

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 754 369**

51 Int. Cl.:

H02P 6/17 (2006.01)

H02P 6/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **21.06.2016** E 16175547 (5)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **28.08.2019** EP 3118987

54 Título: **Procedimiento de operación de una máquina eléctrica y máquina eléctrica**

30 Prioridad:

13.07.2015 DE 102015213083

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

17.04.2020

73 Titular/es:

**BAUMÜLLER NÜRNBERG GMBH (100.0%)
Ostendstrasse 80-90
90482 Nürnberg, DE**

72 Inventor/es:

LELKES, ANDRÁS

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 754 369 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de operación de una máquina eléctrica y máquina eléctrica

5 La invención se refiere tanto a un procedimiento para operar una máquina eléctrica como a una máquina eléctrica. La máquina eléctrica tiene un estator y un rotor. Se entiende que la máquina eléctrica es un generador, más en particular, un motor eléctrico. La máquina eléctrica es preferentemente sin escobillas.

10 Las plantas industriales suelen tener una gran cantidad de máquinas eléctricas rotativas, por medio de las cuales, por ejemplo, se accionan herramientas o cintas transportadoras. La energía eléctrica requerida para este propósito se proporciona por medio de convertidores que están acoplados técnicamente a un control de procedimiento. Por medio del control de procedimiento, se predetermina una velocidad objetivo, a la que se regula la máquina eléctrica respectiva por medio del inversor asociado. El inversor está acoplado eléctricamente a una red de servicios públicos e incluye un interruptor semiconductor conectado en serie entre la red de servicios públicos y la máquina eléctrica. El control del interruptor semiconductor se realiza de manera que la velocidad de la máquina eléctrica corresponda a la predeterminada por la velocidad objetivo del control de procedimiento. Los voltajes eléctricos conmutados por medio del interruptor semiconductor suelen ser superiores a 800 voltios. Las corrientes eléctricas conmutadas tienen una intensidad de corriente superior a 1 A o 10 A.

20 Con el fin de excluir una lesión del personal operativo de la máquina eléctrica o para reducir tales consecuencias, se conocen los denominados interruptores «de parada de emergencia». En un acercamiento no autorizado o no deseado de una persona a la máquina eléctrica, este interruptor se opera manualmente para detener sustancialmente la operación de la máquina eléctrica de inmediato. Para este propósito, el interruptor generalmente es tecnología de señal acoplada con el control de procedimiento. Por medio del control de procedimiento, se transmite una señal a la parte de control al accionar el interruptor, y como resultado, se evita la activación de la máquina eléctrica. Para este propósito, el interruptor semiconductor de potencia generalmente se coloca en un estado eléctricamente no conductor.

30 Sin embargo, si la máquina eléctrica o la herramienta accionada por la máquina eléctrica se va a configurar o calibrar, dicha función de seguridad no es adecuada, porque de esta manera no es posible controlar toda el área recorrida por la herramienta. Por lo tanto, es una práctica común operar la máquina eléctrica a una velocidad limitada a la que se descarta una lesión a una persona que ajusta la herramienta o la máquina eléctrica. Para este propósito, la velocidad real de la máquina eléctrica generalmente se detecta por medio de un denominado transmisor seguro, y en caso de un exceso no deseado de la velocidad limitada, el inversor se desactiva. Mediante el transmisor seguro se garantiza que la velocidad real de la máquina eléctrica se detecte sin errores, o al menos con un error relativamente pequeño, incluso en circunstancias adversas.

40 Un transmisor seguro es relativamente caro. Dicho transmisor seguro, en particular su electrónica de monitorización, también tiene un requisito de energía comparativamente alto durante la operación. Además, todavía es posible, aunque poco probable, que la velocidad de la máquina eléctrica no se determine correctamente o no se evalúe correctamente por medio de la electrónica de monitorización, lo que conduce a la llamada información de posición congelada. En este caso, un exceso de la velocidad limitada no se detecta o al menos no se detecta a tiempo, por lo que aún pueden producirse lesiones a las personas.

45 A partir del documento DE 10 2006 046283 A1 se conoce un procedimiento de monitorización para un dispositivo de accionamiento. En este caso, una señal de transmisor de un primer transmisor se compara con una señal de transmisor de un segundo transmisor. Se crea una desviación de las dos señales de transmisor. Si la desviación excede un valor de control, se dispara una señal de error.

50 El documento DE 10 2011 009 932 A1 describe un procedimiento en el que se crean dos valores de velocidad de rotación, que se comparan entre sí. Si se excede una diferencia crítica, se ejecuta una función segura.

55 La invención tiene por objetivo proporcionar un procedimiento particularmente adecuado para operar una máquina eléctrica y una máquina eléctrica particularmente adecuada, en la que ventajosamente aumenta la seguridad y preferentemente se reducen los costes.

Este objetivo se consigue mediante las características de las reivindicaciones independientes según la invención. Las variantes y configuraciones ventajosas les competen a las respectivas reivindicaciones secundarias.

60 El procedimiento se usa para operar una máquina eléctrica. La máquina eléctrica es, por ejemplo, un generador, pero de forma particularmente preferente un motor eléctrico, que se usa, por ejemplo, dentro de un sistema. Por ejemplo, el motor eléctrico es parte de una planta industrial. Convenientemente, el motor eléctrico es un componente del accionamiento de una extrusora, una máquina de moldeo por inyección, una imprenta, una mesa giratoria, una prensa, una bobinadora, una máquina de trefilado, una máquina para trabajar la madera o una máquina herramienta. El motor eléctrico tiene convenientemente una potencia entre 3 kW y 200 kW, por ejemplo, entre 3 kW y 60 kW, entre 5 kW y 135 kW o entre 20 kW y 175 kW. Convenientemente, la máquina eléctrica se enfría con agua.

