de la línea de transmisión, un transformador en serie, el devanado secundario del cual se conecta al conductor de fase, y un transformador de derivación, el devanado primario del cual se conecta entre los otros dos conductores de fase. El devanado secundario del transformador de derivación se dota de un conmutador de tomas en carga y su voltaje secundario, que es por lo tanto variable, se aplica al devanado primario del transformador en serie. El voltaje adicional que aparece a través del transformador en serie, y que es por lo tanto un voltaje en serie que se añade de forma vectorial al voltaje del conductor de fase, alcanza, mediante esta conexión, una posición de fase que está desplazada  $90^\circ$  en relación con el voltaje de fase del conductor de fase. Variando la amplitud del voltaje adicional por medio del conmutador de tomas en carga, se ejerce una influencia sobre el flujo de potencia en la línea de transmisión.

Un transformador de desplazamiento de fase de este tipo se describirá adicionalmente a continuación.

Como una alternativa al uso de conmutador de tomas en carga, el voltaje secundario del transformador de derivación puede aplicarse a un equipo de convertidor, adecuado para la finalidad, para el control electrónico de la amplitud del voltaje secundario, por ejemplo mediante un control del ángulo de fase.

El conmutador de tomas en carga constituye un componente mecánico que requiere un mantenimiento y está sometido a desgaste. Además, éste es relativamente lento, siendo el tiempo para un cambio de la amplitud del voltaje adicional de un orden de magnitud de segundos.

El control electrónico de la amplitud del voltaje adicional puede hacerse más rápido, si bien debido a su principio de funcionamiento, éste inyecta armónicos en la línea de transmisión.

Otro dispositivo conocido de este tipo es un así denominado controlador de flujo de potencia universal (*UPFC, Universal Power Flux Controller*). Un transformador trifásico se conecta en una conexión de derivación a la línea de transmisión y el voltaje secundario del transformador se aplica a un primer convertidor trifásico del tipo de convertidor de fuente de voltaje autoconmutado modulado por anchura de impulsos. Un segundo convertidor del mismo tipo se conecta, por medio de un enlace intermedio de voltaje de CC con un condensador, al primer convertidor y el segundo convertidor se conecta, a través de sus terminales de CA, a unos transformadores en serie que se conectan a la línea de transmisión. Tal como se conoce, el voltaje de salida del segundo convertidor permite que se controle el mismo tanto con respecto a la amplitud como al ángulo de fase, y puede por lo tanto usarse para un control rápido y continuo tanto de la potencia activa como de la reactiva.

La cantidad de potencia electrónica es, no obstante, relativamente costosa y complicada y este tipo de controlador es por lo tanto menos atractivo. Además, este tipo de convertidor exhibe una sensibilidad a las corrientes de cortocircuito y tiene tendencia a aplicar un armónico asociado con la frecuencia fundamental de la línea de transmisión, así como unos armónicos asociados con la frecuencia portadora de la modulación de anchura de impulsos.

El documento US 5 469 044 da a conocer un dispositivo de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1.

### Sumario de la invención

5 El objeto de la invención es la provisión de un dispositivo y un procedimiento del tipo que se describe en la introducción, que, en relación con la técnica anterior, constituyen una mejora con respecto a los inconvenientes que se mencionan anteriormente.

10 Este objeto se obtiene de acuerdo con la invención de acuerdo con las características en la parte caracterizadora de la reivindicación independiente 1 y de acuerdo con un procedimiento tal como se reivindica en la reivindicación independiente 11. En las reivindicaciones dependientes se describen realizaciones preferidas.

15 De acuerdo con la invención, este objeto se obtiene disponiendo en una primera fase de la línea de transmisión un transformador con su devanado secundario en una conexión en serie con la primera fase de la línea de transmisión y su devanado primario en conexión con a circuito cerrado que comprende unos medios de impedancia de reactancia variable, haciéndose que la reactancia de los cuales varíe de forma selectiva mediante un controlador que contiene un procesador. En un desarrollo más ventajoso de la invención, un primer extremo del devanado primario se conecta a tierra y un segundo extremo del devanado primario se conecta a una segunda fase de la línea de transmisión con un circuito en serie que contiene un elemento de impedancia reactiva para recibir un voltaje en función del segundo voltaje de línea de transmisión de fase.

20 En un desarrollo aún más ventajoso de la invención, un primer extremo del devanado primario se conecta a una segunda fase de la línea de transmisión con un primer circuito en serie que contiene un primer elemento de impedancia reactiva y un segundo extremo del devanado primario se conecta a una tercera fase de la línea de transmisión con un segundo circuito en serie que contiene un segundo elemento de impedancia reactiva para recibir un voltaje en función del segundo voltaje de línea de transmisión de fase. En una realización de este desarrollo de la invención, el primer y segundo elemento de impedancia reactiva comprende una reactancia fija. En una segunda realización de este desarrollo de la invención, los medios de impedancia de reactancia variable del circuito cerrado comprenden un primer elemento de impedancia de reactancia variable y un segundo elemento de impedancia de reactancia variable.

25 De acuerdo con una realización ventajosa de la invención, el objeto se obtiene acoplando, para cada una de las fases de la línea de transmisión, a la fase respectiva, un circuito en serie con un primer y un segundo terminal y un punto de conexión, comprendiendo el circuito en serie un primer elemento de impedancia reactiva que ventajosamente tiene una reactancia fija que se conecta entre el primer terminal y el punto de conexión, y un segundo elemento de impedancia reactiva con una reactancia controlable que se conecta entre el punto de conexión y el segundo terminal, mediante lo cual uno de dichos terminales se acopla a la fase respectiva de la línea de transmisión y el otro terminal se acopla a un terminal en cada uno de los otros dos circuitos en serie de tal modo que, para todas las fases, o bien el primer o bien el segundo terminal se acopla a la línea de transmisión, que el voltaje adicional se forma en función del voltaje entre los puntos de conexión en los otros dos circuitos en serie, y que el control del flujo de potencia se realiza variando la reactancia del segundo elemento de impedancia.

30 En un desarrollo ventajoso adicional de la invención, el segundo elemento de impedancia comprende un circuito en serie de un elemento de reactancia inductiva y uno de capacitiva que se dimensionan de tal modo uno en relación con el otro que puede hacerse que varíe la posición de fase del voltaje adicional para encontrarse tanto antes como después de la posición de fase para el voltaje de la línea de transmisión en la fase respectiva, de tal modo que puede ejercerse una influencia sobre el flujo de potencia activa en la línea de transmisión tanto en una dirección creciente como en una decreciente.

35 En otro desarrollo ventajoso adicional de la invención, el primer elemento de impedancia comprende una primera bobina de inductancia fija y el segundo elemento de impedancia comprende una bobina de inductancia de magnetización transversal con un núcleo magnético, un devanado principal para corriente alterna, y un devanado de control para corriente continua, haciéndose que la reactancia del segundo elemento de impedancia varíe controlando un flujo magnético asociado con el devanado principal mediante una magnetización perpendicular del flujo magnético en función de una corriente continua que se aplica al devanado de control.

40 En otro desarrollo ventajoso adicional más de la invención, el primer elemento de impedancia reactiva comprende una primera bobina de inductancia fija, y el segundo elemento de impedancia comprende un equipo de bobina de inductancia con un número de segundas bobinas de inductancia fijas mutuamente conectadas en serie, estando cada una de éstas conectada en paralelo a un dispositivo de cortocircuito controlable, haciéndose que la reactancia del segundo elemento de impedancia varíe activando y desactivando respectivamente los dispositivos de cortocircuito.

45 En todavía otro desarrollo ventajoso adicional de la invención, el segundo elemento de impedancia comprende un equipo de bobina de inductancia y de condensador con un número de condensadores fijos mutuamente conectados en serie, estando cada uno de éstos conectado en paralelo a un dispositivo de cortocircuito controlable en serie con

una bobina de inductancia, haciéndose que la reactancia del segundo elemento de impedancia varíe activando y desactivando respectivamente los dispositivos de cortocircuito.

5 Al disponer una unidad de reactancia inductiva en serie con una válvula en una unidad de reactancia capacitiva, puede potenciarse la unidad capacitiva, técnica mediante la cual puede hacerse que la reactancia varíe de forma continua dentro de un intervalo definido. Esta técnica se conoce bien a partir de los condensadores en serie controlados por tiristor (TCSC, *Thyristor Controlled Series Capacitors*) y usa la capacidad del condensador para aparecer más grande en ohmios.

10 En otra realización más de la invención y que puede aplicarse a cualquiera de las realizaciones anteriores, el dispositivo comprende una unidad de control que comprende un ordenador. Un programa informático cargado en el ordenador detecta el voltaje de cada fase de la línea de transmisión y controla los dispositivos de conmutación y la función de potenciación de cada circuito en serie.

