



P A T E N T E   D E   I N V E N C I O N

a favor de

SIEMENS SCHUCKERTWERKE Aktiengesellschaft - domiciliada en  
Berlin Siemensstadt (Alemania)

por

"Regulación de líneas de corriente alterna de gran longitud".

-----:-----

M e m o r i a   d e s c r i p t i v a .

En la transmisión a distancia de corriente alterna se desea generalmente conservar constante la tensión al variar la intensidad de corriente a fin de poder tanto en el extremo ge-  
5 nerador como en el extremo consumidor como en cualquier estación intermedia, establecer conexiones directas a las redes de distri-  
bución usuales. Sin embargo, por una parte la elevada auto-induc-  
ción de estas líneas produce notables diferencias de tensión in-  
ductiva y por otra parte la gran capacidad de estas líneas ae-  
10 reas de alta tensión o cables es causa de la aparición de gran-  
des corrientes de carga que tambien producen diferencias de ten-



sión. Por lo tanto estas líneas, con sus perjudiciales corrientes y tensiones reactivas deben regularse por medio de disposiciones adicionales que introduciendo corrientes y tensiones reactivas externas, compensen los efectos perjudiciales y mantengan así el nivel de tensión de la línea. Se han dado a conocer ya una serie de métodos para disponer tales instalaciones compensadoras. El generador de energía reactiva externa puede conectarse en tanto en paralelo como en serie con la línea. Como generadores de energía o potencia reactiva pueden emplearse máquinas sincrónicas, asincrónicas, bobinas de reactancia, condensadores etc. que pueden emplearse con las más diversas conexiones y formas de funcionamiento.

El objeto de esta invención consiste en obtener un método sencillo y exacto por medio del cual estas instalaciones de potencia reactiva puedan regularse para compensar la línea y obtener mecanismos reguladores convenientes para ello.

En la figura 1 se representa una línea de gran longitud o una porción de la misma. La línea de gran longitud puede tener dos estaciones extremas A pero puede también estar acoplada a otras líneas formando una red circular o cerrada. En todas las estaciones S puede a voluntad tomarse o suministrarse energía a la línea y además en estas estaciones se disponen las instalaciones compensadoras. Estas deben estar calculadas en cada estación de tal manera que puedan compensar siempre una porción determinada de la línea, aproximadamente la mitad de cada sección de línea entre las diferentes estaciones.

Es ya sin embargo conocido que en las líneas de corriente alterna de gran longitud es conveniente mantenerlas en un estado tal de funcionamiento que la relación entre la tensión y la corriente coincida con la resistencia ondulatoria resultante de la línea es decir que sea:



929

- 3 -

$$\frac{E}{J} = \sqrt{\frac{L}{K}} \quad (1)$$

Esta condición introduciendo la frecuencia de corriente alterna puede escribirse también así:

$$\omega K E^2 = \omega L J^2 \quad (2)$$

5 y demuestra que la totalidad de potencias reactivas dependientes de la tensión y la totalidad de potencias reactivas dependientes de la corriente deben ser iguales entre sí. Con una conexión de las disposiciones compensadoras en serie, su potencia reactiva es en general dependiente de la corriente y está comprendida a la derecha de la igualdad (2). Con una conexión en paralelo de las disposiciones compensadoras de potencia reactiva, su potencia reactiva es por lo general dependiente de la tensión y está comprendida en el lado izquierdo de la igualdad (2). En cada caso, pues, las potencias reactivas de las 15 disposiciones externas de compensación deben comprenderse en el balance de energía de la igualdad (2) si se quiere tener una compensación completa de las potencias reactivas en cada sección de línea y por tanto en toda la línea.

