

MINISTERIO DE INDUSTRIA
REGISTRO DE LA PROPIEDAD INDUSTRIAL



19 ES	11 21	NUMERO 426704	10 AI
	22	FECHA DE PRESENTACION 28-5-74	

PATENTE DE INVENCION

P.- 57.529

WE Case No. 44.299

30 PRIORIDADES:	32 FECHA	33 PAIS
31 NUMERO 364.450	29-5-73	EE.UU.

47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL H02P	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
------------------------	--	--------------------------------------

54 TITULO DE LA INVENCION "UN APARATO IMPULSOR ELECTRICO DE VELOCIDAD VARIABLE CAPAZ DE FRENADO REGENERATIVO".

71 SOLICITANTE (S) WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION

DOMICILIO DEL SOLICITANTE Westinghouse Building, Gateway Center, Pittsburgh, Pensilvania 15222, Estados Unidos de America.
--

72 INVENTOR (ES) Stefano Clemente y Brian Raymond Pelly
--

73 TITULAR (ES)

74 REPRESENTANTE DON FERNANDO DE ELZABURU MARQUEZ
--

La presente invención se relaciona con el funcionamiento de velocidad variable de motores de corriente alterna, v.gr., motores de inducción y de jaula de ardilla, abastecimiento mediante un aparato de inversión de frecuencia variable y, más particularmente con una disposición para aumentar el par de torsión de frenado disponible cuando dicho motor se hace funcionar en un modo de frenado.

Aún cuando la invención no necesariamente queda limitada a ninguna aplicación específica, es particularmente útil para motores que se usan para funciones de tracción, es decir, motores de propulsión para autos de tránsito rápido u otros vehículos. En muchas disposiciones del ramo anterior, los motores en serie de corriente directa se han utilizado por lo general, para impulsiones de tracción debido a sus características deseables de velocidad de par de torsión y adaptabilidad para el frenado dinámico, aún cuando el motor de inducción de jaula de ardilla de corriente alterna es inherentemente de construcción muy resistente y sería altamente apropiado para las condiciones serias del servicio de tracción en donde los motores de propulsión se someten a condiciones serias de vibración y choque mecánico así como se exponen a tierra y otra contaminación llevada en el aire. Los motores de inducción de corrien-

te alterna, no se han usado hasta ahora, sin embargo, debido a que se han considerado motores esencialmente de velocidad constante que serían inapropiados para impulsiones de tracción debido a esa razón. El desarrollo de aparatos de inversión estáticos de alta energía de frecuencia variable, sin embargo, ha hecho posible tomar en cuenta el uso de motores de inducción para impulsiones de tracción a fin de aprovechar la ventaja de la construcción resistente, extensión de programas de conmutación y facilidad de control relativa de los motores de inducción.

Un problema durante el uso de los motores de inducción para las impulsiones de tracción es obtener el par de torsión de frenado adecuada cuando funcionan en un modo de frenado. El par de torsión desarrollado en el motor es una función del voltaje aplicado a los enrollamientos primarios. Para el funcionamiento por motor, el voltaje aplicado desde el aparato de inversión, puede aumentarse a medida que aumenta la velocidad hasta el régimen de voltaje máximo del aparato de inversión a fin de mantener un par de torsión constante a medida que se acelera el motor. Para velocidades mayores, el voltaje se mantiene constante al régimen máximo del aparato de inversión y el par de torsión disminuye a medida que aumen-

ta la velocidad. Esto es aceptable para el funcionamiento del motor, ya que se requiere una capacidad de aceleración menor a velocidades mayores y son satisfactorios pares de torsión menores. Para el funcionamiento de frenado, sin embargo, cuando el motor está siendo impulsado como un generador de inducción, el par de torsión de frenado es por lo menos tan elevado como el par de torsión del motor máximo que se desea a velocidades considerables. Es decir, la máquina se haría funcionar a un par de torsión constante a una velocidad mayor a fin de hacer posible mantener un par de torsión de frenado esencialmente constante para un régimen constante de desaceleración a través de una escala de velocidad lo más extensa posible. Como se indica en lo que antecede, sin embargo, este requeriría un voltaje aplicado que puede ser varias veces mayor que el voltaje máximo aplicado necesario durante la operación o funcionamiento del motor y si el aparato de inversión debe suministrar este alto voltaje durante el frenado, hay una desventaja ya que su voltaje máximo y relaciones de energía pueden aumentarse correspondientemente y el aparato de inversión entonces se hace demasiado grande y su costo demasiado elevado para ser económicamente práctico para uso de tracción.