El motor eléctrico es, por ejemplo, un motor asíncrono, pero preferentemente un motor síncrono, tal como, por ejemplo, un motor síncrono de reluctancia, o un motor síncrono de imán permanente. En otra alternativa, el motor eléctrico es un motor síncrono excitado por separado, que preferentemente tiene polos comparativamente pronunciados. Por ejemplo, el motor eléctrico es un motor de CC sin escobillas (BLDC), o más preferentemente un servomotor.

La máquina eléctrica comprende un rotor, que preferentemente tiene varios imanes permanentes que están, por ejemplo, conectados periféricamente a un núcleo laminado del rotor o dispuestos dentro de cavidades del núcleo laminado. En funcionamiento, el rotor se mueve con relación a un estator. En este caso, por ejemplo, el rotor se desplaza transversalmente. Si la máquina eléctrica es un motor eléctrico, en consecuencia, se proporciona un motor lineal. En una alternativa, el rotor gira con respecto al estator. La máquina eléctrica es, por lo tanto, una máquina eléctrica giratoria, y el rotor forma un rotor. El rotor está montado de forma giratoria alrededor de un eje de rotación. En particular, el rotor comprende un eje de rotor, que está dispuesto concéntricamente al eje de rotación. Convenientemente, el eje del rotor es rotacionalmente simétrico con respecto al eje de rotación. Preferentemente, en funcionamiento, la velocidad de la máquina eléctrica está entre 150 rpm y 1500 rpm, adecuadamente entre 150 rpm y 450 rpm, o entre 350 rpm y 1500 rpm. Por ejemplo, el par máximo de la máquina eléctrica está entre 300 Nm y 1000 Nm, en particular entre 220 Nm y 1.200 Nm, entre 800 Nm y 5000 Nm o entre 2400 Nm y 10 000 Nm.

El estator de la máquina eléctrica tiene preferentemente una serie de bobinas eléctricas que están en contacto eléctrico con la electrónica. Por ejemplo, las bobinas eléctricas están en contacto eléctrico entre sí en una conexión en estrella o triángulo. Adecuadamente, la máquina eléctrica tiene dos o tres fases eléctricas, que se compensan entre sí en 120° en particular. La máquina eléctrica se pone en contacto eléctricamente en particular con un inversor. El inversor tiene preferentemente un interruptor semiconductor, por ejemplo, cuatro o seis interruptores semiconductores, que están convenientemente interconectados en un circuito puente. Por ejemplo, el inversor tiene un circuito B4 o B6. El circuito puente se implementa de manera conveniente por medio de una serie de interruptores semiconductores de potencia, por ejemplo, MOSFET o GTO. Preferentemente, el inversor comprende un circuito intermedio que es guiado contra el circuito puente. En particular, el inversor comprende un lado rectificador, que está acoplado a una red de suministro que tiene, por ejemplo, una corriente trifásica con una frecuencia de 50 Hz o 60 Hz.

La máquina eléctrica comprende además un primer sensor y un segundo sensor. El primer sensor se proporciona y configura para detectar una posición del rotor con respecto al estator. En una alternativa a esto, el primer sensor se proporciona y configura para detectar un cambio en la posición del rotor con respecto al estator. En otras palabras, la velocidad del rotor con respecto al estator se detecta por medio del primer sensor. En particular, el primer sensor es adecuado para este propósito. El segundo sensor se proporciona y configura para detectar una aceleración del rotor con respecto al estator. Preferentemente, el segundo sensor es adecuado para este propósito. Por medio de los dos sensores, es conveniente detectar tanto un valor negativo como un valor positivo como señal, es decir, por ejemplo, una aceleración negativa, que corresponde en particular a una desaceleración del rotor.

Detectar significa, en particular, que la magnitud respectiva se mide, convenientemente se mide directamente, es decir, se observa directamente. Preferentemente, se detecta un efecto físico diferente por medio del primer sensor y el segundo sensor. Por ejemplo, se detecta una marca óptica del rotor por medio del primer sensor, preferentemente por medio de un sensor óptico. Por ejemplo, el primer sensor es un resolvidor, codificador, transmisor incremental o tacogenerador. Convenientemente, una pista sinusoidal y una pista cosenoidal se detectan por medio del primer sensor.

Por otro lado, por medio del segundo sensor, por ejemplo, se detecta un campo eléctrico o magnético, que se cambia por medio del rotor, por ejemplo. Convenientemente, se usa una bobina eléctrica o un sensor de Hall para este propósito. Preferentemente, se usa un sensor de Ferraris como el segundo sensor, pero al menos el segundo sensor comprende un sensor de Ferraris.

El procedimiento proporciona que en una primera etapa de trabajo se detecta una señal del primer sensor por medio del primer sensor. En otras palabras, se detecta la posición o el cambio de posición del rotor con respecto al estator. En una segunda etapa de trabajo, que tiene lugar antes, después, o de forma más preferente simultáneamente, con la primera etapa de trabajo, se detecta una señal del segundo sensor por medio del segundo sensor. En particular, la señal del segundo sensor corresponde a la primera o segunda derivada temporal de la señal del primer sensor. En consecuencia, se detecta la aceleración del rotor con respecto al estator.

Basándose en la señal del primer sensor y la señal del segundo sensor, se determina una velocidad. Esto se hace convenientemente por medio de un observador. En particular, la señal del primer y la del segundo sensor se suministran al observador para este propósito.

