



ESPAÑA



19	ES	11	NUMERO	10	A1
		21	446.815		
		22	FECHA DE PRESENTACION		
			8 Abril 1976		

Dkt. 20-TT-601

PATENTE DE INVENCION

30 PRIORIDADES:		
31 NUMERO	32 FECHA	33 PAIS
568.120	14 Abril 1975	Estados Unidos
47 FECHA DE PUBLICIDAD	51 CLASIFICACION INTERNACIONAL	62 PATENTE DE LA QUE ES DIVISIONARIA
	H02P	
64 TITULO DE LA INVENCION		
"MEJORAS EN LA CONSTRUCCION DE CIRCUITOS DE CONTROL REGULADORES DE PAR MOTOR EFECTIVO EN MOTORES DE INDUCCION DE CORRIENTE ALTERNA"		
71 SOLICITANTE (S)		
GENERAL ELECTRIC COMPANY		
DOMICILIO DEL SOLICITANTE		
SCHENECTADY, N.Y. (EE.UU.), River Road, 1		
72 INVENTOR (ES)		
Mr. Allan Barr Plunkett		
73 TITULAR (ES)		
74 REPRESENTANTE		
Don Pedro Feliu Masá		



MEMORIA DESCRIPTIVA

=====

El presente invento se relaciona con un circuito para medir el par motor efectivo desarrollado por un motor de inducción de corriente alterna.

5 El invento también se refiere a un nuevo sistema de control de motor de inducción de corriente alterna regulador del par motor mejorado con aquel circuito.

Más particularmente, el invento se relaciona con un sistema de control regulador de par de fuerza motor para uso con motores de inducción de voltaje variable, frecuencia variable, -
10 del tipo usado normalmente para propulsiones de motor de tracción y en que se consigue un control mejorado del par motriz de motor, palpando efectivamente el verdadero flujo motor y derivando, del flujo motor verdadero palpado, una señal de realimentación de par motor efectivo, que se emplea para regular el
15 funcionamiento del motor de inducción.

En sistemas de impulsión de motor de tracción, tales como los que se emplean en vehículos de tránsito, locomotoras eléctricas y análogos, es deseable controlar íntimamente o regular estrechamente el par motor de salida efectivo de motores de inducción de voltaje variable y velocidad variable, usados en tales sistemas de propulsión de motor de tracción. Esta exigencia es debida al hecho de que el par motor de salida efectivo es el -
20 factor primario, que controla la aceleración, la velocidad motriz, deceleración, velocidad de frenaje, etc. e influye principalmente sobre la seguridad y comodidad del pasajero.

Existe un número de métodos reguladores de par motor mecánicos conocidos, que emplean medios mecánicos para medir el par motor efectivo de un motor de inducción. Tales disposiciones medidas de par motor mecánicas requieren espacio físico para ob
30



tener una medición de par motor mecánica y después convertir la medición mecánica a una señal eléctrica correspondiente, proporcional al par motor efectivo. Todas estas disposiciones medidoras de par motor mecánicas conocidas son bastante susceptibles de fallo y requieren espacio extra en la transmisión entre el motor y la unidad de engranaje, normalmente impulsados por un motor de tracción de inducción. Puesto que tal espacio es adicional y no está disponible normalmente en vehículos de tránsito de alta velocidad, locomotoras eléctricas y semejantes sin un considerable sacrificio, los conocidos métodos medidores de par motor mecánicos conocidos no han sido utilizados ampliamente.

Los métodos conocidos eléctricos de la técnica anterior de regulación de par motor, usados con propulsiones de tracción de motor de inducción de voltaje variable y velocidad variable, no han empleado hasta ahora el verdadero par motor o par efectivo motor en un sistema totalmente eléctrico de control de lazo de realimentación cerrado. Se han hecho muchos intentos para tratar de regular el par motor en un sistema totalmente eléctrico en el pasado; sin embargo, todos estos sistemas conocidos hasta ahora han usado algún componente de la corriente del estator -- del motor como una medida de nivel de par de motor que está produciendo el motor. Tales sistemas eléctricos conocidos también pueden haber empleado el resbalamiento de motor, la velocidad efectiva del motor, el nivel de flujo efectivo y, posiblemente, el componente real de la corriente de estator del motor para regular el par motriz del motor. Uno de tales métodos eléctricos de regulación de par motor, se describe en la patente de EE.UU. nº 3.593.083 concedida el 13 de Julio de 1971 para un aparato para procurar los valores piloto de características de una máqui-



na trifásica asíncrona, por Felix Blaschke, inventor, que utiliza una técnica de análisis de par motor de circuito equivalente a un estado constante de dos ejes empleando una corriente de línea de estator palpada, como la medida del par motor.

5 Este sistema conocido es sensible a variaciones de los parámetros internos del motor debido a cambios de temperatura y puede dar por resultado un error en el cálculo del par motor efectivo tanto como de 25% o más.

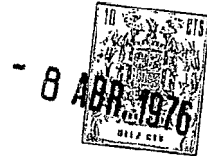
10 Se encuentra dificultad en los métodos eléctricos, conocidos anteriormente, de regulación de par motriz de motor que palpaban y utilizaban la corriente del estator como una medida del par motriz del motor, debido al hecho de que la señal de control de realimentación de par motor resultante, derivada de tal sistema no sólo es sensible a la forma de onda del convertidor
15 de fuerza, sino que es bastante susceptible a pérdidas en el motor debidas a cambios de resistencia del estator, cambios en los parámetros físicos del rotor debido a calor, pérdidas armónicas o armónicos que ocurren en el voltaje de línea, que abas-
tece al motor. Por consiguiente, tales métodos eléctricos conocidos de medición de par motor y de su regulación, no han sido
20 enteramente satisfactorios.

Por lo tanto, es un objeto principal del presente invento procurar un sistema de control de motor de inducción regulador del par motor, eléctrico mejorado en que se consigue control -
25 mejorado sobre par motor reducido por el motor de inducción,-- palpando efectivamente el verdadero flujo motor y derivando, - del flujo motor verdadero palpado, una señal de realimentación de par motor efectivo, que se emplea para regular el funciona-
30 miento del motor de inducción.



Otro objeto del invento es la provisión de una nueva dis
posición medidora de par motor, eléctrica mejorada, usando --
técnicas eléctricas para medir el par motor efectivo de un mo
tor de inducción de corriente alterna y que es capaz de ser
5 utilizado con sistemas de control de motor del tipo arriba --
descrito.

Al poner en práctica este invento, un sistema de control
de motor de inducción de corriente alterna regulador de par -
motor se provée y comprende medios de bobina palpadora, monta
10 dos sobre el estator de motor de inducción para palpar el flu
jo efectivo producido a través del entrehierro del rotor-esta-
tor del motor y para derivar una señal de voltaje de flujo de
motor de salida proporcional al mismo. Están previstos medios
de circuito integrador para integrar la señal de voltaje para
15 obtener una señal de flujo de motor efectivo palpado de reali
mentación representativa del flujo efectivo del entrehierro.
Se suministra un medio de circuito de realimentación de par mo
tor efectivo con la señal de flujo de motor de entrehierro --
efectivo y una señal de corriente de línea de estator de en--
20 trada, y deriva de ello un valor de salida efectivo de señal
de control de realimentación de par motor. Esta señal de con-
trol de realimentación de par de motor efectivo se suministra,
a través de un primer medio de lazo de control de realimenta-
ción, para controlar la frecuencia de funcionamiento de cir--
25 cuito convertidor de energía, que impulsa el motor de inducción
de una manera que obtenga un valor sustancialmente controlado
de frecuencia de voltaje de excitación de estator. También se
ha previsto un segundo medio de lazo de control de realimenta-
ción, que responde a la señal de flujo efectivo palpado de rea
30 limentación y controla el nivel de energía de entrada al medio



convertidor de energía para contener un nivel sustancialmente controlado del flujo de entrehierro de rotor-estator. El efecto combinado del primero y segundo lazos de control de realimentación mantiene el funcionamiento del motor de inducción a un valor controlado de par motor.

El medio de circuito de realimentación de par motor efectivo comprende un circuito elaborador de señal de flujo efectivo acoplada a la salida desde el circuito integrador para derivar de la señal de flujo efectivos respectivos componentes Ψ_d y Ψ_g de señal de flujo de ejes directos y de cuadratura de flujo. Están previstos medios palpadores de corriente de motor para palpar la corriente de línea de estator de motor y derivando señales de corriente de motor de salida que se aportan a un circuito elaborador de señal de corriente de motor para derivar respectivas señales i_{ds} y i_{gs} de corriente de motor de ejes directos y de cuadratura respectivos. Un primer circuito multiplicador, sprovisionado por el circuito de elaboración de señal de flujo y el circuito elaborador de señal de corriente de motor multiplica la señal de flujo de eje de curvatura y la señal de corriente de motor de eje directo y deriva una salida ($\Psi_g i_{ds}$) representativa de su producto. Un segundo circuito multiplicador, acoplado al circuito elaborador de señal de flujo efectivo y el circuito elaborador de señal de corriente de motor multiplica la señal de flujo de eje directo y la señal de corriente de motor de eje de cuadratura y deriva una salida ($\Psi_d i_{gs}$) representativa de su producto. Un circuito sumador, acoplado a la salida tanto del primer -- circuito, como del segundo circuito multiplicador, suma las salidas y deriva una señal de salida resultante que es representativa del valor efectivo del par motor desarrollado por el --



motor.

El primer lazo de control de realimentación comprende un circuito de mando de par motor para derivar un valor de mando de entrada de señal de control de par motor representativa del valor deseado de par motor, que debe desarrollarse por el motor de inducción. Un circuito sumador de par motor está previsto para que suministre, tanto el valor de mando de entrada del par motor, como el valor efectivo de realimentación de señal de control del par motor y deriva una señal de error de par motor representativa de cualquier diferencia. Un medio de circuito elaborador de señal de error está acoplado a la salida del circuito sumador para derivar de la señal de error de par motor una señal de control de frecuencia de resbalamiento compensada. La señal de frecuencia de resbalamiento entonces se convierte en una señal de control de frecuencia de voltaje de excitación de estator, que se aplica, a través de apropiados circuitos de control, para controlar la frecuencia de funcionamiento del convertidor de energía que suministra el motor de inducción.

El segundo medio del lazo de control de realimentación comprende medios de rectificador y de circuito promediador, que responden a la salida desde el circuito integrador para derivar un valor efectivo medio de señal de control de realimentación de flujo de motor. Están previstos medios de circuito de mando de flujo de motor para suministrar un valor de mando de entrada de señal de control de flujo de motor, representativa de un valor deseado de flujo de motor que deba ser desarrollado a través del entrehierro de rotor-estator, del motor de inducción. Un medio de circuito sumador de señal de flujo de motor responde, tanto al valor de mando de entrada



del flujo motor, como del valor efectivo medio de la señal de realimentación de flujo motor y deriva una señal de error de flujo motor, representativa de cualquier diferencia. Esta señal de error de flujo de motor entonces es utilizada para controlar el nivel de energía de funcionamiento del medio de circuito convertidor de energía que abastece al motor de inducción de una manera que mantenga la señal de realimentación de flujo medio efectivo sustancialmente igual en valor al deseado valor de mando de la señal de flujo.