15 Desarrollos adicionales aún más ventajosos de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción y de las reivindicaciones adjuntas.

Con un dispositivo de acuerdo con la invención, se consiguen, entre otras, las siguientes ventajas.

20 Las bobinas de inductancia de derivación ya presentes en la línea de transmisión pueden utilizarse como un componente en el dispositivo.

No se requieren partes móviles de forma mecánica, ni ningún equipo de convertidor con un control continuo.

25 El dispositivo no aplica ningún armónico a la línea de transmisión.

El dispositivo puede también utilizarse como una bobina de inductancia de derivación para absorber potencia reactiva cuando el control del flujo de potencia es de un interés secundario.

30 **Breve descripción de los dibujos**

La invención se describirá en mayor detalle mediante la descripción de las realizaciones con referencia a los dibujos adjuntos, en los que

35 la figura 1A es un diagrama de conexiones de una fase de un transformador de desplazamiento de fase de acuerdo con la técnica anterior,

la figura 1B es un diagrama vectorial para los voltajes de un transformador de desplazamiento de fase de acuerdo con la figura 1A,

40 la figura 2 es un diagrama de conexiones de una fase de una realización del dispositivo de acuerdo con la invención,

45 la figura 3A es un diagrama de conexiones de tres fases de una realización de un dispositivo de acuerdo con la invención,

la figura 3B es un diagrama vectorial para los voltajes de una realización de la invención de acuerdo con la figura 3A,

50 la figura 4A es un diagrama de conexiones de tres fases de una realización adicional de un dispositivo de acuerdo con la invención,

la figura 4B es un diagrama vectorial de tres vectores para los voltajes de una realización de la invención de acuerdo con la figura 4A,

55 la figura 5 es un diagrama de conexiones simplificado de una realización de la invención para explicar un uso de un dispositivo de acuerdo con la invención,

60 la figura 6 es un diagrama de conexiones simplificado de otra realización más de un dispositivo de acuerdo con la invención que comprende una pluralidad de unidades de impedancia de reactancia capacitiva e inductiva,

la figura 7 es un diagrama de potencia activa P frente a potencia reactiva Q que muestra el área de características máximas asignadas dentro de las cuales no se toman acciones de control,

65 la figura 8 es un diagrama de potencia activa P frente a potencia reactiva Q que muestra un límite de potencia

máximo y uno mínimo fuera de los cuales el dispositivo de control se encuentra en funcionamiento, y la figura 9 es un diagrama de la diferencia en ángulos de fase frente a potencia P que muestra una diferencia en ángulos de fase máxima y una mínima fuera de la cual el dispositivo de control se encuentra en funcionamiento.

### Descripción de las realizaciones preferidas

La siguiente descripción se refiere al procedimiento, al dispositivo así como al uso del dispositivo.

A través de la totalidad de la descripción, los mismos números de referencia se usan en las diversas figuras para aquellas partes del dispositivo, y para cantidades que tienen lugar en el dispositivo, que son del mismo tipo.

La figura 1A muestra una primera red de suministro de energía NW1, que se conecta a una segunda red de suministro de energía NW2 a través de una línea de transmisión trifásica con los conductores de fase La, Lb y Lc. Las tres fases se designan a, b y c.

Un transformador de desplazamiento de fase (PST) 1 de la técnica anterior se conecta a la línea de transmisión entre dos nodos N1 y N2. El voltaje de la línea de transmisión en el nodo N1 se designa  $\overline{V1}$  en forma vectorial, los componentes del vector consisten en los voltajes de fase Va, Vb y Vc del nodo. De forma análoga, el voltaje en el nodo 2 se designa  $\overline{V2}$ .

Por motivos de simplicidad, la figura sólo muestra aquella parte del transformador que pertenece a la fase c. El transformador de desplazamiento de fase comprende un transformador de derivación 11, el devanado primario 111 del cual se conecta entre los conductores de fase La y Lb en la línea de transmisión. El devanado secundario 112 del transformador de derivación se dota de un conmutador de tomas en carga 113, que sólo se indica de forma aproximada en la figura. Un transformador en serie 12c tiene un devanado secundario 122c que se conecta al conductor de fase Lc y su devanado primario 121c se conecta al devanado secundario del transformador de derivación entre un terminal en el conmutador de tomas en carga del transformador de derivación y un terminal de extremo en el devanado secundario. El voltaje adicional VSc que tiene lugar a través del transformador en serie alcanza, mediante esta conexión, una posición de fase que está desplazada 90° en relación con el voltaje de fase Vc. La posición del conmutador de tomas en carga puede cambiarse en función de una señal de control (que no se muestra en la figura), y el voltaje que se aplica al devanado primario del transformador en serie, y por lo tanto la amplitud para el voltaje adicional VSc, dependen por lo tanto de una parte controlable del voltaje entre las fases a y b. A pesar de que no se muestra en la figura, ha de entenderse, por supuesto, que un transformador en serie del mismo tipo que el transformador en serie 12c se conecta a cada una de las otras dos fases de la línea de transmisión y que un voltaje se aplica a las mismas de una forma análoga.

La figura 1B muestra en forma vectorial la relación entre los voltajes de nodo  $\overline{V1}$ ,  $\overline{V2}$  y  $\overline{VS}$ , en la que por lo tanto el voltaje  $\overline{VS}$  tiene unos componentes VSa, VSb y VSc, en la que VSa y VSb representan por lo tanto unos voltajes adicionales que tienen lugar a través de los transformadores en serie (que no se muestran). El transformador de desplazamiento de fase por lo tanto consigue un desplazamiento de fase, que se designa  $\Phi$  en la figura 1B, entre los voltajes en los nodos 1 y 2. El flujo de la potencia activa P entre los nodos se determina, tal como se conoce, además de mediante los voltajes de nodo y la impedancia de la línea de transmisión entre los nodos, mediante el factor  $\sin \Phi$  y puede por lo tanto ejercerse una influencia sobre éste cambiando la posición del conmutador de tomas en carga.

La figura 2 muestra una realización de un dispositivo de acuerdo con la invención. De la misma forma que para el dispositivo conocido de acuerdo con la figura 1A, con fines de simplicidad, la figura 2 sólo muestra aquella parte del dispositivo que pertenece a la fase c. En comparación con el dispositivo conocido que se describe con referencia a la figura 1A, el transformador de derivación con su conmutador de tomas en carga se han sustituido por otros componentes, que se describirán en mayor detalle a continuación.

Un circuito en serie formado a partir de unos elementos de impedancia reactiva comprende un primer elemento de impedancia reactiva con una reactancia fija en la forma de una bobina de inductancia fija 21a y un segundo elemento de impedancia reactiva con una reactancia variable en la forma de una bobina de inductancia controlable 22a y un condensador 23a que se conecta en serie. El primer elemento de impedancia se conecta entre un primer terminal T1 en el circuito en serie y un punto de conexión Ja que pertenece al circuito en serie. El segundo elemento de impedancia se conecta entre el punto de conexión Ja y un segundo terminal T2a en el circuito en serie. El primer terminal T1a se acopla al conductor de fase La de la línea de transmisión.

Un circuito en serie del mismo tipo que el que se describe anteriormente comprende una bobina de inductancia fija 21b, una bobina de inductancia controlable 22b, y un condensador 23b. Este circuito en serie tiene un primer terminal T1b, un segundo terminal T2b, y un punto de conexión común Jb. Las bobinas de inductancia 21b, 22b, y el condensador 23b se interconectan y se conectan a los terminales y al punto de conexión de una forma análoga a la

que se describe anteriormente. El primer terminal T1b del circuito en serie se acopla al conductor de fase Lb y los dos terminales T2a y T2b están acoplados mutuamente entre sí.

5 Como en el dispositivo que se describe con referencia a la figura 1A, el transformador en serie 12c se conecta con su devanado secundario 122c al conductor de fase Lc, mientras que su devanado primario 121c se acopla entre los puntos de conexión Ja y Jb.

10 Se observa que un dispositivo del tipo anterior consigue un desplazamiento de fase entre los voltajes de nodo  $\overline{V1}$  y  $\overline{V2}$  de una forma similar a la que se describe con referencia a la figura 1A. Por lo tanto, el flujo de la potencia activa P entre los nodos también se determina, en este dispositivo, además de mediante los voltajes de nodo y la impedancia de la línea de transmisión entre los nodos, mediante el factor  $\sin \Phi$ , que a su vez, como se observa fácilmente, depende del voltaje entre los puntos de conexión Ja y Jb.