Por ejemplo, una derivada temporal de la señal del primer sensor se crea primero para crear la velocidad, en particular si el primer sensor se usa para detectar un cambio en la posición del rotor con respecto al estator, por lo que detecta la velocidad del rotor. Si la posición del rotor con respecto al estator se determina por medio del primer sensor, la segunda derivada temporal de la señal del primer sensor se crea convenientemente. En otras palabras, la señal del primer sensor se transforma a la misma magnitud física que se detecta por medio del segundo sensor y, en consecuencia, presenta la señal del segundo sensor, es decir, la aceleración del rotor con respecto al estator. Mediante

el valor creado de esta manera y la señal del segundo sensor se forma una suma ponderada, en la que convenientemente la suma de los pesos es igual a uno (1). Los pesos son preferentemente mayores que cero (0) y se determinan adecuadamente, por ejemplo, dependiendo de la máquina eléctrica particular usada, por ejemplo, directamente después del montaje en un banco de pruebas. Adecuadamente, los pesos usados dependen de la velocidad del rotor. Si se usa 0,5 como peso, se determina así el promedio de la aceleración determinada por medio del primer sensor y la aceleración del rotor detectada por medio del segundo sensor.

Después de esto, la integral temporal sobre este valor se crea convenientemente. Por ejemplo, una velocidad determinada previamente se usa como desfase para este valor si el procedimiento ya se ha llevado a cabo durante un período de tiempo relativamente largo o antes de que se ejecute el procedimiento, la velocidad del rotor se determina en una etapa de trabajo, que tiene lugar antes de la primera etapa de trabajo del procedimiento, por medio del primer sensor. Si la máquina eléctrica es una máquina eléctrica giratoria, la velocidad corresponde a la velocidad del rotor.

La velocidad se suministra a un control de velocidad, por ejemplo, un controlador P o un controlador I, adecuadamente un controlador PI y esto se usa como la velocidad real. En un bucle de control posterior, esta velocidad se compara con una velocidad objetivo predeterminada y, en consecuencia, el rotor se acelera o desacelera, lo que tiene lugar, por ejemplo, mediante un control adecuado del inversor o un freno, si están presentes. La velocidad determinada también se envía a un dispositivo de monitorización de seguridad, mediante el cual se monitoriza la seguridad de la máquina eléctrica.

El dispositivo de monitorización de seguridad está diseñado y configurado para realizar una primera función segura, si es necesario. Mediante la función de seguridad, se controla que el rotor siempre permanezca con respecto al estator en una posición en la que se excluya sustancialmente la lesión de una persona o el daño de un componente. En consecuencia, no se requiere un transmisor seguro para la monitorización de seguridad, en el que se debe hacer un accesorio comparativamente seguro al rotor, lo que conduce a mayores costes de fabricación. Además, un requisito de potencia se reduce durante la operación.

La primera función segura es, por ejemplo, par desconectado de forma segura (Safe Torque Off; STO), parada de operación segura, (Safe Operating Stop; SOS), parada segura 1/2 (Save Stop 1/2; SS1/SS2), velocidad limitada de forma segura (Savely Limited Speed; SLS), dispositivo de monitorización de velocidad segura (Safe Speed Monitor; SSM), dirección de movimiento segura (Safe Direction; SDI), posición limitada segura (Safe Limited Position; (SLP) o posición segura (Safe Posición; SP). De manera particularmente preferente, la velocidad se compara con un primer valor límite mediante el dispositivo de monitorización de seguridad. En este caso, el rotor se frena convenientemente, si la velocidad excede el primer valor límite. Por ejemplo, si el valor absoluto de la velocidad es mayor que el primer valor límite. Convenientemente, la primera función es velocidad limitada segura y, en consecuencia, la velocidad que no se debe exceder cuando se ejecuta la primera función segura se usa como el primer valor límite. Si se supera el primer valor límite, por ejemplo, se ejecuta el par desconectado de forma segura. El dispositivo de monitorización de seguridad comprende convenientemente una serie de primeras funciones seguras. De esta manera, la seguridad de la máquina eléctrica aumenta aún más.

Preferentemente, las señales del sensor se monitorizan por medio de una función de diagnóstico. En este caso, se monitoriza si existe un fallo en uno de los dos sensores, por ejemplo, si hay un defecto, si se daña una línea de señal o si se suelta una sujeción en el estator o el rotor. En particular, se determina una desviación para este propósito, para lo cual se usa al menos una de las señales del sensor. La desviación es en este caso, en particular, una medida de la calidad de las señales del sensor. Si la desviación es mayor que un segundo valor límite, se realiza una segunda función segura. En particular, una de las primeras funciones seguras mencionadas anteriormente se ejecuta como una segunda función segura. La segunda función segura par desconectado de forma segura (STO), parada segura 1 (SS1) o parada segura 2 (SS2), es particularmente preferida. Por lo tanto, si la calidad de las señales del sensor es comparativamente baja, la máquina eléctrica se detiene por medio del dispositivo de monitorización de seguridad, evitando así el movimiento del rotor con respecto al estator. Por ejemplo, esto se controla, de modo que la máquina eléctrica se detiene de manera controlada. En consecuencia, una vez que la fiabilidad de la determinación de la velocidad por medio de las dos señales del sensor ya no está presente, la máquina eléctrica se pone en un estado seguro por medio del dispositivo de monitorización de seguridad, como resultado de lo cual se pueden descartar lesiones a las personas o daños a los componentes. Esto es convenientemente independiente de la posición/velocidad/aceleración actual del rotor con respecto al estator, ya que estas no se pueden determinar correctamente. Preferentemente, se emite un mensaje de error, por ejemplo, por medio de un dispositivo de visualización, o el mensaje de error se envía a un control de procedimiento. El rotor permanece convenientemente en una posición de parada tan pronto como se ejecuta la segunda función de seguridad hasta que se haya realizado una reparación, mantenimiento o inspección de la máquina eléctrica. De esta manera, la seguridad se incrementa aún más.