También los componentes reactivos de las potencias aparentes tomados o suministrados en las estaciones por redes acopladas o aparatos consumidores de corriente deben incluirse en este balance de energía de la potencia reactiva. 20

Conforme con esta invención, los generadores adicionales de potencia reactiva en las diferentes estaciones que deben servir para la compensación deben estar regulados de tal modo que se cumplan siempre las condiciones de la igualdad (2) y para ello debe emplearse un indicador que nos indique el equilibrio de las potencias conforme la igualdad (2) y produzca el aumento o disminución de la potencia reactiva externa cuando 25 desaparece el equilibrio. 30



En el ejemplo de suministro en paralelo de la potencia reactiva a una estación se demostrarán las condiciones con mayor detalle. En la figura 2, L representa también la línea de gran longitud, S la barra colectora de una estación a la que está conectada por una parte la red N que puede ser de cualquier tipo y que puede suministrar o absorber alternativamente a voluntad corrientes activas o reactivas y por otra parte la disposición compensadora K que está representada en este caso como máquina sincrónica, con su regulador de corriente excitatriz R. Si escribimos la igualdad (2) en la forma

$$J_K E = \omega L_J^2 \quad (3)$$

$J_K$  representa en ella la corriente reactiva total suministrada a la sección de línea que está constituida tanto por la corriente de carga  $J_C$  de la línea como por la parte magnetizante de la corriente reactiva  $J_S \text{ seno } \varphi$ . Por tanto el lado izquierdo de la igualdad (3) podrá escribirse así:

$$J_K E = J_C E \text{ seno } \varphi + \omega C E^2 - E J_S \text{ seno } \varphi \quad (4)$$

En ella la corriente de carga de la línea misma está representada de nuevo por su propia capacidad C. El lado derecho de la igualdad (2) y de la igualdad (3) están constituidos por dos sumandos es decir las potencias reactivas del ramal de la derecha y del ramal de la izquierda que deben ser compensadas por la estación y que deben tratarse separadamente ya que pueden conducir corrientes de diferente intensidad. Por tanto tenemos:

$$\omega L_J^2 = \omega L_1 J_1^2 + \omega L_2 J_2^2 \quad (5)$$

El equilibrio de las potencias reactivas en la sección de esta estación después de sustituir las igualdades (4) y (5) en la igualdad (3) estará representado por tanto, por



$$\omega C E^2 - E J_S \text{ seno } \varphi - \omega J_1 J_1^2 - \omega L_2 J_2^2 = 0 \quad (6)$$

Para construir conforme con esta invención un indicador que corresponda a estas condiciones de equilibrio puede utilizarse por ejemplo un relé sobre cuya parte movable actúan 5 fuerzas mecánicas proporcionales a los diferentes términos de esta igualdad. Para ello en la figura 2 se disponen sobre un árbol cuatro discos Ferrari influidos por cuatro sistemas de imanes de dos bobinas. En el elemento inferior -1- ambas bobinas son influidas por la tensión E de la línea de gran longitud en la estación de modo que se desarrolla un momento correspondiente  $E^2$ . Por un cálculo conveniente y si es necesario con la debida regulación el factor de proporcionalidad de este momento de giro debe ajustarse a la capacidad C de los dos ramales de la estación que deben compensarse. Este elemento mide 10 por tanto el trabajo de capacidad de la línea. En el segundo sistema Ferrari sobre una bobina actúa la misma tensión E y sobre la otra la corriente total  $J_S$  de la estación de modo que el momento de giro será proporcional a  $E \cdot J_S \cdot \text{seno } \varphi$ . Por tanto este elemento mide la potencia reactiva de la estación. El tercer 20 elemento Ferrari tiene ambas bobinas accionadas por la corriente  $J_1$  del ramal izquierdo y está ajustado por su factor de proporcionalidad a la auto inducción  $L_1$  de la porción izquierda de la línea. El cuarto elemento Ferrari es accionado de la misma manera por la corriente  $J_2$  del ramal derecho y está ajustado a 25 la auto inducción de este  $L_2$ .