15 Este voltaje, a su vez, obviamente depende de las relaciones entre las reactancias de los elementos de impedancia primero y segundo, es decir, se ejerce una influencia sobre el flujo de potencia activa entre los nodos N1 y N2 cuando la reactancia para el segundo elemento de impedancia se varía. La influencia relativa a partir del segundo elemento de impedancia aumenta al aumentar la potencia transmitida en la línea de transmisión.

20 La bobina de inductancia controlable comprendida en el segundo elemento de impedancia consigue un componente de voltaje VSc con una posición de fase en relación con la posición de fase del voltaje de fase de la línea de transmisión de tal modo que se ejerce una influencia sobre el flujo de potencia en la línea de transmisión desde el nodo N1 hasta el nodo N2 en una dirección decreciente. El condensador comprendido en el segundo elemento de impedancia consigue un componente de voltaje VSc con una posición de fase en relación con la posición de fase para el voltaje de fase de la línea de transmisión de tal modo que se ejerce una influencia sobre el flujo de potencia en la línea de transmisión desde el nodo N1 hasta el nodo N2 en una dirección decreciente.

25 Mediante un dimensionamiento adecuado de las reactancias para la bobina de inductancia controlable y el condensador la una en relación con el otro, puede darse lugar a que la posición de fase para el voltaje adicional VSc varíe para estar tanto antes como después de la posición de fase para el voltaje de fase V1c de la línea de transmisión mediante la variación de la reactancia para la bobina de inductancia controlable. De esta forma, por lo tanto, se obtiene una controlabilidad en ambas direcciones para el flujo de potencia activa en la línea de transmisión de tal modo que puede ejercerse una influencia sobre el flujo de potencia activa en la línea de transmisión tanto en una dirección creciente como en una decreciente.

35 La bobina de inductancia controlable comprendida en el segundo elemento de impedancia puede, en una realización ventajosa de la invención, estar constituida por una bobina de inductancia controlable por medio de la así denominada magnetización transversal. Una bobina de inductancia de este tipo tiene un núcleo magnético con un devanado principal para corriente alterna y se dota, además de lo anterior, de un devanado de control para corriente continua. Variando una corriente continua que se suministra al devanado de control, se ejerce una influencia sobre el flujo magnético asociado con el devanado principal mediante una magnetización perpendicular del núcleo magnético. Una bobina de inductancia de magnetización transversal de este tipo se conoce, por ejemplo, a partir de la patente de los Estados Unidos con n.º 4.393.157.

45 La figura 3A muestra la realización de acuerdo con la figura 2 en la que se ilustra la totalidad de las tres fases. Un transformador en serie 12a tiene un devanado secundario que se conecta al conductor de fase La, y un transformador en serie 12b tiene un devanado secundario que se conecta al conductor de fase Lb. Un voltaje adicional VSa aparece a través del transformador en serie 12a, y un voltaje adicional VSb aparece a través del transformador en serie 12b.

50 Un circuito en serie del mismo tipo que los que se describen con referencia a la figura 2 comprende una bobina de inductancia fija 21c, una bobina de inductancia controlable 22c, y un condensador 23c. Este circuito en serie tiene un primer terminal T1c, un segundo terminal T2c, y un punto de conexión común Jc. Las bobinas de inductancia 21c y 22c y el condensador 23c se conectan entre sí y a los terminales y el punto de conexión de una forma análoga a la que se describe anteriormente. El primer terminal T1c del circuito en serie se acopla al conductor de fase Lc y los terminales T2a, T2b y T2c están acoplados mutuamente entre sí y se muestran en la figura como acoplados al potencial de tierra.

55 Los transformadores en serie 12a y 12b se conectan con sus devanados secundarios a los conductores de fase respectivos La y Lb. El devanado primario del transformador en serie 12a se acopla entre los puntos de conexión Jb y Jc, mientras que el devanado primario del transformador en serie 12b se acopla entre los puntos de conexión Ja y Jc.

65 La figura 3B muestra en forma vectorial la relación entre los voltajes de nodo  $\overline{V1}$ ,  $\overline{V2}$  y el voltaje adicional  $\overline{VS}$ , en la que por lo tanto el voltaje  $\overline{V1}$  tiene los componentes V1a, V1b y V1c, el voltaje  $\overline{V2}$  tiene los componentes V2a, V2b y V2c.  $\overline{VS}$  tiene los componentes VSa, VSb y VSc.

La figura 4A muestra una realización adicional de un dispositivo de acuerdo con la invención. Al contrario que en la realización que se describe en conexión con la figura 3A, los respectivos primeros terminales T1a, T1b y T1c de los circuitos en serie, en la presente realización, se conectan a las tomas centrales 123a, 123b y 123c en los devanados secundarios del respectivo transformador en serie. Además, para la fase a, el segundo elemento de impedancia 22a comprende un equipo de bobina de inductancia con un número de bobinas de inductancia fijas mutuamente conectadas en serie, que por razones de espacio sólo se muestran como dos bobinas de inductancia 221a y 223a en la figura. Cada una de las bobinas de inductancia fijas 221a y 223a puede puentearse por medio de un dispositivo de cortocircuito controlable, que se ilustra en la figura como un conmutador de tiristor 222a y 224a, respectivamente, sobre el que puede ejercerse una influencia mediante una señal de control (que no se muestra). Los respectivos segundos elementos de impedancia para las fases b y c se designan de una forma análoga y comprenden, para la fase b, las bobinas de inductancia fijas 221b y 223b (omitiéndose las designaciones en la figura para hacer ésta más fácilmente legible) con unos conmutadores de tiristor 222b y 224, respectivamente, y, para la fase c, las bobinas de inductancia fijas 221c y 223c con unos conmutadores de tiristor 222c y 224c, respectivamente.

Por razones de espacio, sólo dos bobinas de inductancia fijas que se conectan en serie se muestran por fase en la figura, si bien el número puede, por supuesto, aumentarse ventajosamente para aumentar las posibilidades de control de la reactancia del segundo elemento de impedancia. Preferiblemente, los valores de inductancia para las bobinas de inductancia 221a, 223a,... se eligen de acuerdo con una escala geométrica para aumentar adicionalmente las posibilidades de variación de la reactancia del segundo elemento de impedancia.

La figura 4B muestra en forma vectorial la relación entre los voltajes de nodo  $\overline{V1}$ ,  $\overline{V2}$  y el voltaje adicional  $\overline{VS}$  en la presente realización de la invención. Conectando los respectivos primeros terminales T1a, T1b y T1c de los circuitos en serie a las tomas centrales 123a, 123b y 123c en los devanados secundarios de los transformadores en serie, la ventaja se obtiene, al contrario que en la realización que se describe con referencia a la figura 3, en que el voltaje de nodo  $\overline{V2}$  tendrán la misma amplitud que el voltaje de nodo  $\overline{V1}$ .

La figura 5 muestra un uso de un dispositivo de acuerdo con la invención. Dos líneas de transmisión trifásica L1 y L2 conectan los nodos N1 y N2. al nodo N1 se suministra, a través de un transformador T, una potencia a partir de un generador G. al nodo N2 se conecta una carga C. De la potencia que se suministra al nodo N1, una parte P1 se distribuye en la línea de transmisión L1 y una parte P2 se distribuye en la línea de transmisión L2. El voltaje nominal de las líneas de transmisión es de 400 kV.

Un dispositivo 2 de acuerdo con la invención se acopla a la línea de transmisión L2. El dispositivo se ilustra en un diagrama unifilar simplificado, si bien ha de entenderse que éste se ha diseñado, por ejemplo, de la forma que se describe con referencia a la figura 3A. El primer elemento de impedancia reactiva con una reactancia fija comprende, por lo tanto, una bobina de inductancia 21, y el segundo elemento de impedancia reactiva comprende una bobina de inductancia 22 con una reactancia variable y, en una conexión en serie con la misma, un condensador fijo 23.

En la realización de la invención que se muestra la figura 5, el dispositivo también comprende una unidad de control 30 que contiene unos medios informáticos 31 y unos medios de memoria 32 para almacenar datos y un programa informático. La unidad de control también comprende unos medios de sensor 33 para recibir unos datos de control y una pluralidad de medios de actuador 34, 35 para controlar la reactancia del elemento de impedancia reactiva variable de las diferentes fases.

En una realización práctica, la carga C consume una potencia activa de 600 MW y una potencia reactiva de 150 MVar, es decir,  $P1 + P2 = 600\text{MW}$ .

El transformador en serie 12 tiene una potencia nominal de 135 MVA, una relación de transformación de 60/60 kV, y una reactancia en cortocircuito de un 10 %.