Por ejemplo, la señal del segundo sensor está integrada temporalmente. La integral obtenida de esta manera y la señal del primer sensor se usan para generar la desviación. Por ejemplo, la señal del segundo sensor se integra dos veces temporalmente si la posición del rotor con respecto al estator se detecta por medio del primer sensor. Preferentemente, la señal del segundo sensor se transforma a la misma magnitud física que la señal del primer sensor. En particular, para determinar la desviación, la integral, que se produce, por ejemplo, mediante la integración simple

o doble de la señal del segundo sensor, se resta de la señal del primer sensor, es decir, se genera la diferencia entre la integral y la señal del primer sensor. Convenientemente, solo el valor absoluto de la misma se usa como una desviación.

5 En una alternativa a esto, se crea la derivada temporal de la señal del primer sensor, y la desviación se determina entre la derivada de la señal del segundo sensor. Si la posición del rotor con respecto al estator se detecta por medio del primer sensor, la señal del primer sensor se diferencia convenientemente dos veces para establecer la derivada temporal. En otras palabras, la señal del primer sensor se transforma a la misma magnitud física que la señal del segundo sensor, y se determina la desviación entre ellas. La desviación se crea, por ejemplo, por sustracción, en la que convenientemente solo se usa su valor absoluto. En otra alternativa, si la posición del rotor con respecto al estator se detecta por medio del primer sensor, la señal del primer sensor simplemente se diferencia temporalmente, y la señal del segundo sensor simplemente se integra en términos temporales. Los valores determinados de esta manera se usan para determinar la desviación. En consecuencia, la misma magnitud física siempre se determina dos veces, es decir, una vez por medio de la señal del primer sensor y otra vez por medio de la señal del segundo sensor. Con la operación adecuada de la máquina eléctrica, los dos valores creados de esta manera son sustancialmente los mismos, excepto por las tolerancias de medición. Sin embargo, si la desviación es mayor que el segundo valor límite, que se establece en particular para las imprecisiones de medición y las tolerancias de error de los dos sensores, existe un mal funcionamiento de al menos uno de los dos sensores.

20 Alternativamente, se detecta un flujo de corriente eléctrica o un voltaje eléctrico. El voltaje eléctrico se aplica convenientemente a una de las bobinas eléctricas del estator. El flujo de corriente eléctrica en particular designa el flujo de corriente eléctrica a través de una de las bobinas eléctricas del estator. Convenientemente, se crea un vector espacial mediante el voltaje eléctrico detectado o el flujo de corriente eléctrica detectado, es decir, una descripción vectorial del flujo de corriente eléctrica o del voltaje eléctrico. Convenientemente, se detecta tanto el flujo de corriente eléctrica como el voltaje eléctrico. Por medio de un modelo físico teórico, se determina una señal del tercer sensor sobre la base del voltaje eléctrico detectado o el flujo de corriente eléctrica detectado. En particular, una velocidad del rotor con respecto al estator se calcula mediante el modelo teórico y se usa como la señal del tercer sensor.

30 En este caso, la desviación se crea por medio de la señal del tercer sensor y la señal del primer sensor o por medio de la señal del tercer sensor y la señal del segundo sensor. En particular, la señal del primer sensor o la señal del segundo sensor se transforma a la misma magnitud física que la señal del tercer sensor, en particular, como consecuencia de una integral temporal o una derivada temporal creada, o la señal del tercer sensor se transforma a la misma magnitud física que la señal del primer o la del segundo sensor por medio de una integral o derivada. Por ejemplo, la desviación se crea entre la señal del tercer sensor y la señal del primer sensor y entre la señal del tercer sensor y la señal del segundo sensor. Si solo una de las desviaciones creadas de esta manera es mayor que el segundo valor límite, se identifica un error. También es posible asignar el error detectado a uno de los dos sensores, es decir, al sensor cuya señal del sensor conduce a una desviación que excede el segundo valor límite. En resumen, se usan valores medidos adicionales para determinar la desviación que, sin embargo, si la máquina eléctrica es un motor eléctrico alimentado por un inversor, está presente, o puede compararse de manera relativamente simple. En particular, se determina un flujo de la máquina eléctrica en este caso, y sobre la base del mismo se genera la señal del tercer sensor.

45 Por ejemplo, para determinar la desviación, los valores respectivos se restan directamente entre sí. De manera particularmente preferente, el valor absoluto de la diferencia se usa como una desviación. En una alternativa, la diferencia está ponderada. En otras palabras, cada uno de los dos valores usados para calcular la diferencia, es decir, en particular un valor calculado y la primera o señal del segundo sensor, se multiplica por un factor de ponderación y solo entonces se forma la diferencia. En consecuencia, la integral y/o señal del primer sensor se multiplica respectivamente por un factor de ponderación y a partir de esto se crea la diferencia. En una alternativa a esto, la derivada, la señal del segundo sensor y/o la señal del tercer sensor se multiplican por un factor de ponderación, si se usan para formar la desviación. Los valores ponderados de esta manera se usan para la resta diferencial. Convenientemente, solo el valor absoluto de la diferencia ponderada se usa como desviación. De esta manera, es posible tener en cuenta las fluctuaciones de frecuencia relativamente alta de la señal del sensor respectiva comparativamente pequeña. También es posible sintonizar los principios físicos particulares usados para generar las señales del sensor. Por lo tanto, se excluye una detección defectuosa de desviaciones, que se deben solo a los sensores utilizados y no se basan en el movimiento real del rotor en relación con el estator, por lo que se puede usar un segundo valor límite comparativamente bajo. De esta manera, un mal funcionamiento de uno de los sensores se puede determinar desde el principio con una precisión relativamente alta. En consecuencia, se aumenta la seguridad de la máquina eléctrica.