10 En una forma preferida del invento, el sistema está destinado al funcionamiento con motores de inducción trifásicos de velocidad variable, voltaje variable, de corriente alterna para uso de sistemas de propulsión de tracción del tipo empleado en vehículos de tránsito eléctricos, locomotoras eléctricas y análogos.

15 Estos y otros objetos, característicos y muchas de las ventajas inherentes a este invento, se apreciarán más fácilmente según se vaya comprendiendo el mismo haciendo referencia a la siguiente descripción detallada cuando se la considere en conexión con los dibujos anexos, en que partes semejantes en cada una de las varias figuras se identifican por el mismo signo de referencia y en que la figura 1 es un diagrama de bloque funcional de un nuevo sistema de control de motor de inducción, regulador de par de fuerzas de motor eléctrico, mejorado, construido de acuerdo con el invento;

20 En la figura 1, significan: a = avance; b = retroceso; -- c = par motor; d = estator; e = + motor; f = árbol; g = --freno; h = resbalamiento; i = llamada T +; i' = llamada F +.

25 La figura 2 es un diagrama de bloque funcional de una nueva disposición palpadora y medidora de par motor utilizada

30



y comprendiendo una parte del sistema de control regulador de par motor, mostrado en la figura 1 y

5 La figura 3 es un diagrama de circuito detallado de la nueva disposición palpadora y medidora de par motor, mostrada en el diagrama de bloque funcional de la figura 2. En la figura 3A significan: A = flujo A= B = flujo B; G = significa hacia la figura 3 B; C = flujo C; N = significa flujo N; en la figura 3B significan D = par motor D y E = significa par motor.

10 La figura 1 es un diagrama de bloque funcional del nuevo sistema de control mejorado de motor de inducción regulador de par motor, construido de acuerdo con el invento. En la figura 1 se ilustra un motor de inducción de corriente alterna en M y comprende preferentemente un motor de inducción trifásico de voltaje variable de velocidad variable del tipo usado
15 en sistemas de propulsión de motor de tracción para vehículos de tránsito eléctricos, locomotoras eléctricas y análogos. Sin embargo, deberá entenderse que el sistema regulador de par motor, que comprende el invento, puede usarse con cualquier tipo de sistema de propulsión de motor de velocidad variable o
20 velocidad constante empleando motores de inducción, en que se desee procurar una estrecha regulación del par motor producido por el motor de inducción. Sin embargo, es particularmente ventajoso para uso con sistemas de propulsión de motor de tracción de voltaje y velocidad variable para vehículos de tránsito
25 eléctricos, locomotoras eléctricas y otros medios de transportes similares, en que se desee mantener un estrecho control sobre el par motor producido por el motor con el fin de asegurar un seguro y confortable arranque, aceleración, propulsión
30 motriz, deceleración y frenaje (bien sea dinámico o regenera-



tivo) bajo condiciones, tanto favorables, como adversas, que sean impredecibles y en que es de principal importancia la comodidad y seguridad del pasajero.

5 El motor M de inducción particular, mostrado esquemáticamente en la figura 1, describe un motor de inducción trifásico, de velocidad variable, y voltaje variable, en que para mayor simplicidad no se han ilustrado los arrollamientos de estator y rotor del motor. El motor de inducción M ha sido destinado especialmente para incluir una pluralidad de bobinas ϕ_A, ϕ_B, ϕ_C -
10 palpadores de flujo de motor para palpar el flujo efectivo producido a través del entrehierro de rotor-estator del motor de una manera descrita más detalladamente en la memoria expositiva de patente alemana nº 2.551.661 titulada "Aparato para regular flujo magnético en un motor de corriente alterna" (A. B. -
15 Plunkett, inventor) transferida a la General Electric Company. Una descripción de la manera en que están montadas las bobinas ϕ_A, ϕ_B, ϕ_C palpadoras de flujo dentro del motor M se ilustra en las figuras 2 y 4 de aquella memoria expositiva de patente alemana nº 2.551.671. Para el presente propósito es suficiente
20 mencionar que en las bobinas palpadoras cada una tantea el valor efectivo del flujo producido en el entrehierro entre los respectivos juegos de arrollamientos de fase de rotor-estator, -- con que el mismo se relaciona y derivan señales de voltaje de salida que son proporcionales al régimen de variación de flujo
25 a través del entrehierro de rotor-estator.

Las señales de voltaje de salida derivadas de las bobinas palpadoras ϕ_A, ϕ_B, ϕ_C se suministran a través de los conductores -46-, -47- y -48- a circuitos integradores -51-, -52- y --
-53- respectivamente. Los circuitos integradores -51-, -52- y
30 -53- están cada uno conectado al neutro de la bobina por el --



conductor -50- y funcionan para integrar el voltaje de línea a neutro de las respectivas bobinas palpadoras de flujo ϕ_A, ϕ_B, ϕ_C . Los circuitos integradores -51-, -52- y -53- son circuitos convencionales integradores conocidos y ejecutan la siguiente integración:

5 $emf = \frac{d}{dt} \int_S \bar{B} \cdot d\bar{S}$ donde \int_S equivale al área encerrada por el integral de línea del campo eléctrico y \bar{B} equivale al vector de densidad de flujo magnético. Como resultado de la integración, el flujo total para cada juego de arrollamientos de fase se obtiene como se expone en la expresión: $n \Psi = emf dt =$

10 $\int_S \bar{B} \cdot d\bar{S}$ y dá por resultado la producción de las señales Ψ_A, Ψ_B, Ψ_C que comprenden las señales de flujo de motor efectivo palpadas de realimentación representativas de flujo de entrehierro efectivo producido a través de cada juego de arrollamiento de fase del motor de inducción M.

15 Las señales de realimentación de flujo efectivo palpado Ψ_A, Ψ_B, Ψ_C se suministran a través de conductores -54-, -55- y -56- respectivamente, a un juego de terminales de entrada de un circuito -20- de realimentación de par motor. El circuito -20- de realimentación de par motor tiene un juego adicional de

20 terminales de entrada para recibir señales de corriente de línea de realimentación I_A, I_B, I_C , derivadas por un circuito -19- elaborador de corriente de línea y que son representativas del valor de la corriente de excitación de su estator suministrada a los respectivos arrollamientos de estator del motor

25 de inducción M. El circuito -19- elaborador de corriente de estator puede comprender transformadores de corriente convencionales para derivar las deseadas señales I_A, I_B, I_C de corriente de línea de realimentación para cada uno de los arrollamientos de fase de estator. El circuito -20- de realimentación de

30 par motor se describirá con más detalle a continuación respec-



to a las figuras 2 y 3 de los dibujos. En este punto de la ex-
posición, sin embargo, es suficiente mencionar que constituye
un circuito elaborador para elaborar el respectivo valor efec-
tivo de señales Ψ_A, Ψ_B, Ψ_C de realimentación de flujo motor -
5 conjuntamente con las señales I_A, I_B, I_C de realimentación de -
corriente de línea y para derivar respectivos componentes --
 Ψ_d, Ψ_g de señal de flujo de ejes directo y de cuadratura res-
pectivamente y señales de corriente de motor i_{ds}, i_{gs} de ejes
respectivos directo y de cuadratura. El circuito de realimen-
10 tación de par motor entonces sirve para multiplicar la señal
de flujo de eje de cuadratura y la señal de corriente de mo-
tor de eje directo, y para multiplicar la señal de flujo de
eje directo y la señal de corriente de motor de eje de cuadra-
tura y después sumar los productos para derivar una señal de
15 par motor de salida resultante $T = (\Psi_d i_{gs} - \Psi_g i_{ds})K$ repre-
sentativa del valor efectivo del par motor T desarrollado por
el motor de inducción M . Esta señal resultante de par motor -
de realimentación después se suministra, a través del conduc-
tor -18- de realimentación, a una de las entradas de un cir-
20 cuito sumador -21-.

El circuito sumador -21- puede comprender cualquier cir-
cuito conocido convencional sumador o diferencial amplifica--
dor, tales como los descritos en los capítulos 1 y 2 del li--
bro de texto de referencia, titulado "amplificadores operacio-
25 nales diseño y aplicación" por Tobey, Graeme y Huelsman, McGraw-
Hill Book Company, 1971. En adición a la señal T de realimen-
tación de par motor efectivo, el circuito sumador -21- ha su-
ministrado, a un segundo terminal de entrada, una señal de con-
trol de par motor de valor de mando de entrada suministrada -
30 desde un circuito -17- lógico de mando de par motor. Este va-



lor de mando de entrada de la señal de par motor es representativa de un valor deseado de par motor, que deba desarrollarse por el motor de inducción M. El circuito sumador -21- combina el valor de mando del par motor por el valor efectivo de la señal T de par motor y deriva una señal de error de par motor de salida representativa de la polaridad y magnitud de -- cualquier diferencia.

Esta señal de error de par motor es elaborada en el primer lazo de control de realimentación consistente en general en los elementos contenidos en la caja -16- de contorno punteado y que incluye el circuito sumador -21- y un circuito elaborador -24-. El circuito elaborador -24- comprende un amplificador A operacional, que puede ser un amplificador convencional comercialmente disponible, de circuito integrado del tipo descrito en el capítulo 8 del arriba citado libro de texto titulado: Amplificadores operacionales-diseño y aplicación por Tobey, Graeme y Huelsman, publicado por McGraw-Hill Book Company, 1971. La función de transferencia destinada dentro del amplificador A operacional se determina principalmente por el resistor de entrada -23- y elementos de realimentación consistentes en el resistor -27- y capacitor -28-, que están ajustados para proveer al amplificador A_1 operacional con una característica de transferencia integral más proporcional correspondiente a la función según se describe en el libro de texto por D'Azzo y Houppis, titulado "Sistema de control de realimentación, análisis y síntesis", publicado por McGraw-Hill Book Company, 1960. Así se apreciará que el circuito elaborador -24- consistente en el amplificador operacional A_1 opera para derivar, de la señal de error de par motor, una señal compensada, que por definición será tratada como una señal $f_{\text{resbalamiento}}$ deseada de frecuencia de resbalamiento. La deseada señal $f_{\text{resbalamiento}}$ de frecuencia de resbalamiento deseada,



obtenida a la salida del circuito elaborador -24- se suministra a través de un circuito de límite -29- y entonces puede aplicarse directamente para controlar el funcionamiento del motor de inducción M, si se deseara tal disposición, tal como se discutirá posteriormente aquí. Sin embargo, se prefiere --
5 que la señal $f_{\text{resbalamiento}}$ de frecuencia de resbalamiento deseada se suministre a un segundo circuito -31- ó circuito sumador de velocidad también influido y consistente en una parte del primer medio -16- del lazo de control de realimentación, --
10 que controla el motor de inducción M. El circuito -31- sumador de velocidad es similar en su construcción y características al circuito -21- amplificador sumador y, en adición a la señal $f_{\text{resbalamiento}}$ de frecuencia de resbalamiento ha suministrado al mismo una segunda señal $f_{\text{árbol}}$ de velocidad de realimentación de entrada segunda, derivada de un generador -33- --
15 de tacómetro y otro palpador de velocidad similar. La señal $f_{\text{árbol}}$ de velocidad de realimentación es representativa de la velocidad efectiva del árbol del rotor del motor de inducción, medida en hercios.