La bobina de inductancia fija 21 tiene una potencia nominal de 120 MVar a 400 kV, que se corresponde con una reactancia de 1.333 ohmios. La inductancia 22 tiene una reactancia que es variable en el intervalo de 30 a 150 ohmios mientras que el condensador 23 tiene una reactancia fija de -60 ohmios. La reactancia del segundo elemento de impedancia reactiva puede en el presente caso, por lo tanto, variarse desde - 30 ohmios hasta + 90 ohmios.

Estudios han mostrado que la potencia P2 puede controlarse desde 150 MW hasta 450 MW cuando se varía la reactancia del segundo elemento de impedancia desde - 30 ohm hasta + 90 ohmios. De este modo, el voltaje a través del segundo elemento de impedancia reactiva varía dentro del intervalo de 46 a 56 kV mientras que la corriente a través del elemento de impedancia varía dentro del intervalo de 1,14 a 0,25 kA.

En la realización de la invención de acuerdo con la figura 6 se muestra un desarrollo adicional del segundo elemento de impedancia reactiva. En el diagrama de conexiones simplificado que se muestra se dispone una pluralidad de circuitos de impedancia reactiva 22, 23, conteniendo cada uno una rama que comprende un elemento de válvula 27. En un circuito de impedancia reactiva 22 que comprende un elemento inductivo el cierre de la válvula dará lugar a un estado de cortocircuito. En un circuito de impedancia reactiva 23 que comprende un elemento capacitivo una válvula

abierta hará la impedancia reactiva capacitiva y una válvula cerrada hará la impedancia reactiva capacitiva e inductiva.

5 Tanto las unidades de reactancia capacitiva como las de inductiva son en la realización en la figura 6 de tipo conmutado por tiristor. Se indican dos unidades capacitivas y dos unidades inductivas. El número real puede no obstante variar de una instalación a otra. Por consiguiente, puede haber cualquier número de unidades de reactancia inductiva y/o unidades de reactancia capacitiva en el caso general.

10 Tal como ya se ha indicado, las magnitudes de las unidades de reactancia capacitiva 23 e inductiva 22, en ohmios, se disponen preferiblemente de acuerdo con una secuencia binaria de tal modo que puede obtenerse un intervalo de control de alta resolución con relativamente pocas unidades.

15 La circunstancia de que hay una unidad de reactancia inductiva 23L en serie con la válvula en la unidad de reactancia capacitiva 23 hace posible "potenciar" la unidad capacitiva. El concepto de potenciación de un condensador es una técnica bien conocida, por ejemplo a partir del contexto de los condensadores en serie controlados por tiristor (TCSC), que proporciona un medio para hacer que el condensador aparezca más grande en ohmios (componente de la frecuencia fundamental) de lo que es realmente. Tener la capacidad de potenciar la unidad de reactancia capacitiva es por lo tanto ventajoso.

20 Combinando unas unidades de reactancia de magnitud binaria y la capacidad de potenciar una unidades de reactancia capacitiva 1 pu hace posible proporcionar una resolución de control virtualmente infinita. La tabla 1 ilustra un ejemplo con 4 unidades de reactancia inductiva de magnitud binaria (XCR1 - XCR4) y dos unidades de reactancia capacitiva de magnitud binaria (XCR5, XCR6), en las que hay una posibilidad de potenciar la última unidad (XCR6) 1 pu, en el presente caso 50 % de potenciación, de tal modo que puede asumirse cualquier reactancia entre -2 y -3 pu. Haciendo esto, es posible asumir cualquier valor dentro del intervalo de control (de -4 pu a 13 pu).

XCR1 (pu) 1	XCR2 (pu) 2	XCR3 (pu) 4	XCR4 (pu) 8	XCR5 (pu) -1	XCR6 (pu) -2	potenciación -3	Sin potenciación Xtot (pu)	50 % de potenciación (pu)	% de Xtot
				-1	-2	-3	-3	-4	
1					-2	-3	-2	-3	
	2				-2	-3	-1	-2	
1	2				-2	-3	0	-1	
		4			-2	-3	1	0	
1		4			-2	-3	2	1	
	2	4			-2	-3	3	2	
1	2	4			-2	-3	4	3	
			8		-2	-3	5	4	
1			8		-2	-3	6	5	
	2		8		-2	-3	7	6	
1	2		8		-2	-3	8	7	
		4	8		-2	-3	9	8	
1		4	8		-2	-3	10	9	
	2	4	8		-2	-3	11	10	
1	2	4	8		-2	-3	12	11	
					-2	-3	13	12	

30 Otra ventaja al tener la capacidad de potenciar las unidades de reactancia capacitiva se da en relación con la mitigación de la interacción de torsión sub-síncrona (SSTI, *Sub-Synchronous Torsional Interaction*) concebible, cuando se hace funcionar el dispositivo de acuerdo con la invención con una reactancia capacitiva neta, que comprende la suma de las unidades de reactancia capacitiva 23 e inductiva 22 que se conectan en serie. Este modo de funcionamiento de las unidades de reactancia capacitiva se basa en unos principios bien conocidos que se aplican para la TCSC. Utilizando la rama de tiristor controlada en paralelo con cada unidad de reactancia capacitiva 23 para generar unas inversiones de voltaje síncronas, incluyendo impulsos de corriente en los pasos por cero del



voltaje, las unidades de reactancia capacitiva mostrarán una reactancia inductiva aparente en el intervalo de frecuencias sub-síncronas. Por consiguiente, se evitará la contribución por parte del dispositivo a la resonancia sub-síncrona y SSTI.

5 La reactancia fija 21 puede ser una inductancia o un condensador. Un interruptor automático 24 se prevé en el circuito en serie entre el primer terminal y el primer elemento de reactancia de impedancia. El interruptor automático proporciona unos medios para un modo de funcionamiento en el que el elemento de impedancia de reactancia fija 21 está desconectado.

10 Perturbaciones en el sistema de potencia, externas al dispositivo de acuerdo con la invención, pueden imponer unas grandes corrientes a través del transformador en serie 12. Estas grandes corrientes pueden a su vez imponer unos grandes voltajes a través de por ejemplo las unidades de reactancia controlable 22, 23 y el transformador en serie 12. Con el fin de proteger el dispositivo frente a daños debidos a estos grandes voltajes, un descargador de sobretensiones 26 se instala en cada fase para una limitación instantánea del voltaje. Con el fin de limitar la energía absorbida por los descargadores de sobretensiones, la unidad de control de tiristor activa todos los tiristores de tal modo que las unidades de reactancia controlable se puentean a través de las válvulas de tiristor y los voltajes se reducen de este modo a un nivel seguro. Si la corriente a través de las válvulas se hace demasiado grande, de tal modo que ésta tienda con el tiempo a sobrecalentar las válvulas, existe la opción de cerrar un interruptor automático de puenteo mecánico 25 que normalmente está abierto. Con el fin de proteger cada unidad de reactancia individual frente a altos voltajes perjudiciales, la unidad de control de tiristor recurrirá también a un puenteo de tiristor que se basa en la magnitud de la corriente al crecer por encima de un umbral dado.

25 El control de la reactancia del segundo elemento de impedancia se produce de cierta forma conocida para el experto en la técnica suministrando una desviación entre un valor detectado de la potencia activa en la línea de transmisión y un valor de referencia de la misma para un controlador, mediante lo cual un valor de referencia para una reactancia deseada se forma en función de una señal de salida a partir del controlador. En el caso de que el segundo elemento de impedancia consista en una bobina de inductancia de magnetización transversal, este valor de referencia puede estar en la forma de una corriente continua adaptada adecuada que se suministra al devanado de control de la bobina de inductancia. En el caso de que el segundo elemento de impedancia comprenda unas bobinas de inductancia fijas dotadas de unos dispositivos de cortocircuito, tal como se describe con referencia a la figura 4A, estos dispositivos de cortocircuito pueden activarse, por ejemplo eligiendo en una tabla de la relación entre la reactancia y los dispositivo(s) de cortocircuito activados.

35 En la figura 7, se ilustra otro objetivo de control ventajoso del dispositivo de acuerdo con la invención. A condición de que el flujo de potencia aparente detectado o la corriente detectada en la línea en consideración se encuentre dentro del límite, el dispositivo de acuerdo con la invención es neutral. Si el límite  $S_{max}$  se infringe, el dispositivo se activa y se controla con el fin de traer éste dentro del límite.

40 En la figura 8, se ilustra otro objetivo de control ventajoso del dispositivo de acuerdo con la invención. A condición de que el flujo de potencia activa detectado en la línea en consideración se encuentre dentro de los límites, el dispositivo de acuerdo con la invención es neutral. Si uno de los límites  $P_{max}$  o  $P_{min}$  se infringe, el dispositivo se activa y se controla con el fin de traer éste dentro de los límites.