60 Convenientemente, la señal del segundo sensor se corrige mediante un desfase. En otras palabras, el desfase se añade a la señal del segundo sensor, el desfase es positivo o negativo, por ejemplo. En particular, el desfase es variable en el tiempo, en particular dependiendo del tiempo durante el cual el segundo sensor está activo. En otras palabras, el tiempo de funcionamiento del segundo sensor se tiene en cuenta mediante el desplazamiento, es decir, el intervalo de tiempo dentro del cual se detectan las señales del segundo sensor. De esta manera, se tienen en cuenta los efectos de saturación o similares que de otra forma conducirían a una deriva de la señal del segundo sensor.

Por ejemplo, la derivada temporal de la señal del primer sensor o la segunda derivada temporal de la señal del primer sensor se crean de modo que se transforman a la misma magnitud física que la señal del segundo sensor para generar el desfase temporal. En una etapa de trabajo adicional, se forma el promedio de tiempo de esta derivada. En otras palabras, la derivada se promedia en el tiempo, en el que la ventana temporal comienza, por ejemplo, con el comienzo de la adquisición de datos por medio del primer o segundo sensor y termina con la última primera y/o señal del segundo sensor detectada. En una alternativa a esto, la ventana temporal es constante e incluye, por ejemplo, las últimas diez señales del primer sensor detectadas. Además, se determina el valor medio temporal de las señales del segundo sensor, en el que la ventana temporal corresponde convenientemente a la ventana temporal para determinar el valor medio de la derivada. En otra etapa de trabajo, el segundo elemento sensor se adapta de manera que los dos valores medios sean iguales. Para este propósito, la diferencia entre estos se forma convenientemente y el valor obtenido de esta manera se usa como desfase. Si la ventana temporal que se usa para promediar es temporalmente variable, en consecuencia, el desfase también cambia con el tiempo, y la señal del segundo sensor se ajusta de ese modo. En particular, solo la señal del segundo sensor adaptada por medio del desfase temporal se usa para determinar la desviación. Como alternativa o en combinación con esto, la señal del segundo sensor con corrección por desfase se usa para determinar la velocidad.

En una realización adicional, la velocidad se determina en múltiples canales. En particular, el observador incluye dos o más canales que sirven para determinar la velocidad. Por ejemplo, la señal del primer y la del segundo sensor se procesan de manera analógica y, por lo tanto, la velocidad se determina de manera analógica, así como la señal del primer y la del segundo sensor se procesan de manera digital y, por lo tanto, determina un valor digital para la velocidad. Como alternativa o en combinación, la velocidad en uno de los canales está determinada por el software. En otra alternativa, uno de los canales se implementa mediante hardware. Por ejemplo, se utiliza un microcontrolador, un procesador de señal digital (DSP), IPC, PLC, ASIC o FPGA para determinar la velocidad. Como alternativa a esto, los canales del observador se configuran o realizan mediante diferentes lenguajes de programación. Si se usa la señal del tercer sensor, se usan diferentes modelos teóricos, por ejemplo. En otra etapa, las velocidades determinadas individuales se comparan entre sí. Si la desviación entre estas velocidades es mayor que un tercer valor límite, se realiza convenientemente una tercera función segura, en particular el par desconectado de forma segura (STO). De esta manera, la seguridad se incrementa aún más.

La máquina eléctrica comprende un estator y un rotor. Además, la máquina eléctrica tiene un primer sensor para detectar una posición o un cambio de posición, es decir, una velocidad, del rotor con respecto al estator, así como un segundo sensor para detectar una aceleración del rotor con respecto al estator. La máquina eléctrica también tiene un dispositivo de monitorización de seguridad y un control de velocidad. En una primera etapa de trabajo, se detecta una señal del primer sensor durante el funcionamiento de la máquina eléctrica por medio del primer sensor y se detecta una señal del segundo sensor por medio del segundo sensor. Basándose en la señal del primer y la del segundo sensor, se determina una velocidad. La velocidad se suministra tanto al control de velocidad como al dispositivo de monitorización de seguridad para realizar una primera función segura. Mediante el control de velocidad, la máquina eléctrica se controla o se regula de manera particularmente preferente de modo que asuma una velocidad objetivo predeterminada. En particular, la máquina eléctrica comprende una unidad de control, por medio de la cual se lleva a cabo este procedimiento. La unidad de control está provista y dispuesta, de forma convenientemente adecuada, para llevar a cabo este procedimiento.

El rotor se desplaza durante la operación, por ejemplo, de manera lineal con respecto al estator. Sin embargo, de manera particularmente preferente, la máquina eléctrica es una máquina rotativa, y el rotor gira con relación al estator alrededor de un eje de rotación. En particular, la máquina eléctrica está configurada como un rotor interno o como un rotor externo. Convenientemente, la máquina eléctrica no tiene escobillas y preferentemente está en contacto eléctrico con un inversor, en particular el estator.

Por ejemplo, la máquina eléctrica es un generador. De manera particularmente preferente, la máquina eléctrica es un motor eléctrico, por ejemplo, un motor síncrono de imán permanente. El motor eléctrico tiene, por ejemplo, una potencia entre 3 kW y 200 kW y, en particular, un par entre 220 Nm y 10 000 Nm.