El objeto de la invención es proporcionar una disposición de aparato de inversión de energía de frecuencia variable, para abastecer un motor de inducción tanto durante el funcionamiento normal, como durante los modos de funcionamiento de frenado exento de las desventajas de la disposición del ramo anterior.

De conformidad con la presente invención, se proporciona un circuito para aumentar el voltaje a través de uno de los enrollamientos del motor durante la operación de frenado sin requerir aumento en el voltaje suministrado mediante el aparato de inversión mayor que aquel requerido para el funcionamiento del motor.

La invención estriba en un aparato impulsor eléctrico de velocidad variable, capaz de frenado regenerativo que consiste de un motor eléctrico que tiene enrollamientos primarios polifásicos, una fuente de energía de frecuencia variables aplicada a los enrollamientos para el funcionamiento del motor a velocidades variables, ya sea en el modo automovilístico o en el modo de frenado regenerativo, una pluralidad de elementos de impedancia conectables con cada uno de los enrollamientos en serie para elevar un voltaje regenerativo del motor durante el modo de frenado, a fin de realimentar energía hacia la fuente y un

elemento de conmutación para disociar el elemento de impedancia desde los enrollamientos durante el funcionamiento en el modo de accionamiento por motor y para asociar el elemento de impedancia con los enrollamientos durante el funcionamiento en el modo de frenado regenerativo.

Se proporcionan asimismo, elementos ventajosamente para quitar el elemento de impedancia del circuito durante la operación automovilística, de manera que el funcionamiento de motor sea aquel de un motor de inducción normal. De preferencia se usan tiristores para este objeto que se conectan y se controlan para colocar en cortocircuito el elemento resistivo durante el funcionamiento del motor. Si se desea, los tiristores pueden también controlarse para variar el valor efectivo de la resistencia durante el frenado a fin de controlar el par de torsión de frenado para obtener cualquier característica o régimen de desaceleración de frenado deseable.

La invención se comprenderá más completamente de la siguiente descripción detallada de las modalidades ejemplarias que se toman junto con los dibujos que se acompañan, en los cuales:

La Figura 1 es un diagrama esquemático que muestra una modalidad preferida de la invención;

La Figura 2 es un diagrama de vector que ilustra el funcionamiento del circuito de la Figura 1;

La Figura 3 es un juego de curvas que ilustran las operaciones del motor y de frenado que se obtienen mediante la presente invención;

La Figura 4 es un diagrama esquemático que muestra otra modalidad de la invención; y

La Figura 5 es un diagrama esquemático que muestra una forma modificada de la modalidad de la Figura 4.

Se muestra una primera modalidad de la invención en la Figura 1, tal y como se aplica para el control de un motor de inducción 10. El motor 10 puede ser un motor polifásico de cualquier construcción apropiada convencional y se muestra como teniendo tres enrollamientos de estator primarios trifásicos 11, y un rotor de jaula de ardilla 12. El motor 10 se destina a hacerse funcionar a velocidad variable para este objeto se abastece mediante un aparato de inversión de frecuencia variable 13 abastecido desde cualquier fuente de corriente directa apropiada u otra fuente. Las aplicaciones de impulsión de tracción, el aparato de inversión debe por lo general abastecerse con la corriente directa desde un tercer riel u otro conductor, v.gr., un conductor superior aún cuando por lo general

el aparato de inversión puede abastecerse de cualquier fuente deseada. El aparato de inversión 13 puede ser de cualquier tipo apropiado, y no se ha mostrado detalladamente puesto que no forma parte de la invención. Puede controlarse de cualquier manera conocida o deseada para abastecer una salida de voltaje variable de frecuencia variable hacia los enrollamientos primarios trifásicos del motor 10. La velocidad y el par de torsión del motor de esta manera pueden controlarse a fin de obtener las características del motor deseadas.