45 En la figura 9 se ilustra otro objetivo de control ventajoso del dispositivo de acuerdo con la invención. En lugar de usar el flujo de potencia activa detectado como una indicación de cómo de severa se carga la trayectoria de transmisión (como en la figura 8), se usa la difusión de ángulo detectado o estimado. Esto puede ser ventajoso para interfaces de transmisión que tienen límites inducidos de estabilidad. A condición de que la difusión de ángulo a lo largo de la trayectoria de transmisión en consideración se encuentre dentro de los límites, el dispositivo de acuerdo con la invención es neutral. Si uno de los límites  $\delta_{12}^{max}$  o  $\delta_{12}^{min}$  se infringe, el dispositivo se activa y se controla con el fin de traer éste dentro de los límites.

50 Los límites del pasillo de transmisión debidos a problemas de estabilidad, voltaje o ángulo, se expresan normalmente en términos de máxima transferencia-P admisible. El límite- P refleja que la red de transmisión está sumamente cargada. Otra medida de la carga, más apropiada en esta situación, es el ángulo de difusión.

55 Al amortiguar las oscilaciones de potencia, una señal que representa las oscilaciones en la potencia activa en la línea de transmisión se forma de alguna forma conocida para el experto en la técnica, y esta señal, después de un procesamiento de señal adecuado, se suma a la señal de salida a partir del controlador que se menciona anteriormente.

60 La invención no se limita a las realizaciones que se muestran, sino que, por supuesto, el experto en la técnica puede modificar ésta en una pluralidad de formas dentro del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones. Por lo tanto, por supuesto, la realización que se describe con referencia a la figura 4A puede estar equipada con condensadores de una forma que se corresponde con los condensadores 23a, 23b y 23c en conexión con la realización que se describe con referencia a la figura 3A.

65

Los condensadores pueden también dividirse individualmente en un número de unidades conectadas en serie, en las que cada unidad se equipa con un dispositivo de cortocircuito controlable de un tipo similar al que se describe con referencia a la figura 4A

5 Tal como se menciona anteriormente, en la realización que se describe con referencia a la figura 4A, el segundo elemento de impedancia 22a, 22b y 22c, respectivamente, puede preferiblemente hacerse con un número de bobinas de inductancia fijas mutuamente conectadas en serie más grande que el que se muestra en la figura 4A.

10 La reactancia fija del primer elemento de impedancia puede consistir ventajosamente en una bobina de inductancia de derivación presente en la línea de transmisión.

REIVINDICACIONES

1. Un dispositivo (2) para el control del flujo de potencia en una línea de transmisión de CA trifásica (L2, La, Lb, Lc), que comprende para cada una de sus fases (a, b, c) un transformador (12a, 12b, 12c) con un devanado primario (121c) y un devanado secundario (122c), siendo el objetivo del devanado secundario su conexión en serie en la fase respectiva de la línea de transmisión, y siendo el objetivo del devanado primario suministrarse un voltaje que depende de una parte controlable del voltaje entre las otras dos fases de la línea de transmisión, **caracterizado por que** el dispositivo comprende, para cada una de las fases de la línea de transmisión, un circuito en serie con un primer terminal (T1a, T1b, T1c) y un segundo terminal (T2a, T2b, T2c) y un punto de conexión (Ja, Jb, Jc), comprendiendo el circuito en serie un primer elemento de impedancia reactiva (21a, 21b, 21c) con una reactancia fija que se conecta entre el primer terminal y el punto de conexión, y un segundo elemento de impedancia reactiva (22a, 22b, 22c, 23a, 23b, 23c) con una reactancia variable que se conecta entre el punto de conexión y el segundo terminal, en el que uno de dichos terminales se acopla a la fase respectiva en la línea de transmisión y el otro de los terminales se acopla a un terminal en cada uno de los otros dos circuitos en serie, de tal modo que, para todas las fases, o bien el primer o bien el segundo terminal se acopla a la línea de transmisión, y el devanado primario se acopla entre los puntos de conexión en los otros dos circuitos en serie.
2. Un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado por que** el segundo elemento de impedancia comprende un circuito en serie de un elemento de reactancia inductiva (22a, 22b, 22c) y uno de capacitiva (23a, 23b, 23c).
3. Un dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado por que** el primer elemento de impedancia comprende una primera bobina de inductancia fija (21a, 21b, 21c), y **por que** el segundo elemento de impedancia comprende una bobina de inductancia de magnetización transversal (22a, 22b, 22c) con un núcleo magnético, un devanado principal para corriente alterna, y un devanado de control para corriente continua, el devanado de control para el control de un flujo magnético asociado con el devanado principal mediante una magnetización perpendicular del núcleo magnético.
4. Un dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, **caracterizado por que** el primer elemento de impedancia comprende una primera bobina de inductancia fija (21a, 21b, 21c), y **por que** el segundo elemento de impedancia comprende un equipo de bobina de inductancia con una pluralidad de segundas bobinas de inductancia fijas mutuamente conectadas en serie (221a, 221b, 221c, 223a, 223b, 223c), estando cada una de éstas conectada en paralelo con un dispositivo de cortocircuito controlable (222a, 222b, 222c, 224a, 224b, 224c).
5. Un dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el segundo elemento de impedancia comprende un equipo de bobina de inductancia y de condensador con una pluralidad de condensadores fijos mutuamente conectados en serie (23), estando cada uno de éstos conectado en paralelo con un dispositivo de cortocircuito controlable (222a, 222b, 222c, 224a, 224b, 224c) en serie con una bobina de inductancia fija (23L).
6. Un dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la línea de transmisión tiene al menos un conductor (La, Lb, Lc) por fase, **caracterizado por que** aquellos de los terminales de los circuitos en serie que están acoplados a la fase respectiva de la línea de transmisión se conectan a dicho(s) conductor(es) en la línea de transmisión.
7. Un dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los devanados secundarios de los transformadores se dotan de unas tomas centrales (123a, 123b, 123c), **caracterizado por que** aquellos de los terminales de los circuitos en serie que están acoplados a la fase respectiva de la línea de transmisión se conectan a dichas tomas centrales.
8. Un dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** el dispositivo comprende una unidad de control (30) para controlar el segundo elemento reactivo, comprendiendo la unidad de control unos medios de detección (33) para recibir unos datos de control, unos medios informáticos (31) incluyendo un programa informático para evaluar los datos de control y llevar a cabo el control, unos medios de memoria (32) para almacenar los datos, y unos medios de actuador (34, 35) para controlar activamente el segundo elemento de impedancia reactiva.
9. Uso de un dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, para el control de la distribución de la potencia transmitida entre unas líneas de transmisión paralelas (L1, L2) acoplando el dispositivo en una (L1) de las líneas de transmisión.
10. Uso de un dispositivo de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6 para la amortiguación de las oscilaciones en la potencia activa entre dos redes de suministro de energía que se interconectan por medio de una línea de transmisión (L2) acoplando el dispositivo a la línea de transmisión.
11. Un procedimiento para el control del flujo de potencia en una línea de transmisión trifásica (L2, La, Lb, Lc), en el