Como que de esta manera los momentos de giro de los cuatro discos unicamente están en equilibrio por una perfecta compensación según la igualdad (6) y como de lo contrario tienden a girar a derecha o a izquierda podrían ser directamente utilizados para desplazar el regulador excitador R. Sin embargo como 30 se representa en la figura 2 es mejor dejar que este sistema



1929

- 6 -

cierre unicamente un contacto que produce la marcha hacia la derecha o hacia la izquierda de un motor auxiliar especial y con ello se obliga a la máquina compensadora K a suministrar una mayor o menor corriente reactiva. En este caso un resorte  
5 en el relé sirve para regular la posición de reposo en estado de equilibrio.

Esta disposición al variar en cualquier forma las condiciones en toda la instalación conduce siempre en el tiempo mas corto posible a una regulación completa y a obtener de  
10 nuevo la compensación y con ella la distribución mas favorable de tensión. Si por ejemplo la energía que circula por la línea aumenta, varían al mismo tiempo las corrientes  $J_1$  y  $J_2$  y producen una mayor caída inductiva de tensión. El relé reacciona inmediatamente pone al regulador en funcionamiento y disminuye  
15 su potencia reactiva hasta que la corriente reactiva total  $J_S$  de la estación ha disminuido en una proporción tal que su caída inductiva en la línea ha disminuido en la misma proporción como lo requiere la caída de tensión creciente de la energía que se transmite. Si varía la carga útil de la red N acoplada  
20 en la estación las variaciones de corriente activa pasan a la línea de gran longitud y con ello varían  $J_1$  y  $J_2$  con la misma acción que antes. Las variaciones de corriente reactiva de la red varían la corriente reactiva de toda la estación, actúan por tanto sobre el relé y producen en el regulador una tal variación que toda la corriente reactiva de la estación pasa de  
25 nuevo a su valor debido. Si varía la tensión de la línea a distancia o de la estación de modo que varía la corriente de capacidad de la línea, la influencia del relé se hace también patente y se equilibra inmediatamente por el funcionamiento del regulador R de corriente reactiva. Con este sistema de regulación  
30 puede trabajarse en la línea de gran longitud con cualquier



tensión y se mantiene siempre exacta la compensación.

La tensión de trabajo de la línea puede por tanto determinarse también desde otro punto de vista. Por ejemplo puede fijarse por medio de un regulador de tensión en cualquiera  
5 estación acoplada a la línea de gran longitud. Si no se desea esta independencia de la tensión es suficiente hacer actuar sobre el relé en lugar del sistema Ferrari inferior -1- que mide la tensión, un momento de giro constante por medio de un peso o de un resorte puesto previamente en tensión obteniéndose  
10 se entonces una regulación con tensión constante cuya magnitud puede regularse a voluntad variando el peso o la fuerza del resorte. También se podría, sustituyendo el segundo sistema Ferrari -2- por una fuerza regulable, regular la estación a una corriente reactiva determinada aun cuando esto es en la mayor  
15 parte de casos de menor importancia.

En lugar del relé Ferrari puede emplearse naturalmente cualquier otro relé o mecanismo de medición en condiciones de suministrar momentos de giro según las condiciones de la igualdad (6). Por ejemplo elementos de cuadro móvil que funcionan  
20 por  $E J \sin \varphi$ , elementos de hierro dulce que funcionan por  $E^2$  u otros elementos ya conocidos. Puede también obtenerse la condición de equilibrio (6) de una manera puramente eléctrica y producir por ejemplo por medio de un rectificador en lugar de fuerzas mecánicas, corrientes continuas de intensidad correspondiente que pueden sumarse.  
25

Es esencial únicamente para la invención que el equilibrio de las potencias reactivas en la instalación según la igualdad (6) se reproduzca de tal modo en un indicador que la disposición reguladora para la potencia reactiva en las estaciones reaccione por la falta de equilibrio y lo restablezca.  
30 Es también indiferente para la invención el tipo de disposi-



ción compensadora presente en las estaciones sea por ejemplo una máquina sincronica como se representa en la figura 2 o cualquier otro de los medios compensadores citados al principio.