Para aplicaciones de tracción y para ciertas otras aplicaciones de motor de velocidad variable, es necesario que el motor sea capaz de funcionar en el modo de frenado, es decir, que sea capaz de ser impulsado a medida que el generador desarrolla el par de torsión de frenado para frenar o desacelerar el coche en tránsito u otra carga. El par de torsión desarrollado mediante el motor 10 es una función del voltaje aplicado a través de los enrollamientos primarios 11 y, según se ha discutido anteriormente, a fin de obtener el par de torsión de frenado deseado, este voltaje debe ser más elevado a velocidades mayores que el voltaje máximo necesario para el funcionamiento del motor.

De conformidad con la presente invención, se obtiene un voltaje aumentado durante la operación de frenado sin requerir que el aparato de inversión 13 suministra un voltaje más elevado que el que se requiere para el accionamiento por motor. En la modalidad de la Figura 1, esto se logra por medio de tres resistencias 14 conectadas en serie con los enrollamientos del motor primarios trifásicos 11 y conectados junto con el punto neutral 15. Puesto que las resistencias 14 se requieren solamente durante el frenado, se quitan del circuito durante el funcionamiento del motor, y esto de preferencia se logra por medio de los tiristores 16 conectados a través de las resistencias de la manera mostrada. Se verá que si se suministran señales continuas de encendido a los tiristores 16 durante el funcionamiento del motor de manera que se mantengan en estado conductor, las resistencias 14 se colocan en cortocircuito y los enrollamientos del motor 11 quedan en una conexión "Y" trifásica convencional. Podría usarse un solo tiristor 16 para cada fase, pero a fin de eliminar las armónicas pares y proporcionar un mejor control un segundo tiristor 17 de preferencia se conecta también a través de cada fase en paralelo con los tiristores 16 y con polaridad opuesta. Para una operación de frenado, los

tiristores 16 están en estado no conductor, ya sea continuamente o a través de las porciones deseadas de cada medio ciclo y las resistencias 14 luego se conectan en el circuito en relación en serie con los enrollamientos del motor.

5 El efecto de esta disposición de circuito se ha ilustrado mediante el diagrama de vector de la Figura 2, que muestra las relaciones de voltaje y de corriente de una sola fase durante el funcionamiento de la máquina 10 como un generador, con los tiristores 16 y 17 estando en estado no conductor. Cuando el motor está siendo impulsado por el coche u otra carga, como un generador de inducción, la corriente del motor tiende a retrasar el voltaje mediante un ángulo que se aproxima a 180° . Esta corriente produce lo que puede considerarse una caída de voltaje negativo, es decir, una elevación de voltaje que se añade vectorialmente al voltaje aplicado y por lo tanto aumenta el voltaje a través de los enrollamientos del motor. Esto se ilustra en la Figura 2, en donde la corriente está representada mediante el vector I y el voltaje aplicado, es decir, el voltaje suministrado mediante el aparato de inversión, está representado mediante el vector V_I . La caída de voltaje en las resistencia 14 está representada mediante el vector IR

y la caída de reactancia debida a la inductancia del enrollamiento ll está representada mediante el vector IX. Estas caídas se añaden vectorialmente y se combinan con el voltaje aplicado V_I para proporcionar el voltaje resultante V_M a través de los enrollamientos de la máquina. Se verá, que tal y como se menciona en lo que antecede, la corriente retrasa el voltaje V_M en casi 180° y que las relaciones son de manera tal que las caídas de voltaje en el circuito se combinan con el voltaje aplicado para dar por resultado una elevación considerable en el voltaje a través de los enrollamientos del motor. De esta manera, se proporciona un voltaje aumentado para aumentar el par de torsión durante el frenado sin requerir que el voltaje suministrado mediante el aparato de inversión se aumente por encima de aquel necesario para el funcionamiento del motor.