- que se suministra en serie a dicha línea de transmisión, para cada una de sus fases (a, b, c), un voltaje adicional (VSa, VSb, VSc), estando dicho voltaje adicional generado en función de una parte controlable del voltaje entre las otras dos fases de la línea de transmisión, **caracterizado por**,
- 5 proporcionar para cada una de las fases de la línea de transmisión, un circuito en serie con un primer (T1a, T1b, T1c) y un segundo (T2a, T2b, T2c) terminal y un punto de conexión (Ja, Jb, Jc), comprendiendo el circuito en serie un primer elemento de impedancia reactiva (21a, 21b, 21c) con una reactancia fija que se conecta entre el primer terminal y el punto de conexión, y un segundo elemento de impedancia reactiva (22a, 22b, 22c, 23a, 23b, 23c) con una reactancia controlable que se conecta entre el punto de conexión y el segundo terminal,
- 10 conectar uno de dichos terminales se acopla a la fase respectiva de la línea de transmisión y el otro terminal a un terminal en cada uno de los otros dos circuitos en serie de tal modo que, para todas las fases, o bien el primer o bien el segundo terminal se acopla a la línea de transmisión,
- formar, para la fase respectiva, un voltaje adicional en función del voltaje entre los puntos de conexión en los circuitos en serie que están acoplados a las otras dos fases, y
- 15 controlar el voltaje adicional variando de forma selectiva las reactancias de los segundos elementos de impedancia (22a, 22b, 22c, 23a, 23b, 23c).
12. Un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado por** proporcionar el segundo elemento de impedancia para comprender un circuito en serie de un elemento de reactancia inductiva (22a, 22b, 22c) y uno de capacitiva (23a, 23b, 23c), y dimensionar cada uno de los elementos inductivos y capacitivos en relación con los otros de tal modo que la posición de fase para el voltaje adicional se varía de forma selectiva para encontrarse tanto antes como después de la posición de fase para el voltaje de la línea de transmisión en la fase respectiva de tal modo que puede ejercerse una influencia sobre el flujo de potencia activa en la línea de transmisión tanto en una dirección creciente como en una decreciente.
- 20 13. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 12, **caracterizado por** proporcionar el primer elemento de impedancia para comprender una primera bobina de inductancia fija (21a, 21b, 21c), y el segundo elemento de impedancia para comprender una bobina de inductancia de magnetización transversal (22a, 22b, 22c) con un núcleo magnético, un devanado principal para corriente alterna, y un devanado de control para corriente continua, y variar de forma selectiva la reactancia del segundo elemento de impedancia controlando un flujo magnético asociado con el devanado principal mediante una magnetización perpendicular del núcleo magnético en función de una corriente continua que se suministra al devanado de control.
- 25 14. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 12, **caracterizado por** proporcionar el segundo elemento de impedancia para comprender un equipo de bobina de inductancia con una pluralidad de segundas bobinas de inductancia fijas mutuamente conectadas en serie (221a, 221b, 221c, 223a, 223b, 223c), conectar cada una de éstas en paralelo con un dispositivo de cortocircuito controlable (222a, 222b, 222c, 224a, 224b, 224c), y variar de forma selectiva la reactancia del segundo elemento de impedancia activando y desactivando respectivamente los dispositivos de cortocircuito.
- 30 15. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 12, **caracterizado por** conectar aquellos de los terminales de los circuitos en serie que están acoplados a la fase respectiva en la línea de transmisión a los conductores (La, Lb, Lc) en la línea de transmisión.
- 35 16. Un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 12, **caracterizado por** dotar al devanado secundario de cada transformador de una toma central (123a, 123b, 123c), y conectar los terminales de los circuitos en serie de la fase respectiva en la línea de transmisión a dichas tomas centrales.
- 40 17. Producto de programa informático almacenado en un medio utilizable por ordenador que comprende unos medios programa legible por ordenador para dar lugar a que un ordenador controle y ejecute el procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 11 a 16.
- 45 18. Producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 17, que se prevé al menos en parte a lo largo de una red, tal como Internet.
- 50 19. Medio legible por ordenador, **caracterizado por que** éste contiene un producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 17.
- 55