Es así mismo indiferente la forma en que las diferentes corrientes y tensiones para el indicador se toman de las líneas; ya sea por medio de un transformador de tensión o de corriente, por medio de resistencias, capacidades auxiliares o auto inducciones o ya descomponiendo diferentes corrientes o reuniéndolas en varias. Por ejemplo para ahorrar transformadores de corriente se puede obtener la corriente  $J_S$  en la estación de la figura 2 por la diferencia entre las corrientes  $J_1$  y  $J_2$ .

Al igual que en el ejemplo se representa una disposición compensadora en paralelo con la línea, pueden también conforme con esta invención, desarrollarse indicadores y métodos de regulación dispuestos en serie con la línea. En este caso debe únicamente descomponerse no el lado izquierdo de la igualdad (2) sino el derecho en sus diversas partes pertenecientes a la línea misma y a la disposición compensadora. Se obtiene de esta manera una condición de equilibrio que puede reproducirse por indicadores igualmente sencillos.

Las disposiciones reguladoras de la corriente reactiva en las diferentes estaciones son ajustadas conforme con esta invención para el funcionamiento regular de la instalación a la igualdad general (2) o a la igualdad especial (6) de tal manera que las potencias reactivas regulen y compensen toda una sección determinada de la línea. De cada estación depende pues una determinada sección de línea. Puede suceder sin embargo que por una avería casual la disposición reguladora, o la compensadora o toda la estación queden fuera de funcionamiento. En este caso la sección de línea, queda ante todo sin compen-



sar y sus corrientes reactivas pasan a las otras secciones. En tal caso es conveniente que cada una de las estaciones vecinas reaccione para las porciones de línea no compensadas contiguas a su propia sección compensada. Esto puede conseguirse haciendo  
5 que los factores de proporcionalidad de los diferentes elementos del indicador que corresponden al primer miembro y uno de los dos últimos de la izquierda de la igualdad (6) sean aumentados en una proporción determinada. Como que cada estación vecina con su corriente reactiva  $J_S \text{ seno } \psi$  debe compensar todavía otra  
10 sección de línea, la capacidad a ellas correspondiente así como la auto inducción correspondiente  $L_1$  ó  $L_2$  aumentan en la medida de la nueva sección. Por consiguiente, cuando en el caso de la figura 2, el indicador recibe el aumento correspondiente por variar la sensibilidad de los elementos Ferrari  $\gamma_1$ - y  $\gamma_4$ - ó  $\gamma_1$ -  
15 y  $\gamma_3$ -, restablece exactamente el estado de equilibrio para el nuevo sistema de línea con la adición de secciones de línea de la derecha o de la izquierda de la estación desacoplada.

Esta conmutación puede conseguirse, en general, variando las resistencias, o autoinducciones o el número de espiras en el  
20 circuito de medición de corriente. Esta conmutación se practica -o bien a mano al tener noticia de los defectos en la estación o bien puede también conseguirse automáticamente disponiendo en cada estación un relé que reaccione por una elevación no conveniente de la tensión o bien por las corrientes reactivas no convenientes que circulan por la línea de gran longitud en la esta-  
25 ción o bien por la acción de ambas a la vez. Buenos servicios para ello presta un relé de potencia reactiva, por ejemplo, cuya bobina de tensión sea atravesada por la tensión  $E$  de la línea y cuya bobina de corriente principal sea atravesada por la suma  
30 de las corrientes  $J_1$  y  $J_2$  de ambas secciones de línea. Un relé de esta clase reacciona cuando al cesar el funcionamiento de una



1929

- 10 -

estación la corriente reactiva que hasta entonces habia suministrado pasa a uno o ambos lados de la linea de gran longitud y a las estaciones vecinas hasta el final de la linea.