La eficacia de esta disposición se ilustra además mediante las curvas de la Figura 3, que son curvas de velocidad-par de torsión para una modalidad típica de la invención. La curva A representa la característica de velocidad-par de torsión de la máquina durante la operación de accionamiento con motor y la curva B representa la característica de velocidad-par de torsión durante el frenado. La curva C representa el

voltaje aplicado, es decir, el voltaje suministrado mediante el aparato de inversión a la máquina. Se verá que para el funcionamiento del motor, el voltaje aplicado se aumenta linealmente a media que aumenta la velocidad para mantener el par de torsión constante hasta que se llegue al voltaje máximo disponible, después de lo cual el voltaje se mantiene constante y el par de torsión disminuye tal y como se muestra mediante la curva A, de manera que el motor, en esta parte de la escala de velocidad funciona a caballos de fuerza aproximadamente constantes. Para el funcionamiento del motor, esto es enteramente satisfactorio puesto que se requiere menor capacidad de aceleración a estas velocidades más elevadas que en la parte más baja de la escala de velocidad. Sin embargo para el frenado, el par de torsión de frenado debe mantenerse constante a través de la mayor escala posible y no debe ser menor que el par de torsión máximo del motor a fin de obtener el esfuerzo de frenado necesario y el régimen de desaceleración y para proporcionar la capacidad deseada para controlar el régimen de frenado o el régimen de desaceleración y mantenerlo constante a través de la escala de velocidad más amplia posible. La curva B de la Figura 3, muestra la eficacia de la presente invención a este respecto y se verá que el

par de torsión de frenado permanece constante e
igual que el par de torsión máximo del motor a tra-
vés de casi toda la escala de velocidad y sólo dis-
minuye las velocidades muy elevadas. Este resultado
5 se obtiene sin aumentar el voltaje aplicado por en-
cima del voltaje máximo requerido para el funciona-
miento del motor, tal y como se muestra mediante la
Curva C. Es ausencia de un elemento para aumentar el
voltaje del enrollamiento del motor, podría obtener-
10 se una curva de velocidad-par de torsión, tal como
la curva B durante el frenado sólo continuando el
aumento lineal en el voltaje aplicado. La extrapola-
ción de la parte que se levanta de la curva B mostra-
rá que esto requeriría un nivel de voltaje más del
15 doble del voltaje máximo necesario para el funciona-
miento del motor. Dicho aumento en el voltaje máximo
que se obtiene del aparato de inversión 13, daría por
resultado un aparato de inversión muy grande y costo-
so que no sería económicamente práctico para aplica-
20 ciones de tracción. La presente invención, por lo tan-
to, hace posible obtener la característica de frena-
do deseada, de una manera sencilla y relativamente
económica sin aumentar el tamaño ni el costo del apa-
rato de inversión a más de aquel requerido para el
25 funcionamiento del motor.

Los tiristores 16 y 17 pueden controlarse de cualquier manera deseada y el circuito de control para estos tiristores no se ha mostrado detalladamente, puesto que no forma parte de la presente invención. Como se muestra diagramáticamente en la Figura 1, sin embargo, los tiristores pueden controlarse mediante las señales de corriente derivadas de la salida del aparato de inversión y suministrarse hacia un circuito de liberación de freno 20 que también se suministra con señales de la referencia del aparato de inversión 21. El circuito 20 determina de estas señales si la máquina 10 está funcionando en un modo de frenado o de funcionamiento del motor y controla el circuito de control de ángulo de disparo 22, consecuentemente. El control de ángulo de disparo recibe las señales de la referencia de disparo del aparato de inversión 21, y también una señal de frecuencia 23 y proporciona señales de disparo en los conductores 24 para los tiristores 16 y en los conductores 25 para los tiristores 17. Si no se usan los tiristores 17, los conductores 25 desde luego se omiten. El control de ángulo de disparo 22 proporciona las señales necesarias para hacer disparar los tiristores a fin de mantenerlos en estado conductor durante el funcionamiento del motor y para llevarlos al es-

tado no conductor durante el frenado. Si se desea, el control de ángulo de fase puede incluirse para hacer disparar los tiristores durante el periodo de tiempo apropiado en cada medio ciclo para controlar la resistencia efectiva de las resistencias para obtener el par de torsión de frenado deseado.