Preferentemente, el principio de medición del primer sensor difiere del principio de medición del segundo sensor. Por ejemplo, el primer sensor se basa en un principio óptico, mientras que el segundo sensor se realiza mediante un sensor de Hall o un sensor que tiene una bobina eléctrica. En consecuencia, una influencia del segundo sensor debido a la medición por medio del primer sensor queda sustancialmente excluida. La operación también es posible si, debido a las variables ambientales, se debe restringir la operación de uno de los dos sensores, por ejemplo debido a un campo eléctrico o magnético externo. En este caso, la detección por medio de un sensor óptico todavía es posible.

Como alternativa o de forma particularmente preferente en combinación con esto, se usa un sensor de Ferraris como el segundo sensor. En este caso, un componente eléctricamente conductor no magnético está conectado preferentemente al rotor, por ejemplo, un disco o placa de aluminio o cobre. En una alternativa a esto, el disco o placa está conectado al estator. En funcionamiento, un imán permanente y una bobina eléctrica se mueven con relación al mismo. El imán permanente y la bobina están conectados al estator o al rotor. Debido al movimiento del imán permanente, se inducen corrientes parásitas dentro del disco o la placa, lo que a su vez causa la inducción de un campo magnético, por medio de la bobina eléctrica, que se mueve en particular a la misma velocidad que el imán

permanente, y en particular está unido al mismo. Como resultado, se habilita la detección de la aceleración del imán permanente con respecto al disco o la placa. La aceleración se detecta independientemente de la aceleración gravitacional, por lo que la aceleración se puede detectar independientemente de la posición real del rotor con respecto al estator, sin que esto tenga que determinarse primero.

5 A continuación, se describen ejemplos de realización de la invención con más detalle mediante un dibujo. Aquí muestran:

La figura 1 una vista en planta esquemática de una máquina eléctrica con un primer sensor y un segundo sensor,

10 La figura 2 un procedimiento para operar la máquina eléctrica,

La figura 3 una primera realización de una determinación de una velocidad, y

La figura 4 una segunda variante para determinar la velocidad.

Las partes que se corresponden se proporcionan en todas las figuras con los mismos números de referencia.

15 En la figura 1 se muestra un motor eléctrico sin escobillas 2 con un estator 4 y un rotor 6, que está montado de forma giratoria alrededor de un eje de rotación 8 dentro del estator 4. En funcionamiento, el rotor 6 se mueve con respecto al estator 4 en un sentido de rotación 10. El motor eléctrico 2 comprende además una unidad de control 12, que se contacta eléctricamente por medio de una línea de alimentación 14 con electroimanes del estator 4, que se realizan por medio de bobinas eléctricas interconectadas de conexión en triángulo o estrella. La propia unidad de control 12 comprende un inversor que tiene varios interruptores semiconductores de potencia interconectados en un circuito puente. Por medio de un controlador PI que comprende el control de velocidad 15 de la unidad de control 12, se aplica un voltaje eléctrico U al electroimán del estator 4 y se establece un flujo de corriente eléctrica I a través de la línea de alimentación 14. El ajuste se realiza de tal manera que el movimiento rotacional realizado del rotor 6 corresponde a un movimiento rotacional predeterminado.

20 La unidad de control 12 se acopla adicionalmente a la señal por medio de una primera línea de datos 16 con un primer sensor 18. El primer sensor 18 es un transmisor incremental y tiene un primer elemento sensor 20, que está unido al estator 4. Además, el primer sensor 18 comprende un segundo elemento sensor 22, que está unido al rotor 6 y, durante el funcionamiento, es decir una rotación del estator 6, es guiado más allá del primer elemento sensor 20 en el sentido de rotación 10. El primer elemento sensor 20 es, por ejemplo, un sensor óptico, por medio del cual se detectan señales ópticas. El segundo elemento sensor 22 está diseñado en este caso de manera adecuada, por ejemplo, el segundo elemento sensor 22 comprende una serie de marcas, tales como líneas, que se distribuyen alrededor del eje de rotación 8 en el rotor 6. En este caso, la posición del rotor 6 con respecto al estator 4 se detecta por medio del primer sensor 18 por medio de las marcas ópticas, que están diseñadas para ser adecuadas para este propósito. En otras palabras, durante la operación por medio del primer sensor 18, se detecta la posición del rotor 6 con respecto al estator 4, y este valor se pasa a la unidad de control 12 por medio de la primera línea de datos 16. En una realización alternativa, la velocidad del rotor 6 con respecto al estator 4, es decir, un cambio en la posición del rotor 6 con respecto al estator 4, se detecta por medio del primer sensor 18. Para este propósito, el primer sensor 18 está adaptado adecuadamente. Los valores detectados por medio del primer sensor 18 se transmiten a la unidad de control 12 como señales del primer sensor 23 por medio de la primera línea de datos 16.

30 La máquina eléctrica 2 comprende además un segundo sensor 24 que está acoplado por medio de señales a la unidad de control 12 a través de una segunda línea de datos 25. El segundo sensor 24 diseñado como un sensor de Ferraris comprende un disco 26 hecho de cobre o aluminio, que está hecho de cobre puro o aluminio puro o una aleación de cobre o de aluminio. El disco 26 está dispuesto concéntrico con el rotor 6 con respecto al eje de rotación 8 y conectado a este. En consecuencia, el disco 26 se mueve también en funcionamiento en el sentido de rotación 10 alrededor del eje de rotación 8. El segundo sensor 24 también comprende un imán permanente 28 y una bobina eléctrica 30 que están unidos de forma fija al estator 4. En este caso, el imán permanente 28 está en el sentido de rotación 10 en frente de la bobina eléctrica 30. Después de la rotación del disco 26, se induce una corriente parásita por medio del imán permanente 28 en el disco 26, lo que da como resultado la formación de un campo magnético secundario debido a las corrientes parásitas. Estas corrientes parásitas se detectan por medio de la bobina eléctrica 30 y, por lo tanto, por medio del segundo sensor 24, la aceleración del disco 26 con respecto al imán permanente 28. En consecuencia, la aceleración del rotor 6 con respecto al estator 4 es detectada por el segundo sensor 24, y este valor definido como señal del segundo sensor 31 se transmite por la segunda línea de datos 24 a la unidad de control 12.