Como que para secciones desiguales de linea de las longitudes  $a_1$  y  $a_2$  que pertenecen a cada estación, la corriente reactiva  $J_S$  de la estación se ramifica a derecha e izquierda en dos ramales diferentes es conveniente que el citado relé no reaccione sencillamente por la suma de  $J_1$  y  $J_2$  sino que esta corriente actue en razón inversa a sus secciones de linea. Si se deja que el relé reaccione por

$$E \left\{ \sqrt{\frac{a_2}{a_1}} J_1 + \sqrt{\frac{a_1}{a_2}} J_2 \right\} \text{ seno } \varphi \quad (7)$$

esta expresión queda igual a cero en cada estación cuando todas las estaciones trabajan regularmente, sin embargo al cesar la compensación en cualquier punto de las estaciones proximas al punto donde se ha producido el defecto, aumenta a un valor notablemente elevado que sirve para conmutar esta estación a la nueva condición de equilibrio. Como que un tal relé de potencia indica al mismo tiempo la dirección de la que procede la corriente reactiva no compensada, indica selectivamente el equilibrio alterado en la linea derecha o izquierda de conexión de cada estación y puede servir para corregir al primer y al tercer o cuarto miembro del indicador según la figura 2 o la igualdad (6).

Al igual que en las estaciones intermedias esta regulación puede emplearse según la invención tambien en las estaciones extremas. Para ello puede considerarse suprimida la linea  $L_1$  en la figura 2 y dejar actuar el indicador sobre una disposición puramente compensadora  $K$  que entonces compensa unicamente la primera sección de linea a partir de la estación. En este caso los generadores de la estación asi como la red de consumo o la red generadora  $N$  pueden estar conectados a las barras co-



4 lectoras S. Sin embargo tambien pueden ponerse en lugar de la  
linea  $L_1$  los generadores de la estación extrema para compensar  
automaticamente su corriente reactiva no deseada. Finalmente  
tambien pueden considerarse estos generadores como a disposición  
5 compensadora K y regularlos automaticamente desde el indicador  
por su excitación ya solos ya en combinación con cualquier otro  
sistema de regulación. En este caso el elemento de tensión -1-  
inferior del indicador en la figura 2 se sustituye de preferencia  
por una fuerza constante para regular la estación a una tensión  
10 determinada, al mismo tiempo que efectua la compensación,

N O T A

Se reivindica como objeto de esta patente:

1) Regulación de líneas de corriente alterna de gran  
longitud por medio de disposiciones compensadoras caracterizada  
15 porque la disposición de compensación es influida por un indica-  
dor que reacciona por el equilibrio de las siguientes potencias  
reactivas: la potencia reactiva de inducción de las corrientes  
que atraviesan la línea de gran longitud la potencia reactiva  
de capacidad de la tensión de la misma línea y la potencia reac-  
20 tiva inductiva o capacitiva suministrada a la línea en el punto  
en que se encuentra la disposición compensadora.

2) Regulación según la reivindicación 1 caracterizada  
por la presencia de varias estaciones con disposiciones compen-  
sadoras dependiendo de cada estación una porción determinada de  
25 la longitud de la línea con sus potencias reactivas para influir  
en el indicador.

3) Regula-ción según la reivindicación 1 caracterizada  
porque el indicador posee varios sistemas vatiometricos que re-  
producen los diferentes miembros de la igualdad 6 y cuyo equili-  
30 brio se indica por equilibrio de su momento de giro.



4) Regulación según la reivindicación 1 caracterizada porque el indicador al reproducir las potencias reactivas según la igualdad 6 posee una posición cero para su equilibrio.

5) Regulación según la reivindicación 1 caracterizada porque la tensión de la línea es regulada a un valor determinado en cualquier estación conectada a la línea a distancia por medio de un regulador de tensión especial.

6) Regulación según la reivindicación 1 caracterizada porque el miembro del indicador accionado por la tensión es sustituido en caso dado por una fuerza constante que puede regularse de modo que el indicador unicamente se encuentra en equilibrio para una tensión determinada.