El control por lo tanto funciona para eliminar el elemento resistivo del circuito durante el funcionamiento del motor, de manera que la máquina 10 funcione como un motor de inducción normal con enrollamientos primarios conectados en "Y". Cuando se requiere el frenado, el circuito de liberación de freno 20 detecta esta condición y controla la acción de disparo de los tiristores 16 y 17, consecuentemente. A velocidades más bajas, la elevación de voltaje producida mediante la resistencia 14 puede no ser necesaria tal y como se verá de las curvas B y C en la Figura 3, y cuando la velocidad está en esta escala menor, los tiristores pueden mantenerse en estado conductor para eliminar las resistencias del circuito. A velocidades más elevadas, o cuando los pares de torsión de frenado más elevados se requieren, los tiristores se llevan al estado no conductor, para insertar las resistencias en el circuito y pueden controlarse tal y como se indica en lo que antecede para variar la re-

sistencia efectiva a fin de obtener el par de torsión de frenado deseado.

En la modalidad de la invención mostrada en la Figura 1 y descrita en lo que antecede, el motor 10 se hace funcionar en un modo de frenado parcialmente regenerativo y parcialmente dinámico para proporcionar el par de torsión de frenado; se regenera cierta cantidad de la energía de nuevo hacia la fuente de corriente directa a través del aparato de inversión y el resto se disipa como calor en las resistencias 14. La Figura 4 muestra otra modalidad de la invención en donde la potencia de frenado se regenera totalmente y se hace regresar hacia el abastecimiento de corriente directa. En esta modalidad, el motor 10 y sus enrollamientos primarios 11 son iguales que aquellos descritos anteriormente y se suministran de manera semejante desde el aparato de inversión 13, con una corriente alterna de frecuencia variable y voltaje variable. Es esta modalidad de la invención, sin embargo, los enrollamientos trifásicos 11 del motor 10 están conectados respectivamente con los enrollamientos primarios de los transformadores 30 que se conectan en "Y" en un punto neutral 31. Como anteriormente, pares de tiristores conectados opuestamente 16 y 17 se conectan para usarse durante el funcionamiento

del motor. Los enrollamientos secundarios de los transformadores 30 también se conectan en "Y" en un punto neutral 32 y su salida se conecta con un puente rectificador trifásico 33. La salida del puente rectificador 33 se conecta a través de los conductores 34 con el abastecimiento de corriente directa.

Se verá que la combinación de los transformadores 30 y el puente rectificador 33 que realimentan hacia el abastecimiento de corriente directa, constituye un circuito de carga resistivo conectado en relación en serie con los enrollamientos del motor y tiene prácticamente el mismo efecto que las resistencias 14 de la Figura 1. Por lo tanto, se produce una elevación de voltaje a través de los enrollamientos 11 de la misma manera que en la modalidad anterior a fin de que se obtenga el par de torsión de frenado requerido de la misma manera. La modalidad de la Figura 4, sin embargo, tiene la ventaja de que prácticamente toda la potencia de frenado se regenera de nuevo hacia la línea de abastecimiento y se recupera en vez de disiparse tal como en la Figura 1. Los tiristores 16 y 17 si se usan pueden controlarse de la misma manera que se ha descrito en lo que antecede, para colocar en cortocircuito el transformador 30 durante el funcionamiento del motor de manera que los enrollamien-

tos 11, simplemente se conectan en "Y" para el funcionamiento del motor. El par de torsión de frenado puede controlarse mediante el control de ángulo de fase de los tiristores, si se desea, y el funcionamiento es esencialmente igual que aquel descrito en lo que antecede, en relación con la Figura 1.