45 La unidad de control 12 comprende además un tercer sensor 32, por medio del cual se detecta el flujo de corriente eléctrica I, que es guiado por medio de la línea de alimentación 14. Del mismo modo, el voltaje eléctrico U es detectado por el tercer sensor 32, que se aplica al estator 4 por medio de la línea de alimentación 14. Dentro de la unidad de control 12, un modelo teórico se deposita, además, por medio del cual se calcula una señal de tercer sensor 36 en funcionamiento sobre la base de flujo de corriente eléctrico I y el voltaje eléctrico U, por lo que esto corresponde a una velocidad teórica del rotor 8, velocidad de rotación que, como resultado de la activación, debe proporcionar medios del inversor de la unidad de control 12.

60 La unidad de control 12 comprende además un dispositivo de monitorización de seguridad 38 que tiene una primera

función de seguridad 40 y una segunda función de seguridad 42. La primera función de seguridad 40 es velocidad limitada de forma segura (SLS) y la segunda función de seguridad 42 es par desconectado de forma segura (STO).

En la figura 2, se muestra esquemáticamente un procedimiento 44 para la operación del motor eléctrico 2. Por medio del primer sensor 18, se detecta la señal del primer sensor 23 y se alimenta a un observador 46. Además, la señal del segundo sensor 31 detectada por el segundo sensor 24 se alimenta a observador 46. Por medio del observador 46, se calcula una velocidad 48 sobre la base de las señales del primer y del segundo sensor 23, 31 (figura 3, figura 4). El observador 46 se construye a partir de múltiples canales. En otras palabras, la velocidad 48 se calcula por medio de procedimientos distintivos o características distintivas. En particular, por un lado, se usa un modelo basado en software y uno basado en hardware.

La velocidad 48 se suministra por una parte al control de velocidad 15 por medio del cual la alimentación de corriente del estator 4 se cambia por medio de la línea de alimentación 14. Para este propósito, el flujo de corriente eléctrica I y el voltaje U se ajustan de modo que la velocidad de rotación del rotor 6 corresponde a un valor objetivo, que se controla por medio de una nueva determinación de la velocidad 48. La velocidad 48 también se alimenta al dispositivo de monitorización de seguridad 38 por medio del cual se ejecuta la primera función de seguridad 40. Para este propósito, la velocidad 48 se compara con un primer valor 50. Si la velocidad determinada 48 es mayor que el primer valor límite 50, la segunda función 42 se ejecuta y, en consecuencia, la activación del estator 4 es interrumpida por medio de la línea de alimentación 12. Como resultado, el rotor 6 gira sin par.

La señal del primer y la del segundo sensor 23, 31 se suministran adicionalmente a una unidad de diagnóstico 52 de la unidad de control 12. Por medio de la unidad de diagnóstico 52, al menos una de las dos señales del sensor 23, 31 está adaptada de manera que la señal del sensor adaptada y la señal del sensor adicional tienen la misma dimensión física. Para este propósito, se crea una derivada temporal 54 de la señal del primer sensor 23, para lo cual la señal del primer sensor 23 se deriva dos veces en el tiempo. Este valor se usa como valor auxiliar 56. Por medio del valor auxiliar 56 y la señal del segundo sensor 31, se crea una desviación 58, en la que se calcula la diferencia ponderada entre el valor auxiliar 56 y la señal del segundo sensor 31 y se usa la cantidad a partir de la misma. En este caso, la señal del segundo sensor 31 se multiplica por un factor de ponderación y el valor auxiliar 56 por un factor de ponderación adicional, tal como 0,5, y los valores modificados de esta manera se usan para formar la diferencia.

En una realización adicional, el valor auxiliar 56 se crea por medio de una integral temporal 60 de la señal de segundo sensor 31. Para este propósito, la señal del segundo sensor 31 se integra dos veces en el tiempo, de modo que el valor auxiliar 56 describe la misma magnitud física que la señal del primer sensor 23. Por medio de la señal del primer sensor 23 y este valor auxiliar 56, la desviación 58 también se determina mediante una diferencia ponderada, primero la señal del primer sensor 23 y el valor auxiliar 56 se multiplican cada uno por un factor de ponderación adecuado y se restan entre sí. A partir de esta diferencia, el valor absoluto se usa para producir la desviación 58. En otra alternativa, la señal del segundo sensor 31 se integra en el tiempo una vez para producir la integral 60, y la señal del primer sensor 23 se deriva en el tiempo una vez para producir la derivada 54. Los valores obtenidos de esta manera se multiplican por un factor de ponderación y se restan entre sí. Como desviación 58, en este caso solo se usa el valor absoluto de la diferencia.

En una alternativa adicional, la desviación 58 se usa por medio de la señal del tercer sensor 36 y la integral 60 a través de la señal del segundo sensor 31 o la derivada 54 de la señal del primer sensor 23 para producir una diferencia ponderada. En este caso, la señal del primer sensor 23 se deriva solo una vez o la señal del segundo sensor 31 se integra una vez. En otras palabras, la señal del primer sensor 23 y la señal del segundo sensor 31 se transforman a la misma magnitud física que la señal del tercer sensor 36. Nuevamente, la desviación 58 se determina por medio de una diferencia ponderada y la posterior producción del valor absoluto.