7) Regulación según la reivindicación 1 caracterizada por un relé de conmutación que reacciona por una elevación no conveniente de la tensión o por las corrientes reactivas no convenientes o por la acción de ambas y produce una variación de la longitud de línea para la cual está graduado el indicador;

8) Regulación según la reivindicación 1 caracterizada porque las corrientes de potencia reactiva que desde ambos lados van a la estación actúan sobre el relé de conmutación en relación con sus longitudes de línea opuestas para conseguir una posición cero del relé en estado normal de la línea.

9) Regulación de líneas de corriente alterna de gran longitud.

Barcelona 4 de Diciembre de 1929.

SIEMENS SCHICKERT-INDUSTRIA ELÉCTRICA  
SOCIEDAD ANÓNIMA

*Wissinger*

Fig. 1

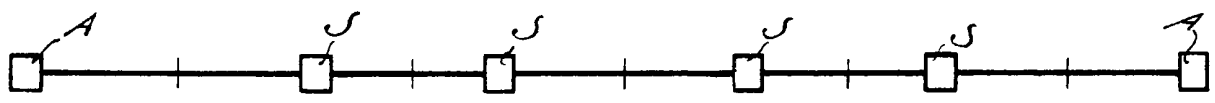
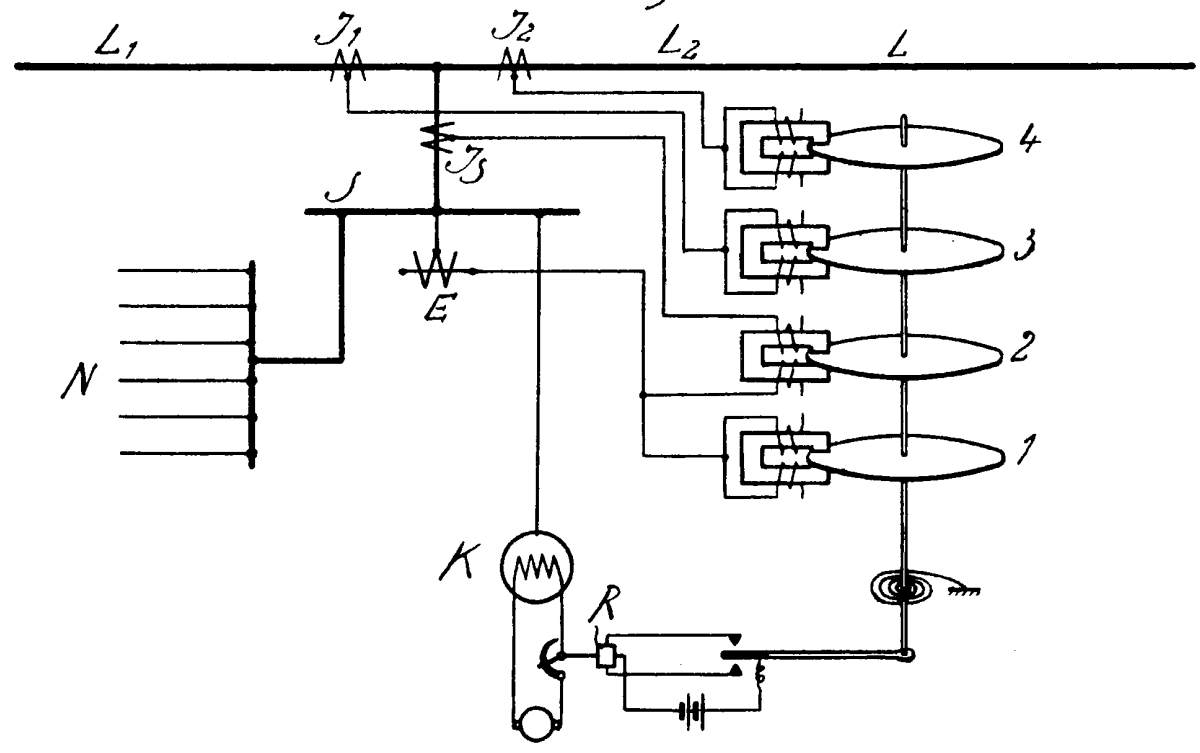


Fig. 2



*Wassner Hermann*