En la modalidad mostrada en la Figura 4, se muestran transformadores convencionales 30 de dos enrollamientos. Desde luego es posible reemplazar los transformadores 30 por autotransformadores para obtener las relaciones de voltaje deseadas, a un costo algo menor. Este circuito puede todavía simplificarse más todavía en algunos casos eliminando enteramente los transformadores. Es decir, si la relación del transformador puede ser de 1:1, entonces el transformador mismo se hace innecesario y puede eliminarse conduciendo el circuito mostrado en la Figura 5, en donde el puente rectificador 33 se conecta directamente con los enrollamientos del motor 11. Los tiristores 16 y 17 se conectan y se controlan tal y como se ha descrito anteriormente. En esta configuración de circuito, se requiere un reactor de interfase que consiste de los enrollamientos 35 en serie con las líneas de corriente directa 34 y acoplados junto por ejemplo, enrollándose en un núcleo común 36. Este se requiere

para sustentar los componentes de vibración del voltaje que aparecen en los terminales de salida de corriente directa del puente rectificador 33 y la fuente de corriente directa. Se verá, sin embargo, que en este caso, el puente rectificador 33 y el circuito de abastecimiento también actúan eficazmente como una carga resistiva en relación en serie con los enrollamientos del motor y por lo tanto se produce una elevación de voltaje de la misma manera que aquella anteriormente descrita.

10 Será ahora evidente que se ha dado a conocer un circuito de motor mejorado para proporcionar un par de torsión de frenado aumentado durante una operación de frenado de un motor de inducción de jaula de ardilla y este par de torsión aumentado se obtiene sin requerir
15 aumento en el voltaje aplicado desde la fuente de energía. El par de torsión de frenado que se obtiene de esta manera puede controlarse fácilmente mediante el control del accionamiento de los tiristores de cortocircuito, el cual puede efectuarse de cualquier manera deseada. Se proporciona un elemento relativamente sencillo y muy efectivo
20 para obtener los pares de torsión de frenado deseados y permitir un funcionamiento de frenado regenerativo en ciertas de las modalidades descritas para permitir la recuperación de la potencia de frenado. Se comprenderá
25 también que, aún cuando la invención se ha descrito con

referencia a motores de inducción, los principios amplios de la invención son también aplicables a otros motores, v.gr., motores sincrónicos.

5

- REIVINDICACIONES -

10

Los puntos de invención propia y nueva, que se presentan para que sean objeto de esta solicitud de Patente de Invención en España, por VEINTE años, son los que se recogen en las reivindicaciones siguientes:

15

20

25

1ª.- Un aparato impulsor eléctrico de velocidad variable capaz de frenado regenerativo, que comprende: un motor eléctrico que tiene enrollamientos primarios polifásicos; una fuente de voltaje de frecuencia variable aplicada a dichos enrollamientos primarios para hacer funcionar dicho motor a velocidades variables, ya sea en un modo de funcionamiento de motor o un modo de frenado; una pluralidad de resistencias, estando conectada una diferente entre dichas resistencias en se-

rie con cada uno de dichos enrollamientos primarios; una pluralidad de elementos de conmutación de estado sólido, estando conectado uno diferente de entre dichos elementos de conmutación en paralelo con cada una de dichas resistencias para poner en cortocircuito a dichas resistencias durante dicho modo de funcionamiento de motor; y elementos para controlar la conducción de dichos elementos de conmutación a fin de controlar el valor efectivo de dichas resistencias durante dicho modo de frenado.

5
10 2ª.- El aparato de la reivindicación 1ª, en el que dicha fuente comprende un aparato de inversión conectado a una fuente de energía de corriente directa.

 3ª.- El aparato de la reivindicación 1ª, en el que cada uno de dichos elementos de conmutación comprende un
15 tiristor.

 4ª.- El aparato de la reivindicación 1ª, que incluye: un segundo tiristor conectado en paralelo con cada una de dichas resistencias y con sus polos colocados en sentido opuesto respecto al tiristor de dichos primeros elementos de conmutación.
20

 5ª.- El aparato de la reivindicación 1ª, en el que el número de fases en los enrollamientos primarios poli-fásicos es de tres, y en el que la pluralidad de elementos de impedancia comprenden tres resistencias conectadas en estrella que tienen terminales conectados con las fases respec-
25

tivas del enrollamiento primario polifásico, incluyendo dichos elementos de conmutación interruptores de estado sólido conectados a través de las resistencias conectadas en estrella a fin de colocar en cortocircuito las resistencias durante el modo de funcionamiento de motor.

5
6ª.- El aparato de la reivindicación 5ª, en el que dichos interruptores de estado sólido están dispuestos en tres grupos, conteniendo cada grupo dos interruptores de estado sólido conectados en antiparalelo.