20 El circuito sumador -31- suma, reuniendo la frecuencia de resbalamiento y las señales de realimentación de velocidad efectiva y deriva, como su salida, una señal de control de velocidad f_{estator} que es representativa de un valor deseado o de mando de frecuencia de corriente de excitación de estator.
25 La señal f_{estator} de control de frecuencia de estator de mando se suministra como la señal de entrada controladora de frecuencia a un circuito -14- generador de forma de onda. El generador -14- de forma de onda puede comprender cualquier generador de forma de onda conocido adecuado, capaz de responder
30 a dos señales de corriente continua de control de entrada, re



presentativas de un deseado valor de frecuencia y de un deseado nivel de energía de salida y produciendo después de ello -- una señal de salida, teniendo forma de onda, sustancialmente sinusoidal, cuya frecuencia está determinada por la señal de control f_{estator} y cuya amplitud está determinada por una segunda señal V controladora del nivel de energía de entrada, --

5 que se describirá con mayor detalle posteriormente.

Diseños adecuados para el circuito -14- de generador de forma de onda se describen en el capítulo 10 del arriba mencionado libro de texto titulado "Amplificadores operacionales--diseño y aplicación" por Toby, Graeme y Huelsman. Mientras que una forma de onda de salida sinusoidal desde el generador -14- de forma de onda es preferida, pueden generarse y utilizarse otras configuraciones de onda para disparar los dispositivos controladores de energía y un circuito -13- convertidor de energía acoplado a la salida desde el generador -14- de forma de onda y que, a su vez, suministran corriente de excitación a -- los arrollamientos de estator de tres fases del motor de inducción M . La magnitud de las corrientes de excitación, suministradas desde el convertidor -13- de energía a los arrollamientos de estator del motor de inducción M , se palpa por el elaborador de corriente -19-, según se describe anteriormente, para derivar el valor efectivo palpado de realimentación de la corriente de línea de estator para cada uno de los arrollamientos de fase I_A , I_B , I_C y suministrando el mismo al circuito -20- de realimentación de par motor.

10

15

20

25

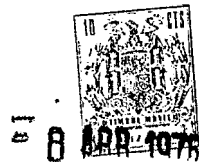
De la precedente descripción se apreciará que el circuito -20- de realimentación de par motor efectivo, en conjunción con el primer medio de lazo de control de realimentación, consistente generalmente en los elementos encerrados en la caja -16- de contorno punteado, funciona para controlar la frecuencia de vol

30



taje de excitación de estator de las corrientes de excitación de estator, suministradas a los arrollamientos trifásicos del motor de inducción M por el convertidor de energía -13-. Como se describirá más detalladamente a continuación, el segundo -
5 de lazo de control de realimentación, ilustrado generalmente por los elementos contenidos dentro de la caja -15- de contorno punteado, responden a la señal de flujo efectivo palpado - de realimentación, derivado por las bobinas palpadoras de flujo ϕ_A , ϕ_B , ϕ_C y funciona para derivar una señal V de control
10 de voltaje de salida, que se aplica al generador -14- de forma de onda de entrada. La señal V de control de voltaje, en conjunción con la señal f_{estator} de control de frecuencia trabajan para controlar la naturaleza de las señales de disparo, suministradas por el generador -14- de forma de onda al con-
15 vertidor de energía -13-, de tal manera que se mantenga un valor sustancialmente controlado de frecuencia de voltaje de excitación y de su amplitud, de modo que se mantenga un nivel - de flujo de entrehierro de rotor-estator del motor controlado, mientras que se mantiene el funcionamiento del motor de inducción M a un valor controlado de par motor.

El convertidor -13- de energía puede comprender cualquier convertidor de energía conocido, adecuado, tal como un inversor modulado de amplitud de impulso, un inversor controlado - de corriente o algún otro circuito inversor de energía similar para convertir energía de corriente continua, suministrada
25 de una fuente -10- de energía de corriente continua, a través de un filtro -11- y un sensor -12- de voltaje de línea, al convertidor de energía -13-. Cuando el motor de inducción M - comprenda un motor de inducción de velocidad variable, voltaje variable,
30 je variable, usado en el sistema de propulsión de tracción de



un vehículo de tránsito, locomotora eléctrica o análogo, la fuente -10- de energía de corriente continua puede comprender un tercer carril alimentado desde sus estaciones de energía colocadas estratégicamente a lo largo del ferrocarril, rectamente en el camino y suministrando en esencia energía de excitación de corriente continua constante a través del filtro -11- al convertidor de energía -13-. El filtro -11- de línea es utilizado para disminuir al mínimo el efecto de picos de voltaje transiente y semejantes, que ocurran en la fuente -10- de energía de corriente continua y para reducir al mínimo la interferencia con cualquier sistema señalizador y para procurar una fuente de voltaje de corriente continua rígida para el convertidor -13- de energía. Si se desees, el convertidor -13- de energía podría comprender un ciclo convertidor funcionando desde una fuente de corriente alterna adecuada. En tal disposición, la fuente -10- de energía de corriente continua y el filtro -11- se reemplazarían por una adecuada fuente de corriente alterna y filtro y el convertidor -13- de energía, en lugar de comprender un in-vertidor, comprendería un ciclo convertidor.

Antes de describir el circuito -20- de realimentación de par motor con mayor detalle, es importante explicar las diferencias entre la técnica presente de medición de par motor y los métodos de la técnica anterior conocida. Como se ha mencionado anteriormente, existen métodos para medir mecánicamente el par motor efectivo del árbol desarrollado -- por un motor de inducción y utilizando aquella medición como la realimentación. Sin embargo, todos los métodos mecánicos conocidos para medir el par motor están expuestos a fallos y requieren espacio físico adicional en la transmisión



entre el motor y la unidad de engranaje y, por lo tanto, no son satisfactorios particularmente para el uso en transmisiones de vehículos de tránsito, donde posiblemente no está disponible el espacio extra.

5 Mientras que existe el número de métodos eléctricos conocidos para medir el par motor del motor, ninguno es enteramente -
satisfactorio, en especial a bajas velocidades, donde la pérdida
de resistencia en el estator del motor es una parte significativa
10 de la energía total, que se suministra al motor. Los métodos
eléctricos, anteriormente conocidos, de regular el par motor del
motor, generalmente comprenden la medición de la corriente sumi-
nistrada a los arrollamientos del estator del motor y la conver-
sión de la medición de corriente del estator en un par motor de
indicio producido por el motor. Estas técnicas tienen la difi-
15 cultad de ser insensibles a cambios en la forma ^{de onda} de la corriente
de excitación de estator, suministrada por el convertidor de --
energía, particularmente a efectos armónicos sobre el motor y -
también son bastante susceptibles de error, debido a pérdidas -
en el motor, introducidas por cambios en la resistencia del es-
20 tator, así como cambios en los parámetros físicos del motor de-
bido a calentamientos. Además, estas técnicas de medición de --
par motor eléctricas tienden a ignorar efectos transientes al -
ir desde una velocidad a otra diferente. Estas deficiencias se
deben, por lo menos en parte, al hecho de que los métodos de la
25 técnica anterior para medir eléctricamente el par motor del mo-
tor, emplean métodos de circuito equivalentes de estado constan-
te de análisis, que excesivamente simplifican el problema. Es--
tos métodos de análisis generalmente suponen condiciones de cir-
cuito equivalentes de estado constante, en que el par motor pro-
30 ducido por el motor se calcula por tanteo de los valores de co-



rriente de rotor, medición de la corriente de excitación del estator o semejantes. La dificultad con estos métodos conocidos es que son solamente aplicables a condiciones de estado constante después de haber muerto todos los transientes y no acomodan directamente efectos armónicos, ni el hecho de que cada armónico tiene su propio circuito equivalente, que es diferente del modelo supuesto de estado constante.

La ecuación 1 abajo expuesta, procura una medida exacta del verdadero par motor de un motor de inducción sin tener en cuenta los defectos armónicos en la forma de onda de la corriente de voltaje de excitación suministrada al motor o efectos transientes producidos por cambios en voltaje/corriente o frecuencia (velocidad de motor) a los que se hace funcionar el motor. La ecuación no es nueva, pero ha sido descrita previamente en un libro de texto titulado "Maquinaria eléctrica"/segunda edición/ por Fitzgerald y Kingsley, publicado por McGraw-Hill Publishing Company, 1961 y aparece como la ecuación 6-57 en la página 293. Esta ecuación da par motor verdadero, es decir, el par motor electromagnético, producido por el flujo electromagnético del motor efectivo a través del entrehierro entre el estator y el rotor y no está afectado -- por armónicos en la forma de onda de voltaje/corriente de excitación, cambios de resistor del estator o cualesquiera variaciones en los parámetros del motor debidos a cambios de temperatura, etc., porque procura una medida del par motor producido directamente. Armónicos en la línea de excitación de estator de voltaje/corriente, cambios de forma de onda, cambios en la frecuencia de excitación (velocidad) y semejantes, no tienen ningún efecto sobre la medición de par motor efectivo. Si el motor responde a los armónicos en el voltaje de suministro,



y produce par motor armónico, la señal de realimentación de par motor efectivo derivada con esta ecuación dará el par motor armónico efectivo producido. La exactitud de la medición del par motor no depende, sin embargo, de tener bobinas tanteadoras de flujo exactas, montadas en el motor, de modo que se obtenga una medición verdadera del flujo electromagnético producido en el entrehierro entre el estator y el rotor del motor.

$$T = K(\Psi_d \dot{i}_{gs} - \Psi_g \dot{i}_{ds}) \quad (1)$$

10 donde: T = par motor

K = constante de proporcionalidad, que se relaciona --
primariamente con el número de fases en el motor y la frecuencia de base.

15 \dot{i}_{ds} = corriente de línea de motor efectiva en eje directo

\dot{i}_{gs} = corriente de línea de motor efectiva en eje de cuadratura

Ψ_d = flujo de entrehierro de motor efectivo en eje directo

20 Ψ_g = flujo de entrehierro de motor efectivo en eje de cuadratura

25 Nota: Los valores de flujo Ψ_d y Ψ_g se expresan en unidades de voltaje en lugar de λ como en el texto, al que arriba se ha hecho referencia, donde λ es una medida en enlace de flujo obtenido desde la reactancia magnetizadora por unidad del motor X_m y $\lambda = X_m \Psi$.