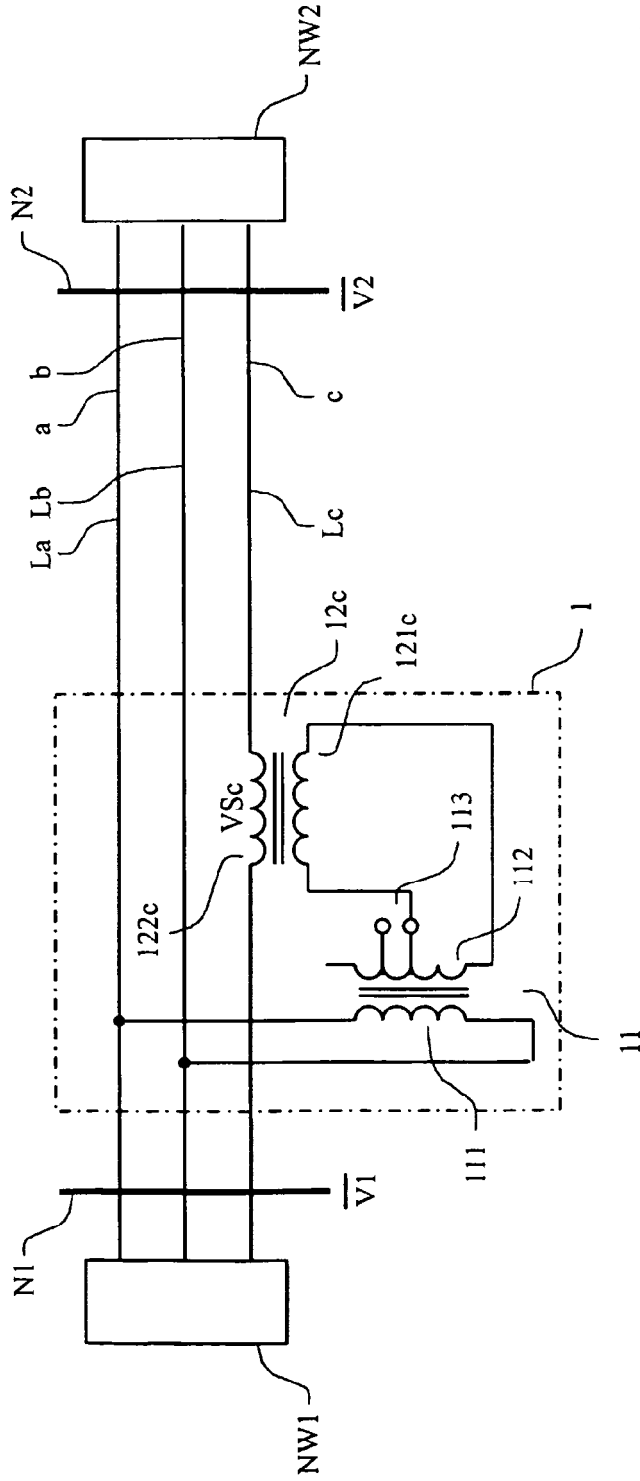


Fig 1A

Fig 1B

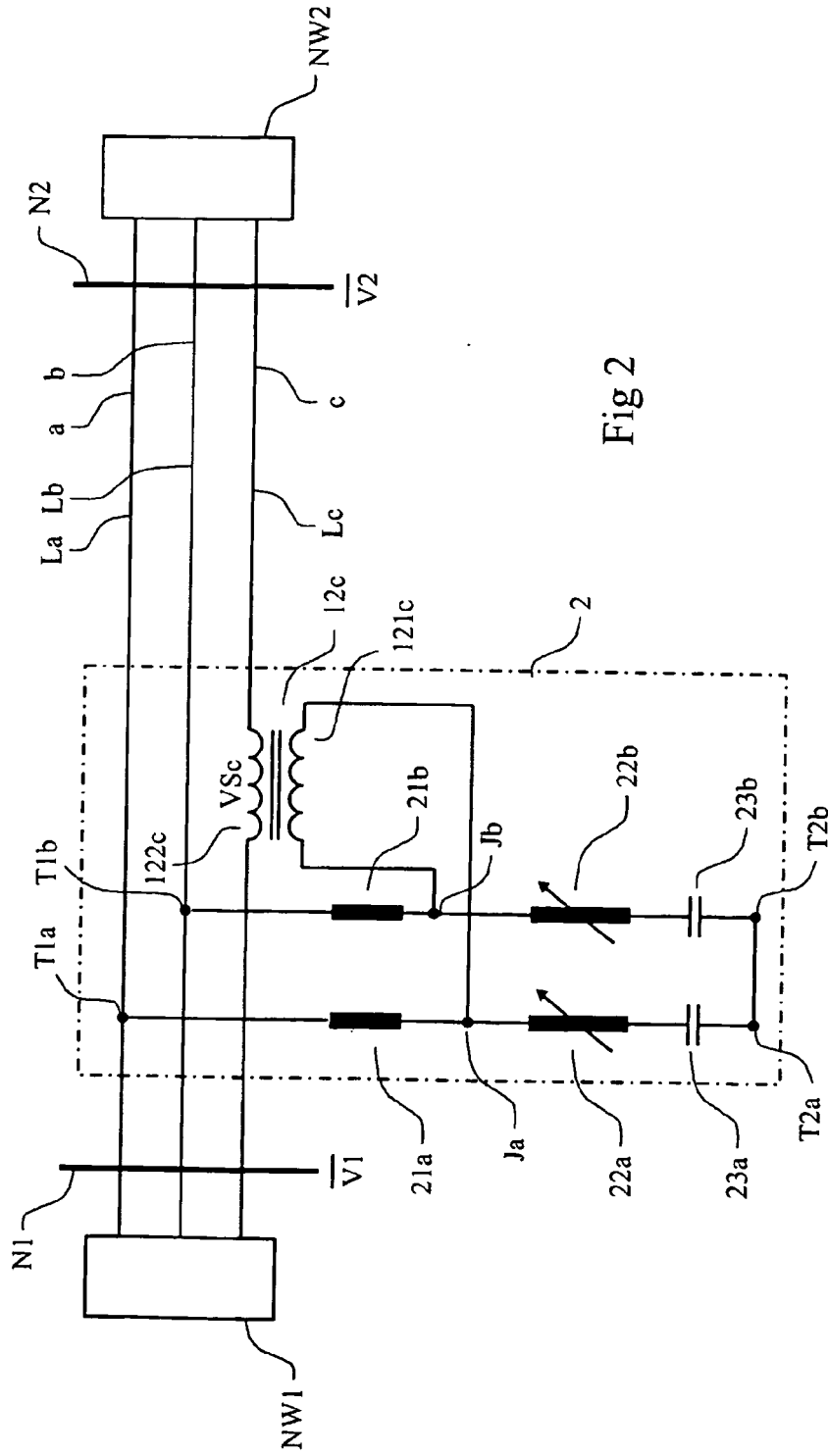


Fig 2

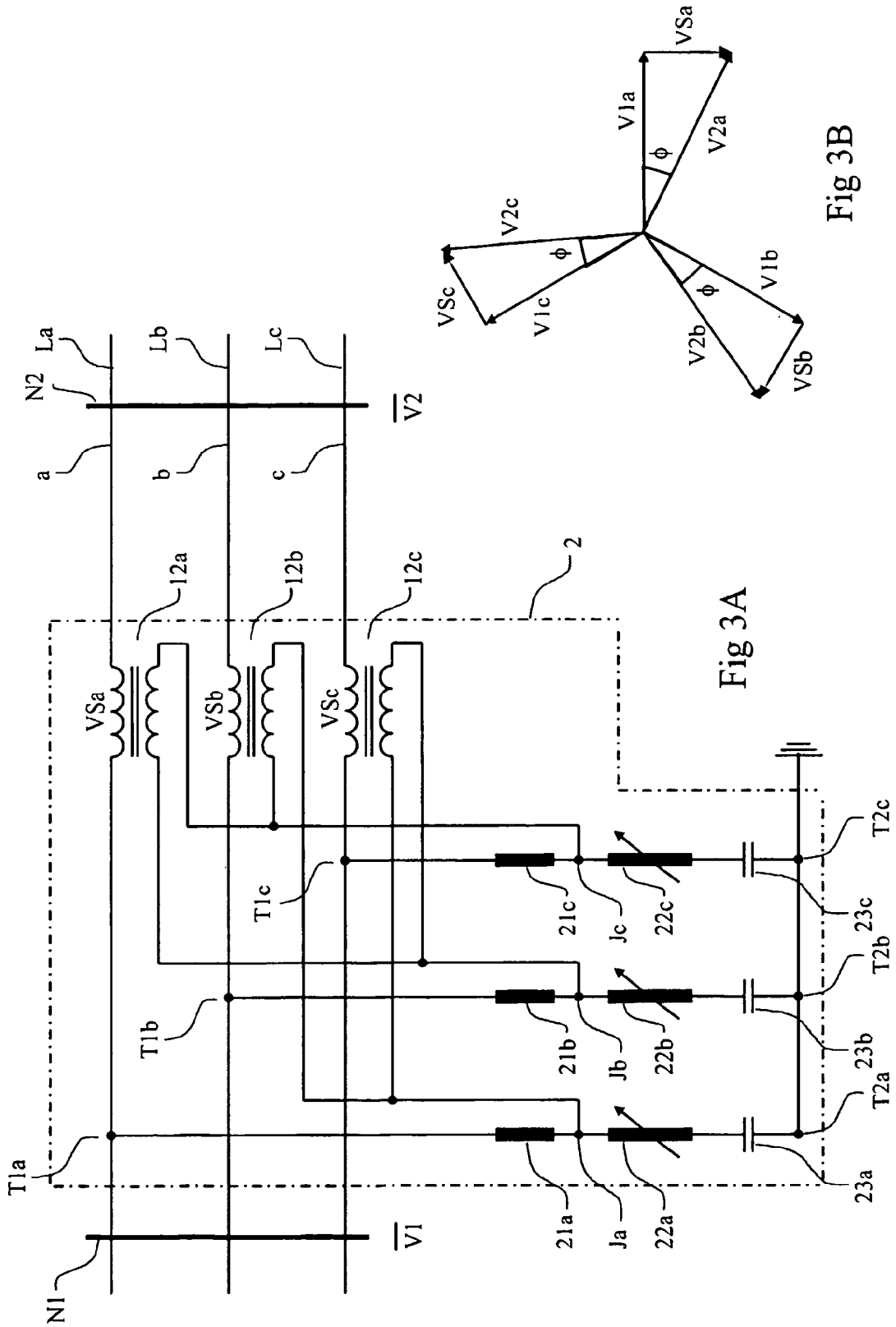
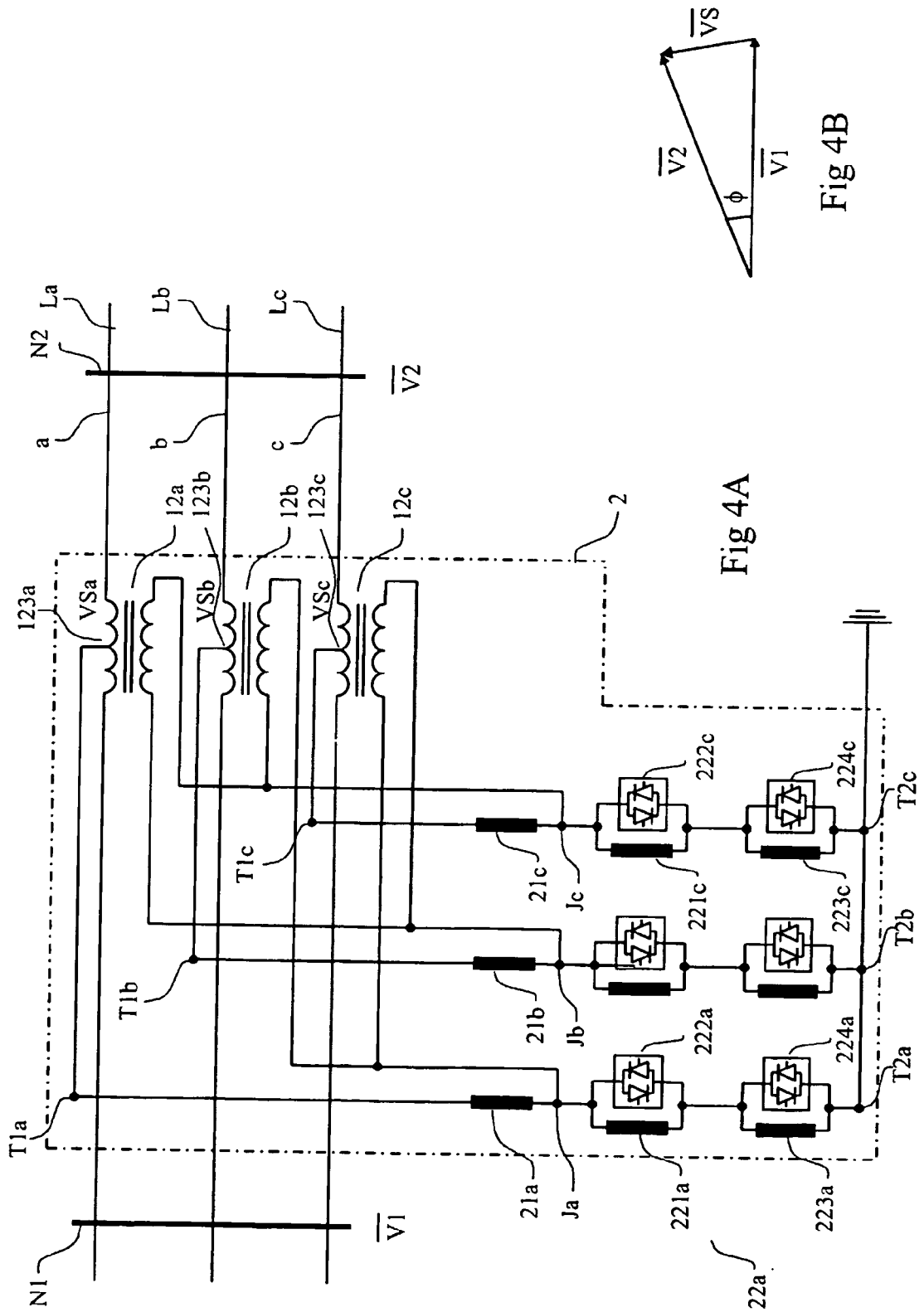