10
7ª.- Un aparato impulsor eléctrico de velocidad variable capaz de frenado regenerativo.

Tal y como se ha descrito en la Memoria que antecede, representado en los dibujos que se acompañan y para los fines que se han especificado.

15
Esta Memoria consta de veintidos hojas escritas a máquina por una sola cara.

Madrid, 12. MAY 1976

P.A.

Fernando de Elizaburu

Por Poder.



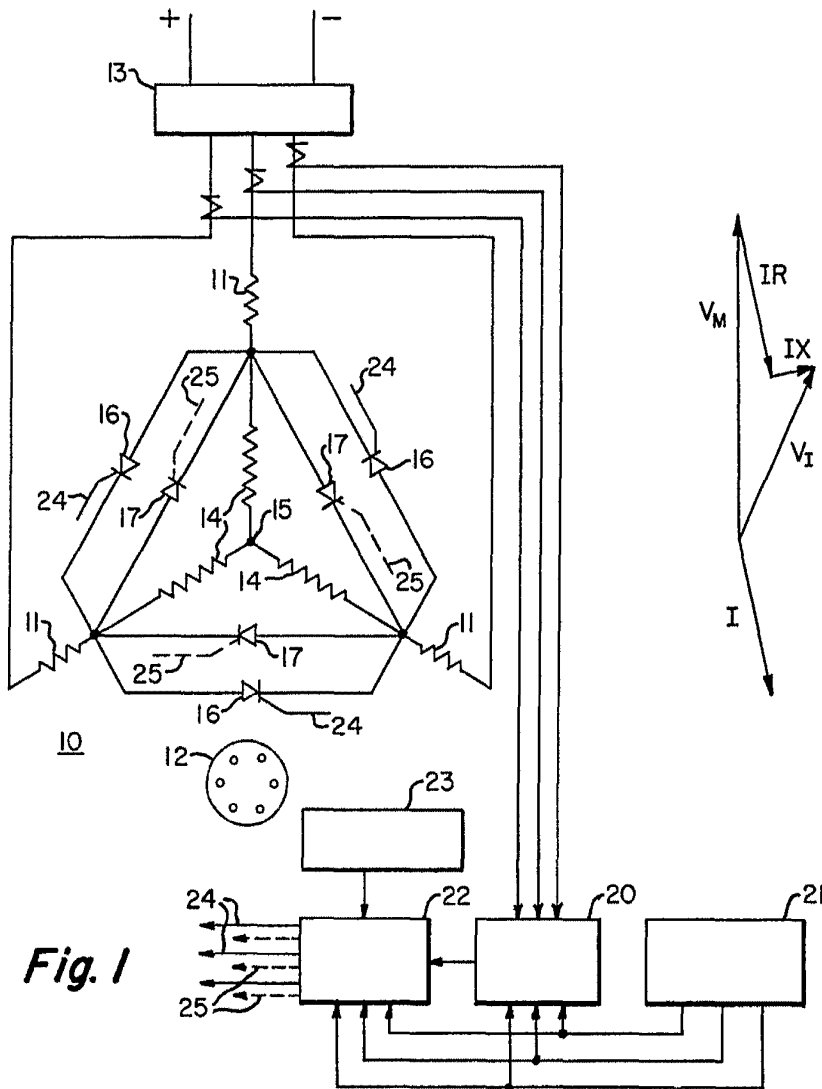


Fig. 1

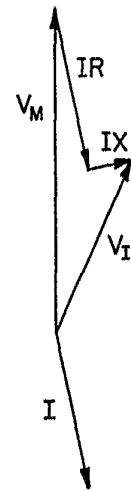


Fig. 2

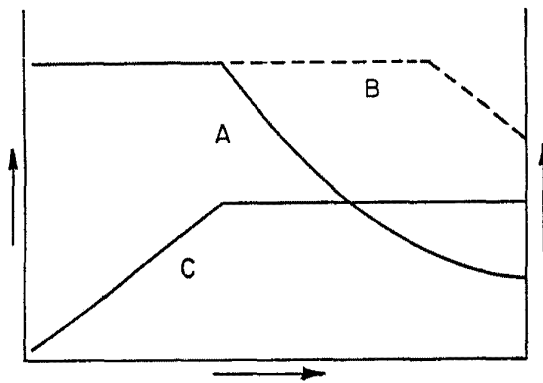
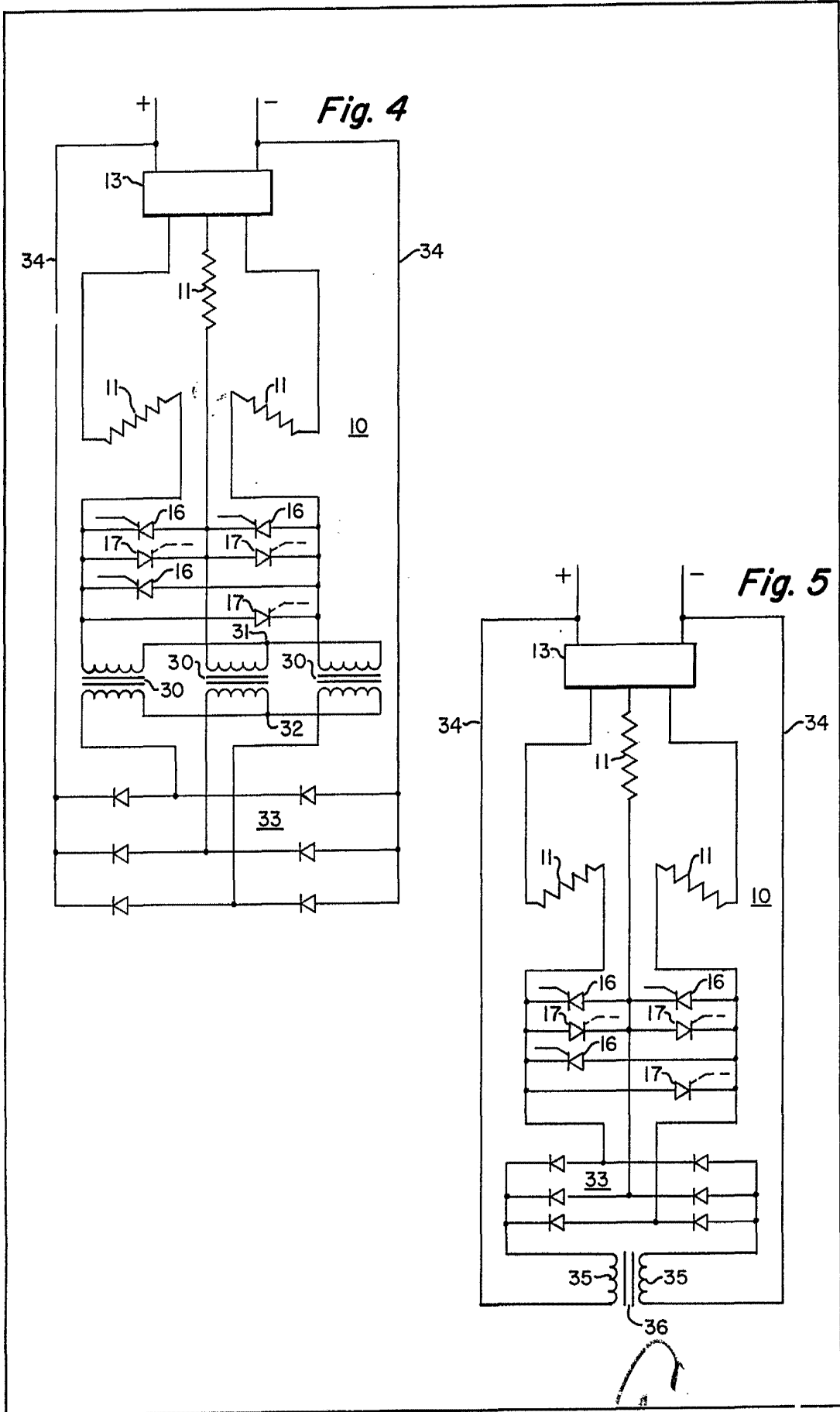


Fig. 3

Fernando de...
For Power.



For Patent
For Patent