30 En la presente aplicación, como asunto de elección de diseño, se ha empleado un motor de inducción de corriente alterna trifásica, teniendo tres arrollamientos de fase de estator A, B y C. El eje de cuadratura ha sido elegido para es

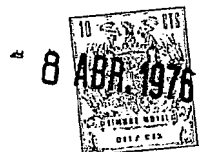


tar en la misma dirección que la fase A del motor de inducción para procurar los términos Ψ_d y i_{gs} . El eje directo está --
 construido por las fases de resolución B y C en una simple variable que será la misma que i_{ds} y Ψ_d . Con estas suposicio--

5 nes, la ecuación (1) se resuelve como sigue:

$$T = \frac{K}{\sqrt{3}} (\Psi_C - \Psi_B) I_A - \frac{K}{\sqrt{3}} \Psi_A (I_C - I_B) \quad (2)$$

La figura 2 es un diagrama de bloque funcional simplifica
 do, ilustrando la construcción del circuito -20- de realimenta
 10 ción de par motor para completar la ecuación (2) arriba señala
 da. Como se ilustra en la figura 2, cada una de las bobinas ϕ_A ,
 ϕ_B , ϕ_C tanteadoras de arrollamiento de fase separada, tiene -
 su señal de salida de voltaje suministrada a través de respec
 tivos circuitos integradores -51-, -52- y -53- para derivar --
 15 las señales Ψ_A , Ψ_B , Ψ_C de flujo efectivo palpado de realimen
 tación representativas del flujo de entrehierro actual produci
 do en el entrehierro entre rotor y estator del motor de induc
 ción por los respectivos arrollamientos de fase (no ilustrado).
 Como se ha indicado arriba, por elección del diseño, el eje de
 20 cuadratura ha sido elegido para estar en la misma dirección --
 que la fase A y, por lo tanto, la señal de flujo efectivo Ψ_A -
 representa la señal Ψ_{gs} de flujo de eje de cuadratura y la co
 rriente I_A de línea de la fase A representa el eje de cuadratu
 ra de la corriente de línea I_A . La señal de flujo de eje di--
 25 recto y la corriente de línea están construidas resolviendo --
 las fases B y C en una simple variable. Esto se consigue suman
 do las señales de flujo Ψ_B y Ψ_C en un circuito sumador -71- y
 suministrando la salida a través de un circuito -72- que intro
 duce el factor de proporcionalidad constante $\frac{K}{\sqrt{3}}$ identificado
 30 en la ecuación (2) arriba citada y procura la señal Ψ_d de flujo



de eje directo en su salida. De una manera similar, las corrientes I_B y I_C de línea de las fases B y C, están unidas por su suma en un circuito sumador -74- y la salida resultante, suministrada a través de un circuito -75- para introducir de nuevo el factor constante $\frac{K}{\sqrt{3}}$, para procurar por ello la corriente i_{ds} de eje directo a la salida del filtro -75-. La corriente de línea de eje directo y la señal de flujo de eje de cuadratura se multiplican entre sí en un multiplicador -76- para procurar el producto $(\Psi_g i_{ds})$ que es el segundo término en la ecuación (1).

10 Similarmente la corriente de línea de eje de cuadratura y la señal de flujo de eje directo se multiplican en un multiplicador -73- para procurar el producto $(\Psi_d i_{gs})$ que es el primer término de la ecuación (1). Los dos productos que aparecen en las salidas de los multiplicadores -73- y -76- se suman entre sí en un

15 circuito sumador -77- y la resultante señal de salida se aplica a través de un filtro -78- que alisa la salida del sumador -77- y produce la señal de par motor medio resultante: $T = K (\Psi_d i_{gs} - \Psi_g i_{ds})$ de acuerdo con la ecuación (1). En esta ecuación K es una constante determinada por el número y el área

20 de los dientes de estator del motor, el número de vueltas de las bobinas tanteadoras y la ganancia de los integradores -51-, -52- y -53-.

La figura 3 es un diagrama detallado de circuito ilustrando una forma de ejecución preferida para el circuito -20- de realimentación de par motor. En la figura 3, los tres circuitos integradores -51-, -52- y -53-, se ilustran en el margen superior izquierdo del dibujo y se abastecen de señales de flujo de entrada derivadas de las bobinas palpadoras de flujo del motor en el estator del motor de inducción. Los circuitos integradores -51-, -52- y -53-, comprenden amplificadores operacio

25

30



nales de circuito integrado monolítico convencionales comercialmente disponibles, tales como el LM 107 fabricado y vendido por National Semiconductor Corp. y descritos en su manual de datos de circuitos lineales integrados. De acuerdo con la

5 convención arriba discutida, el flujo de la fase A y las señales de corriente se eligen como flujo de ejes de cuadratura y señales de corriente respectivamente y, de acuerdo con ello, la salida del circuito -51- integrador de flujo se suministra directamente a un terminal de entrada del circuito

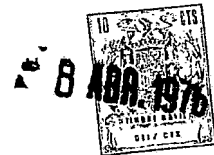
10 multiplicador -76-. Los circuitos multiplicadores -76- y -73- son ambos multiplicadores de circuito integrados monolíticos, comercialmente disponibles, convencionales, tales como el AD 532 SD fabricado y vendido por Analog Devices, Inc. Las salidas de los dos circuitos integradores -52- y -53- se combinan en el circuito sumador -71- que, de nuevo, comprende un

15 amplificador operacional de circuito integrado monolítico -- convencional, comercialmente disponible, tal como el 747 fabricado y vendido por la casa Motorola Semiconductor Products, Inc. según se describe en un manual publicado por aquella sociedad titulado circuitos integrados lineales. A la salida -

20 del circuito sumador -71- se obtiene una señal proporcional a $\frac{(\psi_C - \psi_B)}{\sqrt{3}}$ y se suministra a uno de los terminales de entrada del circuito multiplicador -73-. La corriente I_A de línea de la fase A se suministra directamente a un terminal de

25 entrada de un amplificador -81- operacional de circuito integrado que puede ser similar al IC Amp 71 y cuya salida se suministra directamente como una segunda entrada al circuito multiplicador -73-. Las dos restantes corrientes de línea -- I_B y I_C se suman uniéndose en la salida de un circuito sumador -75- consistente en un amplificador operacional de cir--

30



cuito integrado convencional, comercialmente disponible, mono-
 lítico -747-, cuya señal de salida es proporcional al valor --
 $\left(\frac{I_C - I_B}{\sqrt{3}}\right)$ y se suministra como la segunda entrada al primera-
 mente mencionado circuito multiplicador -76-.

5

Los dos circuitos multiplicadores -76- y -73- se destinan
 a ejecutar la operación de multiplicación

$$\left[\frac{(X_1 - X_2)(Y_1 - Y_2)}{10} \right]$$

10 donde $\Psi_A = X_1$ y $\left(\frac{I_C - I_B}{\sqrt{3}}\right) = Y_1$, y $X_2 = Y_2 = 0$. El multiplicador

-73- ejecuta la misma operación de multiplicación donde el va-
 lor $\left(\frac{\Psi_C - \Psi_B}{\sqrt{3}}\right) = X_1$, y $I_A = Y_1$ y $X_2 = Y_2 = 0$. La señal de salida

15

que aparece en la salida del multiplicador -76- representa el prod
 ucto $\Psi_A \left(\frac{I_C - I_B}{10\sqrt{3}}\right)$ y la señal de salida, que aparece en la salida del
 multiplicador -73- representa el producto $\left(\frac{\Psi_C - \Psi_B}{10\sqrt{3}}\right) I_A$. Por ins-

pección se observará que estas dos salidas corresponden a los -
 términos segundo y primero, respectivamente, de la ecuación (2).

20

Las señales de producto de salida de los multiplicadores -
 -73- y -76- se suministran a través de una red -82- conmutadora
 de polaridad consistente en dos juegos separados de transisto-
 res de efecto de campo teniendo sus respectivos electrodos de -
 paso conectados a las salidas desde un par de amplificadores --
 25 -83- impulsores inversores de polaridad. Los amplificadores im-
 pulsores -83-, a su vez, están controlados por una señal de man-
 do de avance o retroceso de entrada, suministrada desde el cir-
 cuito -17- lógico de mando de par motor, mostrado en la figura 1.

30

Los conmutadores -82- inversores de polaridad se han previsto -
 con el fin de cambiar la polaridad de las señales de producto,
 suministradas como entrada al circuito sumador -77- para acomodo



dar movimiento de avance y retroceso del sistema propulsor del motor de tracción incluyendo el motor de inducción M. Se apreciará que, cuando está marchando en marcha atrás, en oposición al avance, un vehículo de tránsito, locomotora u otro vehículo, impulsado por el motor de inducción, la salida del circuito de realimentación de par motor todavía tiene que procurar una indicación exacta del verdadero par motor. En efecto, la salida del circuito medidor de par motor tiene que ser positiva, ya que el árbol del motor se hace girar en una dirección, y negativa si el árbol se gira en la otra dirección. El giro de árbol en la primera dirección puede corresponder a una condición motriz aceleradora o de velocidad constante y el giro del árbol en la dirección opuesta entonces correspondería a la condición deceleradora o frenadora. Por lo tanto, si el vehículo de tránsito entonces es impulsado en la dirección inversa a la dirección de avance, tiene que introducirse un cambiador de signos en algún punto en el sistema con el fin de convertir las señales de par motor de realimentación a la polaridad apropiada, según se define por el convenio arriba indicado. Por este medio se asegura que la señal de par motor de realimentación desde el circuito -20- siempre es positiva, mientras el vehículo está acelerando en condición motriz, y negativa mientras esté decelerando o frenando, sin tener en cuenta de si el vehículo en tránsito está moviéndose avanzando o retrocediendo. El circuito conmutador -82- está previsto para satisfacer este requisito.

Las señales de salida de producto suministradas desde los multiplicadores -73- y -76- a través de la red -82- conmutadora se aplica a la entrada de un circuito sumador -77- que, a su vez, comprende un amplificador operacional de circuito integrado monolítico, disponible comercialmente, convencional tal como



el 747 fabricado y vendido por la casa Motorola Semiconductors Products, Inc. según se describe en el libro de datos de aquella sociedad denominado "Circuitos integrados lineales". El -- circuito sumador suma, uniendo los dos términos del producto, -
5 que aparecen en la salida de los multiplicadores -76- y -73- - para derivar la señal de par motor efectivo de salida resultante
te $T = \left(\frac{\psi_C - \psi_B}{\sqrt{3}} \right) I_A - \psi_A \left(\frac{I_C - I_B}{\sqrt{3}} \right)$ de la que, de una inspección,
puede verse que corresponde a la ecuación (2) y es representativ
10 va del par motor de salida efectivo, producido por el motor. Esta
ta señal resultante de par motor de salida se promedia en un -
circuito -78- de filtro de salida, que puede comprender un am--
plificador operacional de circuito integrado, de construcción -
convencional, tal como el 747. El valor de la señal de par mo--
15 tor de salida promediado se suministra, a través de amplificadodo
res impulsores -83- y -84- de salida, para suministrar la señal
T de par motor palpado, efectivo, volviendo a la entrada del lazo
zo de realimentación. La resultante señal T de par motor efectivo
vo de realimentación, que aparece a la salida de los amplificado
20 dores impulsores -83- y -84- es una representación exacta del -
par motor efectivo del motor y no está afectada por los cambios
de parámetros del motor, por variaciones de temperatura, por vari
riaciones de frecuencia de resbalamiento en el motor, debido a
cambios de resistencia del rotor, por armónicos o por cambios -
25 en el nivel de flujo del motor debido a cambios en la energía -
de entrada o velocidad y representa con precisión el par motor
efectivo, que se está desarrollando por el motor en cualquier -
instante de tiempo dado.