Fig 3A

Fig 3B





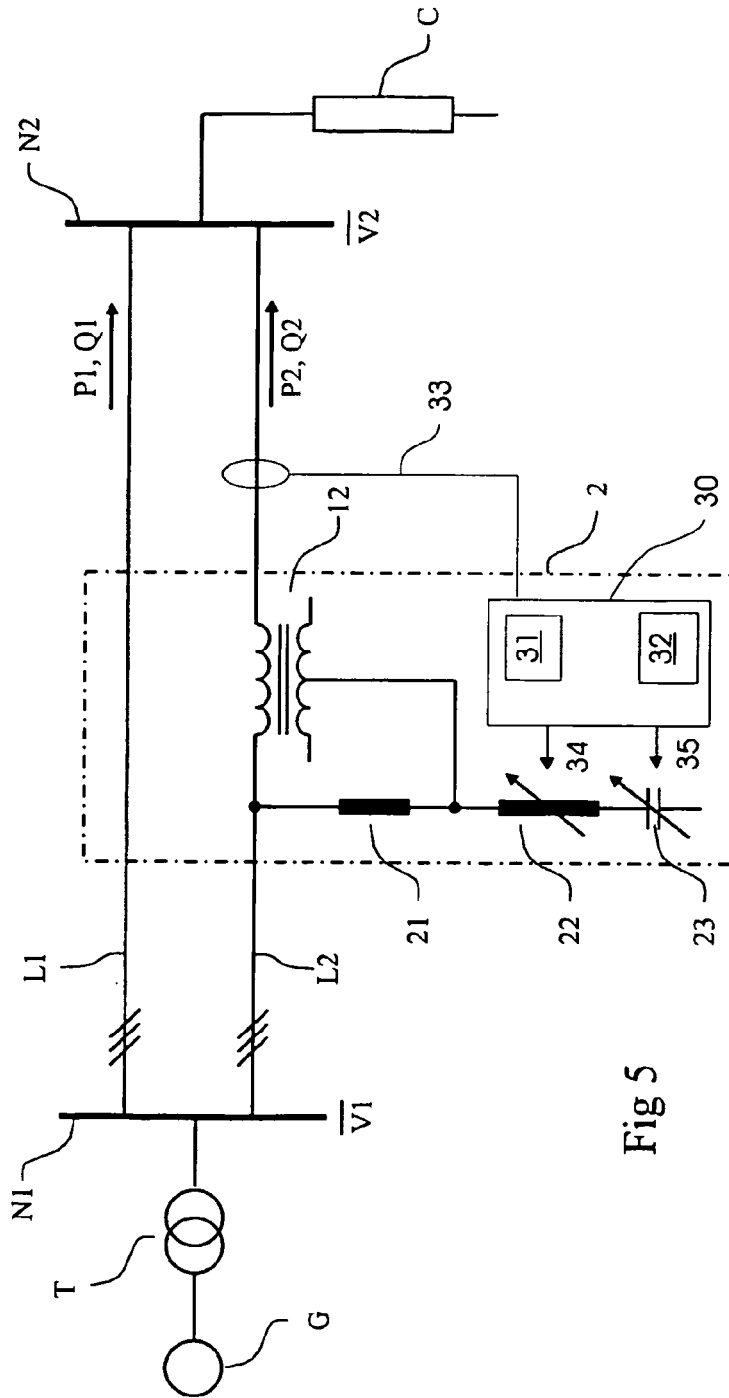


Fig 5

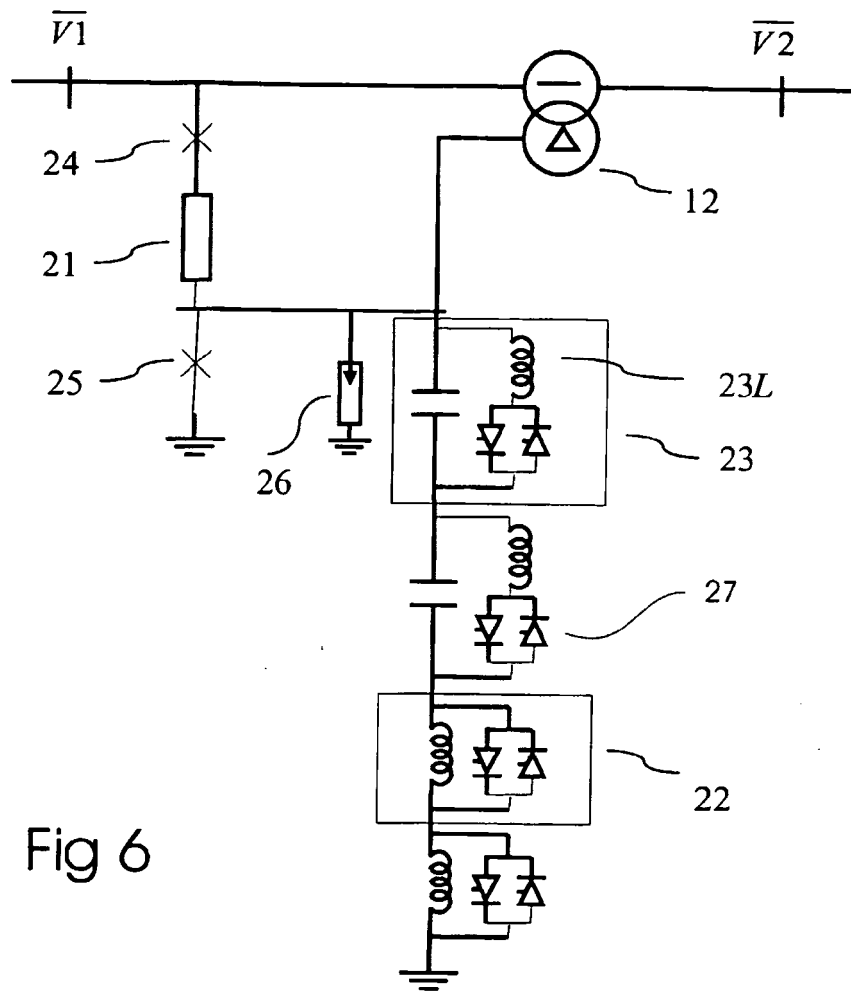


Fig 6

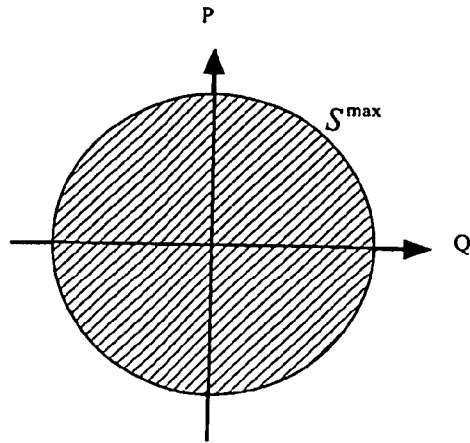


Fig 7

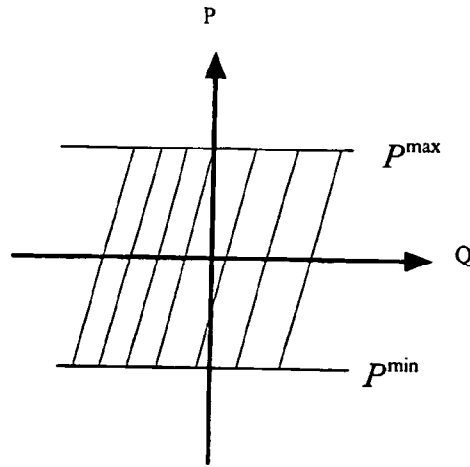


Fig 8

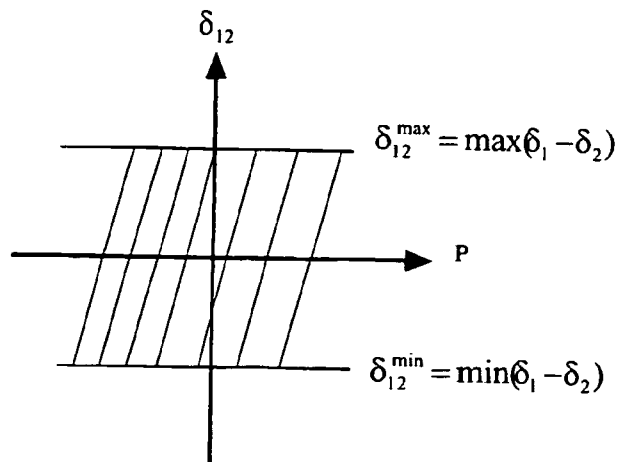


Fig 9