Como se ha dicho anteriormente, la obtención de un valor -
30 efectivo exacto de señal de par motor desde el circuito medidor

10
8 ABR 1976

del par motor y de realimentación, comprendiendo una parte del presente invento, depende grandemente de tatar con precisión el valor del flujo electromagnético, producido en el entrehierro entre el rotor y estator del motor de inducción. A causa -
5 de este requisito es esencial que el motor se diseñe especialmente para procurar bobinas palpadoras para palpar el flujo en el espacio del entrehierro. Una disposición adecuada para este propósito se ilustra en las figuras 2 y 4 de la antes mencionada memoria expositiva de patente alemana 2.551.671 y se descri-
10 be plenamente en ella; véanse también las figuras 5, 6 y 7, de aquella memoria expositiva de patente alemana 2.551.671 y su descripción. Las bobinas palpadoras están emplazadas de tal modo que se ajusten entre los dientes del estator del motor. Con una disposición de este tipo se asegurará el tanteo preciso del
15 flujo electromagnético producido en el entrehierro entre el estator y el rotor del motor.

Volviendo a la figura 1 de los dibujos, se recordará que - en la forma preferida del invento un generador de tacómetro -33- deriva una señal de velocidad efectivo de realimentación, que -
20 es suministrada al circuito sumador -31- junto con la señal de frecuencia de resbalamiento desarrollada por el amplificador operacional A_1 en el circuito -24- elaborador de señal de par motor. Se ha determinado que el flujo efectivo y la regulación de par motor obtenible por el sistema de control, que comprende
25 el presente invento, hace posible suprimir la realimentación de velocidad, de modo que ya no es necesaria. Se ha determinado que el sistema de control regulará el nivel de flujo y los valores de par motor del motor de inducción con exactitud sin conocimiento alguno de la velocidad o resbalamientos efectivos del mo-
30 tor. Así, se hace en cierto modo redundante una realimentación



de velocidad precisa y ya no se hace necesaria y sólo es deseable con el fin de encontrar la velocidad efectiva del motor -- (frecuencia) si debiera suprimirse la energía por alguna razón. Si se desea, el sistema de control podría diseñarse para investigar y encontrar a que velocidad el motor está marchando efectivamente y suministrarle la frecuencia correcta bajo la influencia de las realimentaciones de flujo y par motor solamente, obviando por ello cualquier necesidad de la realimentación de velocidad. En la forma de ejecución, descrita al presente, sin embargo, la realimentación de velocidad ha sido incluida - para facilitar el trazado de la velocidad del motor por el sistema de control, ya que se exigen cambios de velocidad del motor de inducción por un operador del sistema.

Como se ha descrito anteriormente, el sistema en general consiste en dos lazos de control principales. El primer lazo de control emplea la señal de par motor efectivo de realimentación desde el circuito -20- de realimentación de par motor y - consiste además generalmente en los elementos mostrados en la caja de contorno punteado -16- para controlar la frecuencia del motor. El segundo lazo de control de realimentación se ilustra generalmente por los elementos dentro de la caja de contorno punteado -15- y controla el voltaje del motor. El lazo de control de voltaje de motor ha sido descrito anteriormente en detalle considerable en la arriba mencionada memoria expositiva de patente alemana 2.551.671 y en la memoria de la patente de EE.UU. 3.911.340 siendo el inventor A. B. Plunkett por "método y aparato para compensación automática de IR", que es propiedad de la General Electric Company. Por lo tanto, no hay necesidad de describir el lazo -15- de control de voltaje con mayor detalle. Brevemente, sin embargo, el lazo de control de vol



taje utiliza las señales $\Upsilon_A, \Upsilon_B, \Upsilon_C$ de flujo de motor efectivo palpadas, desarrolladas a la salida de los circuitos integradores -51-, -52- y -53-. Las respectivas señales de flujo de motor se suministran a través de los circuitos rectificadores -57-, -58- y -59- a una red promediadora -60-, que suma y hace el promedio de las señales de flujo motor para derivar una señal F de flujo motor medio de salida, que es representativa del flujo de motor medio efectivo desarrollado por el motor M. Esta señal F de flujo de motor medio se suministra a un tercer circuito sumador -61- en conjunción con un valor de mando de entrada de la señal $F_{llamada}$ de flujo de motor, suministrada desde un circuito -69- de mando lógico de llamada de flujo. El circuito sumador -61- es similar en construcción y funcionamiento al circuito sumador -21- y compara la señal F de flujo de motor medio efectivo con el valor de mando de flujo $F_{llamada}$ para derivar una señal de error de flujo de salida representativa de la polaridad y magnitud de cualquier diferencia.

La señal de error de flujo desde la salida del circuito sumador -61- se suministra a un circuito integrador -62- consistente en un amplificador operacional A_2 , que es similar en construcción al amplificador operacional A_1 , pero tiene la característica de transferencia K_z diseñada en el mismo con el fin de hacer la señal de error de flujo igual a cero bajo condiciones de estado constante.

La señal de control $\frac{V}{H^z}$ que aparece a la salida del amplificador operacional A_2 se suministra a una entrada de un circuito multiplicador -66-. El circuito multiplicador -66- tiene una segunda entrada, a la que se suministra la señal de mando de frecuencia $f_{estator}$, que aparece a la salida del circuito sumador de velocidad -31- y funciona para multiplicar es



tas dos señales entre sí, para derivar una señal de control de voltaje de salida, que puede ser aplicada directamente para -- controlar la entrada de voltaje del generador -14- en forma de onda. El multiplicador -66- puede comprender un multiplicador
5 de circuito integrado convencional disponible comercialmente, tal como aquellos descritos en el arriba mencionado texto de - Graeme, Tobey y Huelsman en el capítulo 7, sección 7, 5, ó como se describe en el libro de texto titulado "Computación análoga" por Albert Jackson, publicado por McGraw-Hill Book Company
10 en 1960. El multiplicador -66- trabaja para mantener una proporción constante de voltaje motor a frecuencia de corriente de excitación de mando y da por resultado la producción de un flujo de entrehierro controlado para el motor de inducción. La conexión cruzada de la señal de control de frecuencia f_{estator} del
15 lazo de control de velocidad en el lazo de control de voltaje, por medio de multiplicador -66-, mejora grandemente la estabilidad y la respuesta del sistema de control general, especialmente durante operaciones de frenado. Finalmente por este expediente el canal de control de voltaje no se requiere que com--
20 pense cambios instantáneos de velocidad y así no requiere acción de lazo de control rápido.

En adición al multiplicador -66- es deseable incluir en el lazo de control de voltaje un circuito divisor -67- de construcción convencional para compensar cambios de voltaje de la
25 línea de corriente continua, particularmente si el convertidor de energía -13- comprende un inversor modulado de amplitud de impulso. Con este expediente, voltaje de excitación de corriente alterna, aplicado al motor de inducción M por el convertidor -13- de energía, se mantendrá sustancialmente constante e
30 independiente de variaciones de voltaje de la línea de corrien



te continua. Esto se consigue por razón del hecho de que cualesquiera variaciones de voltaje de línea se cancelarán por apropiada compensación de la señal V de control de voltaje, derivada a la salida del circuito divisor -67- y suministrada para controlar el voltaje del convertidor de energía -13-. El circuito divisor -67- puede ser inserto, bien sea por delante o después del multiplicador -66- como se ilustra en la figura 1, y puede ser de cualquier tipo normalizado, tal como el divisor descrito en el arriba mencionado libro de texto por Tobey, Craeme y Huelsman, capítulo 7, sección 7.5.7 ó en el libro de texto "computación análoga" por Albert Jackson.

Una característica de control extra, que ha sido incluida en ejecuciones preferidas del sistema de control, utiliza un sensor -12- de voltaje de línea para palpar el valor de voltaje de línea, suministrado por la fuente -10- de corriente continua, a través del filtro -11- al circuito convertidor de energía -13-. Este valor palpado del voltaje de línea es diferenciado por un circuito diferenciador -81- y suministrado, como una tercera entrada, al primer circuito sumador -21- en el primer lazo o lazo de control de realimentación de par motor, que comprende el canal de control de frecuencia del sistema general. El valor diferenciado del voltaje inversor de línea de entrada etiquetado como V_{INV} , se utiliza para estabilizar la acción del lazo de control durante el frenado, especialmente frenado dinámico. Esto es particularmente ventajoso para aplicaciones de vehículos de tránsito donde la función de transferencia del motor de inducción puede no ser tan buena como se necesita y con el fin de acelerar la respuesta del control. El voltaje de línea diferenciado de realimentación mejora grandemente la velocidad de respuesta y la estabilidad del sistema y se discute más plenamente en un artículo



lo, en que colabora A.B. Plunkett el inventor de la presente y por T.A. Lipo y titulado "Nuevos métodos de regulación de par motor de un motor de inducción" que aparece en el registro de la conferencia de la Sociedad de Aplicaciones Industriales de octubre de 1974 habiendo copias disponibles en el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) Nueva York, Estado de Nueva York.

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema de control del motor de inducción mejorado, regulador de par motor, que comprende el presente invento, emplea dos lazos de control principales, uno de los cuales controla la frecuencia del motor y el otro controla el voltaje del motor. El canal de control de voltaje de motor, ha sido descrito previamente en la arriba citada memoria expositiva de patente alemana 2.551.671 (véase también la arriba mencionada memoria de patente de EE.UU. 3.911.340). El mismo utiliza un valor palpado del flujo de motor medio como señal de control de realimentación. El error entre el flujo de motor medio palpado y el valor de mando del flujo motor, impulsa un amplificador operacional teniendo una función de transferencia, que integra el error y le convierte para producir una señal de voltios por hercio, que se utiliza para impulsar el convertidor de energía en una dirección para que el error sea cero. La señal de control de voltios por hercio se suministra preferentemente a través de un multiplicador, que la multiplica por el valor de mando de la frecuencia de motor y, después de ello, puede o no puede suministrarse a través de un divisor de voltaje para compensar los cambios de voltaje de línea. La salida del divisor de voltaje, si se utiliza, se aplica como mando de voltaje de motor al generador de forma de onda, que suministra al convertidor de energía que impulsa el motor.



El lazo de control, que controla la frecuencia o velocidad del motor, usa par motor efectivo palpado como señal de control de realimentación. El par de fuerza del motor efectivo, palpado, se combina con una señal de llamada de par motor o de mando de par motor en un circuito sumador, que deriva -- una señal de par motor de error de salida. Esta señal de par motor de error de salida en el sistema descrito se utiliza como una señal de frecuencia de resbalamiento de motor descada después de apropiada compensación. La señal de frecuencia de resbalamiento se añade a una señal de realimentación de velocidad de árbol efectiva para derivar una señal de control de frecuencia de estator de motor. El uso de la señal de realimentación de velocidad efectiva no es absolutamente esencial en este sistema como se ha discutido anteriormente, porque el motor se está haciendo funcionar en respuesta al valor verdadero palpado de par motor y al verdadero valor palpado de flujo y buscará su propia condición funcional apropiada sin el uso de un generador de tacómetro u otra señal de realimentación de velocidad efectiva. El uso de la señal de realimentación de velocidad efectiva, sin embargo, procura ciertas ventajas a la habilidad del sistema de control para limitar el resbalamiento del motor y al arrancar o detener el motor a la frecuencia apropiada, sin requerir investigación, mientras se arranca. Los efectos combinados del control dan por resultado una regulación exacta del par motor producido por el motor.

El método de regulación de par motor, aquí descrito por primera vez, ha sido ensayado extensamente y se ha encontrado que controla con precisión el par motor del entrehierro del motor de inducción y no queda adversamente afectado por cambios de parámetros del motor, por cambios de temperatura, por



cambios de frecuencia de resbalamiento, por cambios en el motor debidos a variaciones de resistencia del rotor o por cambios en el nivel de flujo. Además, armónicos de líneas o de inversor o picos de voltaje transientes no tienen ningún efecto adverso sobre el valor efectivo medido o palpado de la realimentación de par motor al lazo de control de realimentación y no influyen adversamente sobre el funcionamiento del sistema de control de regulación de par motor, en contraste con esquemas reguladores de par motor eléctricos anteriormente conocidos.

De la descripción precedente se apreciará que el invento procura un sistema de control de motor de inducción regulador del par motor mejorado, en que se consigue un control mejorado sobre el par motor, producido por el motor de inducción, palpando efectivamente el flujo verdadero del motor y derivando del flujo de motor, verdadero, palpado, una señal de realimentación de par motor efectivo, que se emplea al regular el funcionamiento del motor de inducción. El circuito mejorado palpador y medidor de par motor verdadero del motor, comprendiendo una parte del sistema, emplea técnicas eléctricas, que pueden ser utilizadas fácilmente con sistemas de transmisión de tracción de motor de inducción prácticos empleando motores de inducción de voltaje variable y frecuencia variable.

N O T A

EN RESUMEN: la presente Patente de Invención que por veinte años se solicita para España, ha de recaer sobre las siguientes reivindicaciones:

1ª.- Mejoras en la construcción de circuitos de control reguladores de par motor efectivo en motores de inducción de corriente alterna, caracterizadas por medios palpadores de flujo de motor, para tantear el flujo actual inducido en el motor de



inducción y derivando señales de flujo de salida derivada de mo
tor, medios de circuito elaborador de señal de flujo acoplados
a dichos medios palpadores de flujos de motor para derivar desde
dichas señales de flujo de salida de motor, componentes Ψ_d y Ψ_g
5 respectivos, de ejes de señal de flujo directos y de cuadratura,
medios palpadores de corriente de motor para tantear la corrien
te de la línea del estator de motor y derivando señales de co--
rriente de motor de salida representativas de la misma, medios -
de circuito elaborador de señal de corriente de motor acoplados
10 a dichos medios tanteadores de corriente de motor, para derivar
desde dichas señales de corriente de salida de motor respecti--
vas señales i_{ds} y i_{gs} de corriente de motor de ejes directos
y de cuadratura, primeros medios de circuito multiplicador aco
plados a dichos medios de circuito elaborador de señal de flujo
15 y dicho medio de circuito elaborador de señal de corriente de -
motor para multiplicar dicha señal de corriente de motor de flu
jo de eje de cuadratura y de eje directo y derivando una salida
($\Psi_g i_{dc}$) representativa de su producto, segundos medios de cir
cuito multiplicador acoplados a dichos medios de circuito elabo
20 rador de señal de flujo y dichos medios de circuito elaborador
de señal de corriente de motor, para multiplicar dicha señal de
flujo de eje director y dicha señal de corriente de motor de --
eje de cuadratura y derivando una salida ($\Psi_d i_{gs}$) representati
va de su producto y medios de circuito sumador, acoplados a di
25 chos primero y segundo medios de circuito multiplicador para --
unir sumando sus salidas y derivar una señal de salida resultan
te $T = (\Psi_d i_{gs} - \Psi_g i_{ds})K$ representativa del valor efectivo --
del par motor desarrollado por el motor.

2a.- Mejoras según la reivindicación 1ª, caracterizadas --
30 porque el medio de circuito sumador de señal es un sumador de -



señal de corriente alterna que, sin embargo, procura un deseado
componente de corriente continua, que es la señal efectiva de
par motor y adicionalmente procura componentes indeseados, in-
cluyendo componentes armónicos indeseados, porque los primero
5 y segundo multiplicadores son multiplicadores de señal de co-
rriente alterna, que, interpuestos entre los medis palpadores
de flujo efectivo, y los multiplicadores, son medios integrado
res de señal de corriente alterna, que integran las señales de
flujo efectivo palpadas y porque conectado en la salida del me
10 dio de circuito sumador, está un medio de circuito de filtro de
paso bajo, que pasa a través del deseado componente de corrien
te continua y saca por filtrado los componentes indeseados.

3ª.- Mejoras según la reivindicación 2ª, caracterizadas -
porque el motor de inducción de corriente alterna, es un motor
15 de inducción de corriente alterna trifásica, porque cada uno de
los arrollamientos del motor trifásico está provisto: como par
te de los medios palpadores de flujo de motor de bobinas ψ_A , ψ_B
y ψ_C palpadores de flujo de motor individual y, como parte del
medio elaborador de señal de flujo, de medios integradores indi
20 viduales respectivos y además se caracteriza porque una primera
señal (Ψ_A), primera integrada, es utilizada como el componente
de señal de flujo de eje directo y una diferencia elaborada de
señales integradas $\left(\frac{\Psi_C - \Psi_B}{\sqrt{3}}\right)$ como en componente de señal de -
flujo de eje de cuadratura, el medio de circuito elaborador de
25 señal de corriente de motor deriva una primera señal de salida
(I_A) como la señal de corriente de motor de eje directo y una
segunda señal $\left(\frac{I_C - I_B}{\sqrt{3}}\right)$ de salida de diferencia de corriente -
como la señal de corriente de motor de eje de cuadratura, el
30 primer medio de circuito multiplicador deriva la señal de sali



da de producto proporcional $\left(\frac{\Psi_C - \Psi_B}{\sqrt{3}}\right) I_A$, el segundo circuito

multiplicador deriva la señal de salida de producto proporcional a $\Psi_A \left(\frac{I_C - I_B}{\sqrt{3}}\right)$, y el medio de circuito sumador deriva

5

la señal de par motor de salida $T = \left(\frac{\Psi_C - \Psi_B}{\sqrt{3}}\right) I_A - \Psi_A \left(\frac{I_C - I_B}{\sqrt{3}}\right)$

representativa del valor efectivo del par motor desarrollado por el motor.

10

4a.- Mejoras según las reivindicaciones 1ª, 2ª ó 3ª, caracterizadas por medios de circuito conmutador para invertir la polaridad de las señales de salida de producto de multiplicación desde dichos primero y segundo medios de circuito multiplicador en el medio de circuito sumador, para acomodar movimiento direccional hacia delante e inverso del motor de inducción de corriente alterna.

15

5a.- Mejoras en un sistema de corriente alterna regulador de par motor, comprendiendo un convertidor de energía para suministrar energía al motor de inducción según una de las reivindicaciones 1ª a 4ª a una deseada frecuencia de excitación de estator, medios de lazo de control de realimentación para realimentar una o varias señales desde el motor al convertidor de energía, a través de uno o varios circuitos de realimentación procurando uno de tales circuitos de realimentación, denominado circuito de realimentación de par motor, una señal representando el par de fuerzas del motor, cuya señal controla el funcionamiento del convertidor de energía para variar la frecuencia de excitación del estator con el fin de mantener el funcionamiento del motor de inducción a un valor controlado de par motor, caracterizadas porque la

20

25

30



ultimamente mencionada señal representando par motor, se deri
va según se expone en una de las reivindicaciones 1ª a 4ª y es
la señal de par motor efectivo citada en la reivindicación 1ª,
incluyéndose la disposición de acuerdo con alguna de las rei-
vindicaciones 1ª a 4ª en el circuito de realimentación de par
5 motor.

6ª.- Mejoras según la reivindicación 5ª, caracterizadas
porque la señal de par motor efectivo de realimentación se --
compara con una señal de par motor mandado para obtener una --
10 señal de diferencia de comparación representando el error de
par motor y porque la señal de error de par motor, es canali-
zada hacia el convertidor de energía con el propósito de va--
riación de frecuencia de estator.

7ª.- Mejoras según la reivindicación 6ª, caracterizadas
15 por medios para derivar una señal de realimentación, represen-
tativa de la velocidad efectiva del árbol rotor y medios de -
circuito sumador, que sirven para combinar la señal de veloci-
dad efectiva del rotor con la señal de error de par motor pa-
ra derivar la señal que controla la frecuencia del voltaje de
20 excitación de estator.

8ª.- Mejoras según las reivindicaciones 5ª y 2ª, ó 7ª ó
2ª, ó 7ª y 2ª, incluyendo un segundo circuito de realimenta--
ción, denominado circuito de realimentación del voltaje, pro-
curando una señal de control de amplitud de voltaje para el -
25 convertidor para controlar la amplitud del voltaje alterno su
ministrado desde el convertidor al estator del motor, caracte-
rizadas porque el circuito de realimentación de voltaje reci-
be, como su propia señal de entrada, una señal de salida deri
vada desde el medio integrador citado en la reivindicación 2ª,
30 por lo que la amplitud de voltaje es ajustada de una manera -



para controlar el nivel de flujo en el entrehierro entre el rotor y el estator del motor.

5 9ª.- Mejoras según la reivindicación 8ª, caracterizadas - por un circuito elaborador de señal de flujo, que incluye, siguiendo al medio integrador, un medio rectificador que rectifica las señales integradas derivadas de sensor de flujo, canalizándose las señales rectificadas resultantes hacia el convertidor de energía al propósito de control de amplitud de voltaje.

10 10ª.- Mejoras según las reivindicaciones 9ª y 3ª, caracterizadas porque el medio rectificador incluye un rectificador - individual para cada fase y porque se ha previsto un circuito promediador del tipo de corriente continua, que produce un promedio de las señales rectificadas plurales, canalizándose la - señal rectificada media resultante hacia el convertidor a los fines de control de amplitud de voltaje.

15 11ª.- Mejoras según las reivindicaciones 9ª ó 10ª, caracterizadas por un medio de circuito para suministrar una señal de control de flujo de mando de entrada representativa de un - valor deseado de flujo de motor, que deba ser desarrollado por el motor de inducción, un medio de circuito combinador de se--
20 ñal de flujo, que responde a la señal rectificada resultante - de las reivindicaciones 9ª ó 10ª y a dicha señal de control de flujo de mando, para combinar las últimas dos señales y derivar una señal de error de flujo de motor, representativa de la magnitud y polaridad de cualquier diferencia, y un medio que -
25 responde a dicha señal de error de flujo de motor para controlar el funcionamiento de dicho medio de circuito convertidor - de energía de una manera, que mantenga igualdad entre el valor de flujo representado por dicha señal de flujo de motor rectificada resultante y por el valor de flujo representado por la
30 señal de control de flujo de mando.



12ª.- Mejoras según las reivindicaciones 11ª y 7ª, caracterizadas por medios adicionales de circuito multiplicador, que responden a dicha señal de error de flujo de motor y a la señal de control de frecuencia de voltaje de excitación de estator citada en la reivindicación 7ª para multiplicar la última
5 señal de control de frecuencia de voltaje de excitación de estator por la señal de error de flujo de motor y para aplicar la señal del producto de multiplicación al medio de circuito convertidor de energía, con el propósito de mantener ganancia
10 de lazo sustancialmente constante, y estabilidad mejorada del sistema con cambios de velocidad, del motor de inducción.

13ª.- Mejoras según la reivindicación 12ª, caracterizadas por medios de circuito divisor que responden a la salida de dicho medio de circuito multiplicador adicional, para dividir su
15 señal de salida de producto de multiplicación por una señal representativa de variaciones en el voltaje de línea de la fuente primaria de energía, que suministra dicho medio de circuito convertidor de energía, y medios para aplicar la señal resultante de cociente de división a dicho medio de circuito conver
20 tidor de energía, para compensar por ello las variaciones de voltaje de línea, que ocurren en la fuente primaria de energía que suministra los medios de circuito convertidor de energía.

14ª.- Mejoras según la reivindicación 13ª, caracterizadas por un medio de circuito limitador acoplado en la salida del medio de circuito de comparación de par motor, citado en la
25 reivindicación 6ª pero por delante del medio de circuito sumador de velocidad, citado en la reivindicación 7ª, para limitar la señal de error de par motor a alcances de valores seguros predeterminados; apareciendo una forma de onda de señal de generador, que responde a la señal de control de frecuencia de
30



voltaje de excitación de estator, citada en la reivindicación 7ª y a la señal de control de voltaje, que aparece en la salida de dicho medio de circuito divisor según se cita en la reivindicación 13ª, para derivar una señal de salida de forma de onda controlada para aplicación al medio de circuito convertidor de energía para controlar su funcionamiento; medios palpadores de voltaje interpuestos entre la fuente primaria de -- energía eléctrica y el medio de circuito convertidor de energía, para palpar variaciones de voltaje de línea, que aparecen en la fuente primaria; medios de circuito diferenciador, que responden a la salida de dicho medio palpador de voltaje de línea y teniendo su salida conectada como una tercera entrada al medio de circuito de comparación de par motor, citado en la reivindicación 6ª, junto con la señal de par motor mandada, citada en la reivindicación 6ª, y la señal de realimentación de par motor efectivo, citado en la reivindicación 6ª; y un medio de conmutador inversor interconectado en el -- circuito de realimentación de par motor efectivo, citado en la reivindicación 6ª y que responde a la señal de par motor mandado, citada en la reivindicación 6ª para controlar la polaridad de la señal de control de realimentación de par motor efectivo en respuesta a movimiento direccional de avance y de retroceso del motor de inducción de corriente continua.

15ª.- Por último se reivindica como objeto sobre el que ha de recaer la presente Patente de Invención que por veinte años se solicita registrar para España,-- - - - -

p o r

" MEJORAS EN LA CONSTRUCCION DE CIRCUITOS DE CONTROL REGULADORES DE PAR MOTOR EFECTIVO EN MOTORES DE INDUCCION DE CORRIENTE ALTERNA "



Todo conforme queda expresado en la presente Memoria Descriptiva que consta de cuarenta y dos hojas foliadas y escritas a máquina por una sola cara y planos que se acompañan.

Madrid, 8 de Abril de 1.976.

P.A.,

EL DIRECTOR
DE

FIG. 1

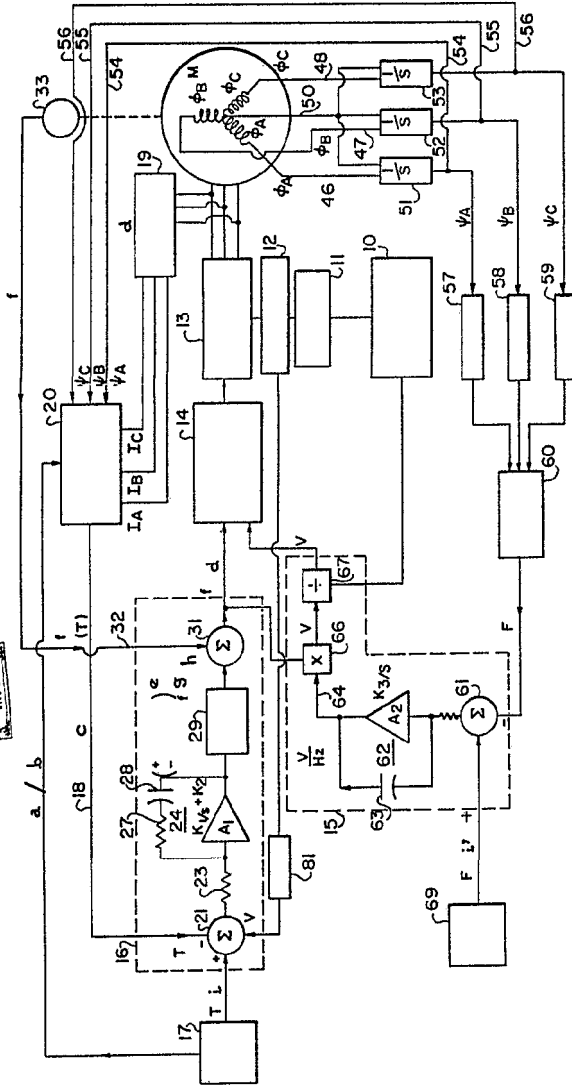
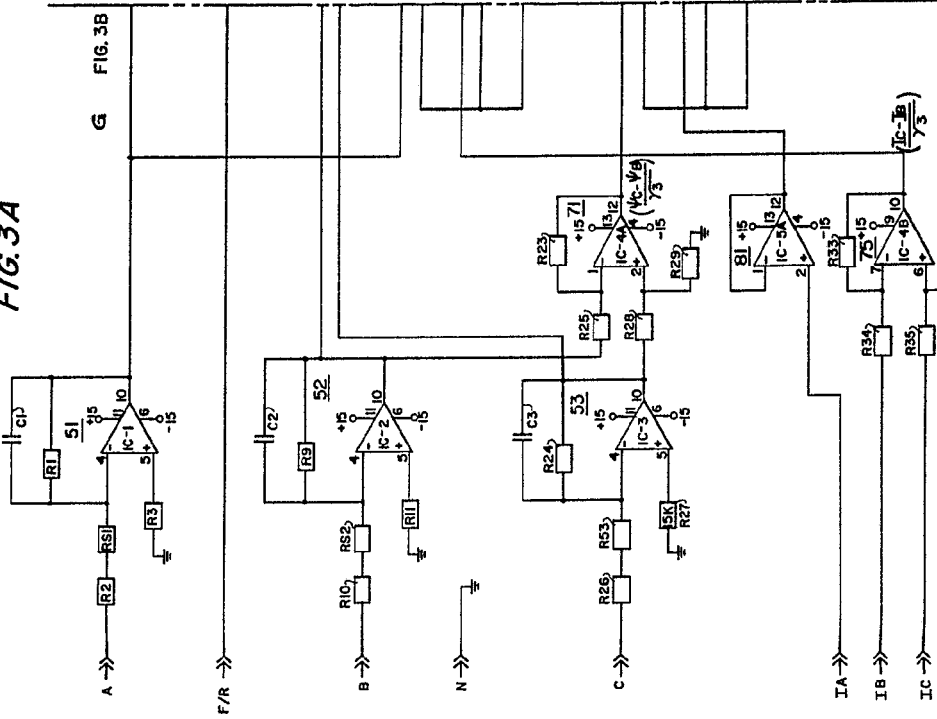


FIG. 3A



Madrid, P. A.

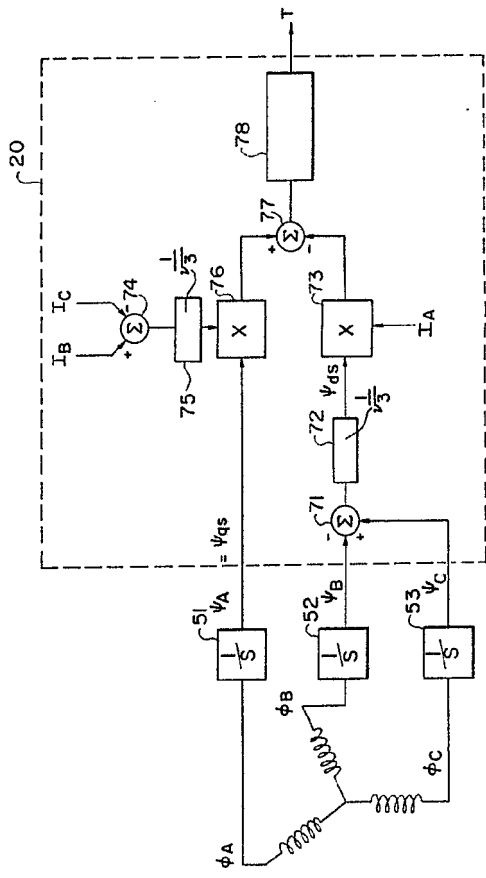


FIG. 2

Escala variable

FIG. 1

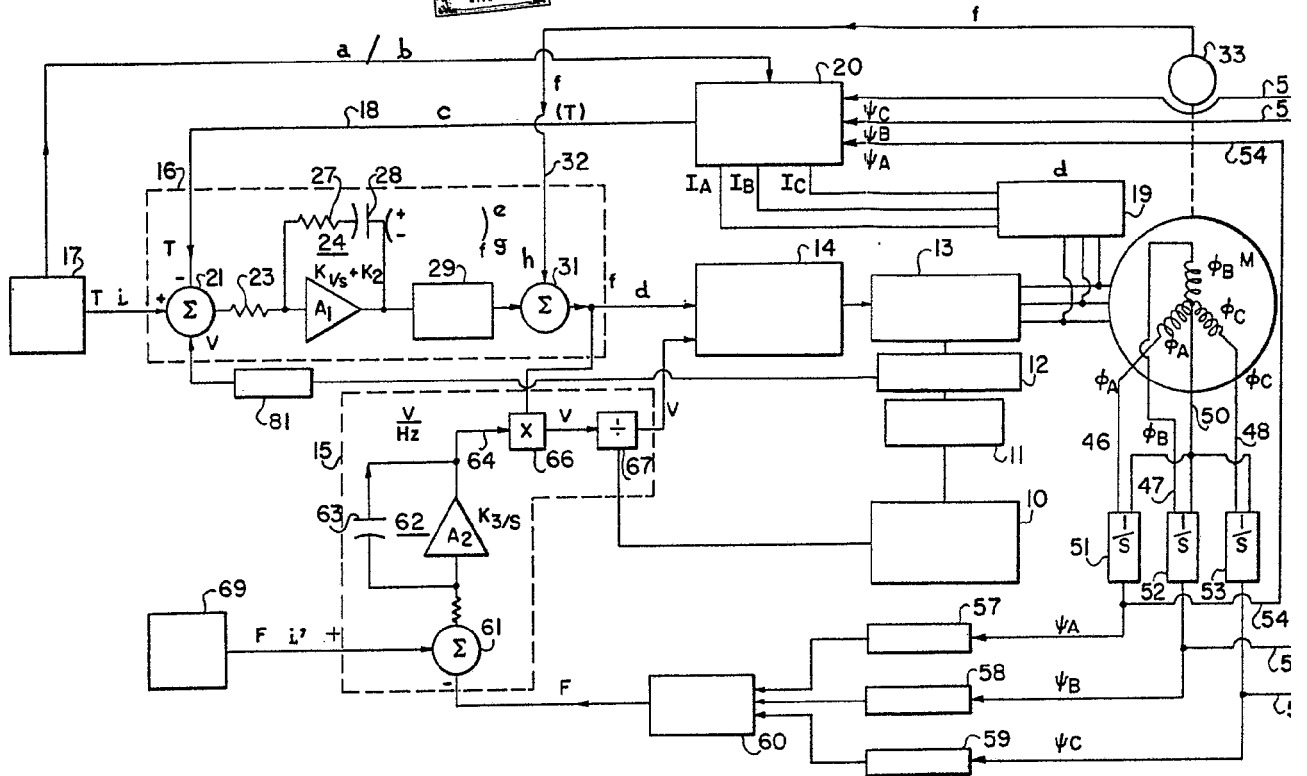
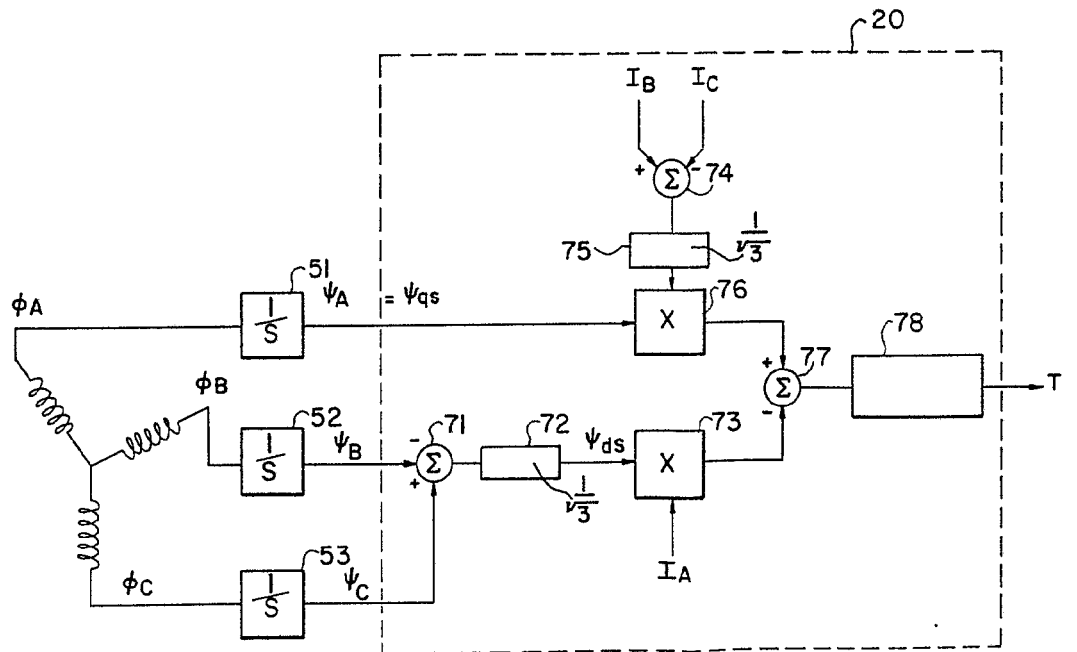


FIG. 2

Escala variable



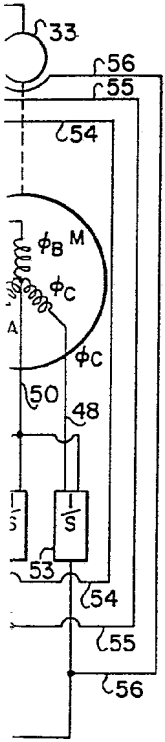
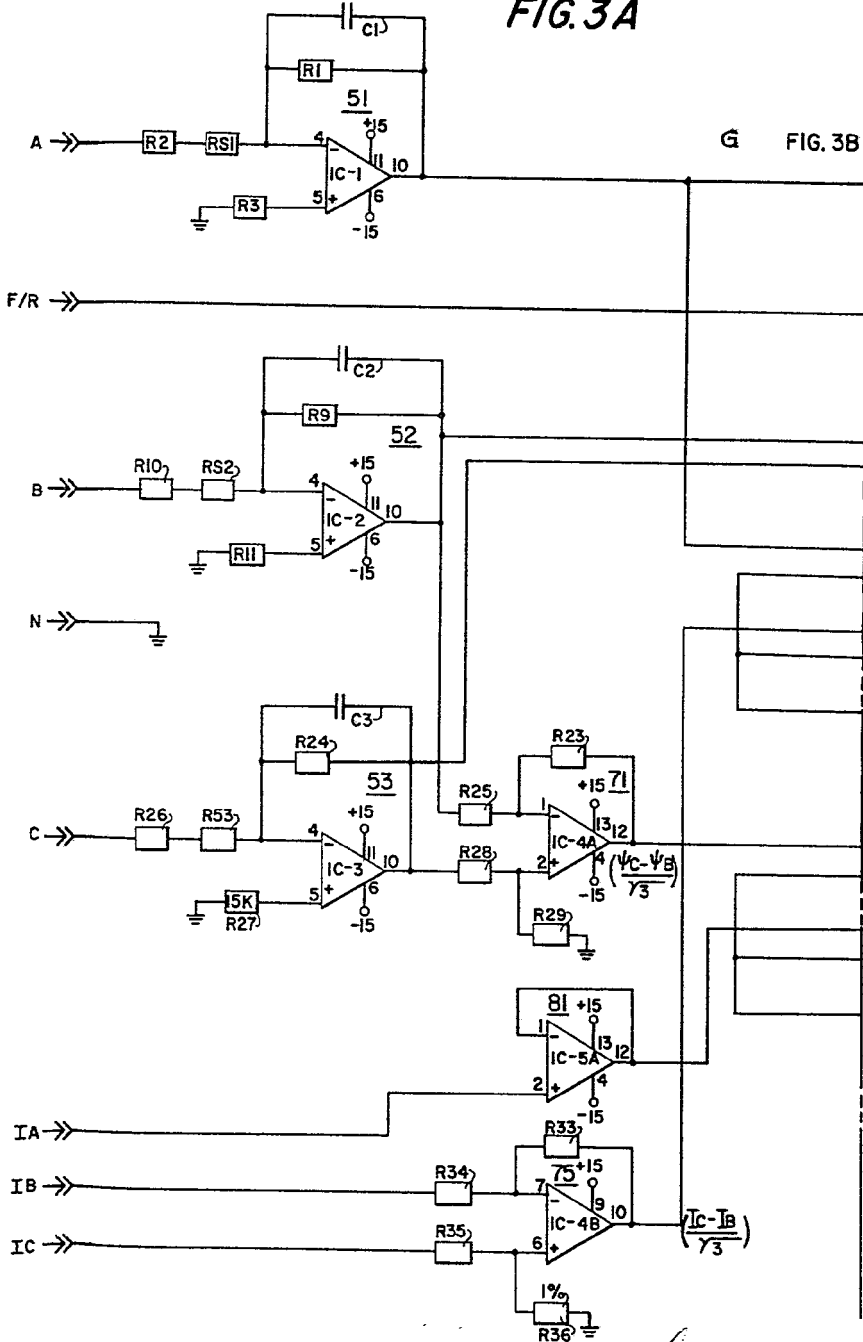


FIG. 3A



Madrid, 1977
P. A.

[Handwritten signature]



FI

FIG. 3A

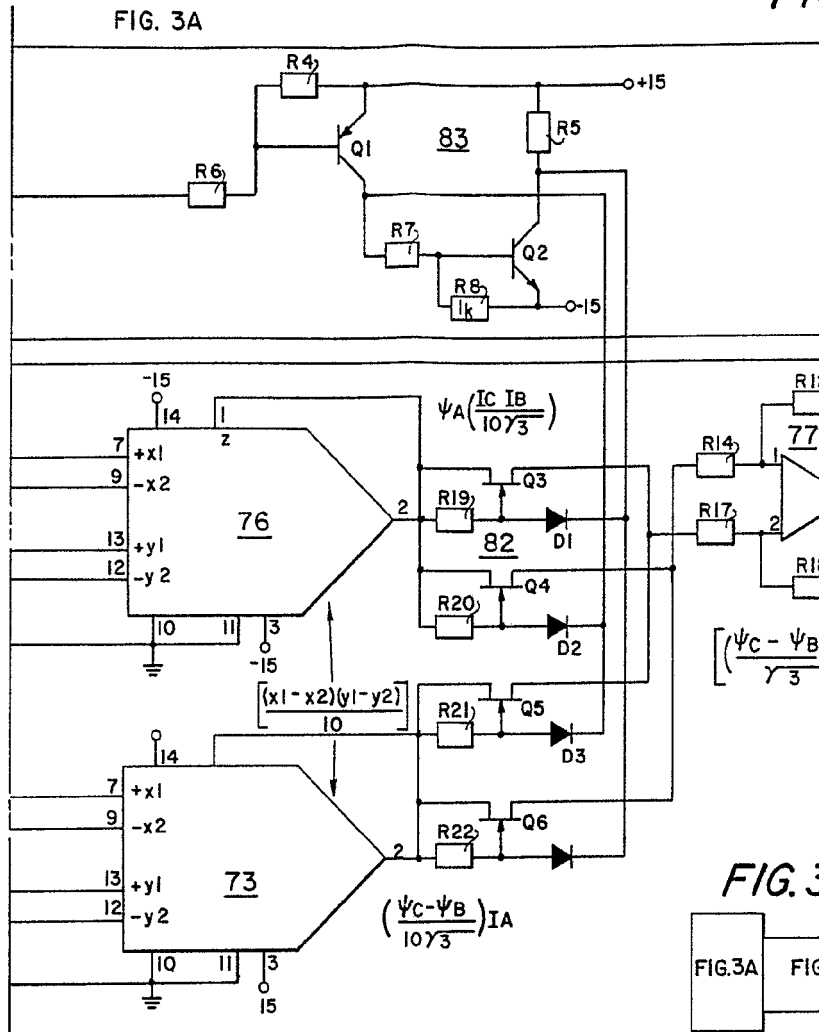
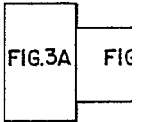


FIG. 3



Escala variable

FIG. 3B



→ I0 ψA

→ I2 ψB
→ IB ψC

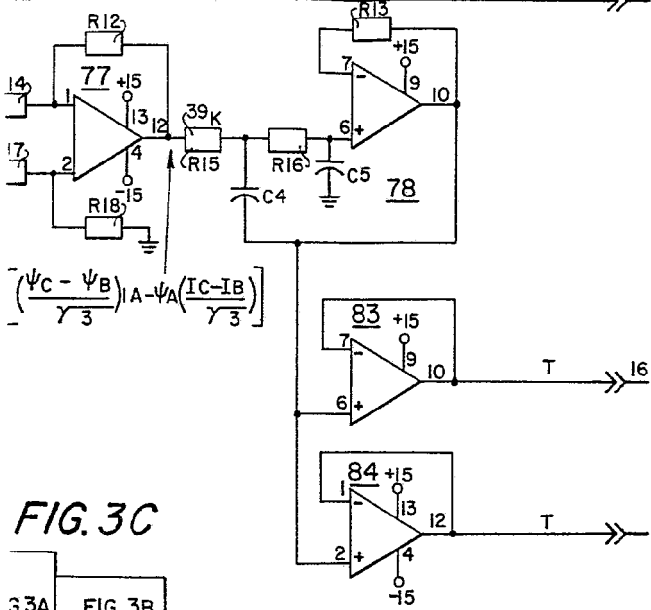
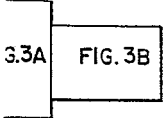


FIG. 3C



Madrid, - 8 188 1976
P.A.

[Handwritten signature]