La desviación 58 se compara con un segundo valor límite 62. Si la desviación 58 es mayor que el segundo valor límite 62, la segunda función 42 se ejecuta y, en consecuencia, el rotor 6 se desactiva. Como resultado, el rotor 6 está inactivo alrededor del eje de rotación 8.

En la figura 3, la determinación de la velocidad 48 se muestra esquemáticamente simplificada. De la señal del primer sensor 23, se resta una posición 64 y se deriva dos veces en el tiempo. Esta diferencia se multiplica por un primer coeficiente 66. Para este propósito, se añade la señal del segundo sensor 31 y este valor se integra en el tiempo por medio de una primera función integral 68. Este valor se usa como velocidad 48. La velocidad 48 es además una primera derivada temporal de la señal del primer sensor 23, que se multiplica por un segundo coeficiente 70, se añade y se alimenta a una segunda función integral 72. Por medio de la segunda función integral 72, el valor suministrado simplemente se integra en el tiempo. El resultado de la segunda función integral 72 se usa como posición 64. Además, la diferencia entre la posición 64 y la señal del primer sensor 23 se alimenta a la unidad de diagnóstico 52, y si esta diferencia es mayor que un valor límite adecuado, se ejecuta la segunda función de seguridad 42.

La figura 4 muestra la determinación de la velocidad 48 en otra alternativa. La creación de la posición 64 y la integración temporal y multiplicación con el primer y segundo coeficientes 66, 70 y la diferencia entre la posición 64 y la señal del primer sensor 23 corresponden a la variante mostrada en la figura 3. Además, la primera función integral 68 y la segunda función integral 72, así como el suministro de la diferencia entre la señal del primer sensor 23 y la posición

64 a la unidad de diagnóstico 52 coinciden. Solo se modifica el procesamiento de la señal del segundo sensor 31. Es decir, se añade un desplazamiento 74 que varía con el tiempo a la señal del segundo sensor 31. Para este propósito, se forma inicialmente un valor medio temporal de la señal del segundo sensor 31. Además, la señal del primer sensor 23 (señal de medición) se deriva dos veces en el tiempo y a partir de esto también se forma el promedio de tiempo. Las ventanas temporales usadas para la media respectiva, sobre la cual se crea el valor medio, son las mismas. El valor medio formado sobre la base de la señal del primer sensor 23 y el valor medio formado sobre la base de la señal del segundo sensor 31 se comparan y la diferencia se forma a partir del mismo. La diferencia se usa como desfase 74. En el caso de la construcción de nuevos valores medios de la señal del segundo sensor 31 corregida por medio del desfase 74, estos corresponderían nuevamente a los dos valores medios. De esta manera, se compensa una deriva temporal del segundo sensor 24, por ejemplo, debido a los efectos de saturación.

Lista de números de referencia

15	2 Motor eléctrico
	4 Estator
	6 Rotor
	8 Eje de rotación
	10 Sentido de rotación
	12 Unidad de control
20	14 Línea de alimentación
	15 Control de velocidad
	16 Primera línea de datos
	18 Primer sensor
	20 Primer elemento sensor
25	22 Segundo elemento sensor
	23 Señal del primer sensor
	24 Segundo sensor
	25 Segunda línea de datos
	26 Disco
30	28 Imán permanente
	30 Bobina eléctrica
	31 Señal del segundo sensor
	32 Tercer sensor
	36 Señal del tercer sensor
35	38 Dispositivo de monitorización de seguridad
	40 Primera función segura
	42 Segunda función segura
	44 Procedimiento
	46 Observador
40	48 Velocidad
	50 Primer valor límite
	52 Unidad de diagnóstico
	54 Derivada
	56 Valor auxiliar
45	58 Desviación
	60 Integral
	62 Segundo valor límite
	64 Posición
	66 Primer coeficiente
50	68 Primera función integral
	70 Segundo coeficiente
	72 Segunda función integral
	74 Desfase
55	I Flujo de corriente eléctrica
	U Voltaje eléctrico

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento (44) para operar una máquina eléctrica (2), en particular un motor eléctrico que tiene un estator (4) y un rotor (6), y que comprende un primer sensor (18) para detectar una posición del rotor (6) con respecto del estator (4) o para detectar un cambio en una posición del rotor (6) con respecto al estator (4) y un segundo sensor (24) para detectar una aceleración del rotor (6) con respecto al estator (4), en el que
- 5
- se detecta una señal del primer sensor (23) por medio del primer sensor (18),
 - se detecta una señal del segundo sensor (31) por medio del segundo sensor (24),
- 10 **caracterizado porque**
- basándose en la señal del primer y del segundo sensor (23, 31), se determina una velocidad (48), y
 - se suministra la velocidad (48) a un control de velocidad (15) y a un dispositivo de monitorización de seguridad (38) para ejecutar una primera función segura (40).
- 15 2. Procedimiento (44) según la reivindicación 1, en el que la velocidad (48) se compara con un primer valor límite (50) por medio del dispositivo de monitorización de seguridad (38).
3. Procedimiento (44) según la reivindicación 1 o 2, en el que, basándose en una de las señales del sensor (23, 31), se crea una desviación (58) y se ejecuta una segunda función segura (42), si la desviación (58) es mayor que un
- 20 segundo valor límite (62).
4. Procedimiento (44) según la reivindicación 3, en el que se crea una integral temporal (60) a través de la señal del segundo sensor (31) y se determina la desviación (58) entre la integral (60) y la señal del primer sensor (23).
- 25 5. Procedimiento (44) según la reivindicación 3, en el que se crea una derivada temporal (54) de la señal del primer sensor (23) y se determina la desviación (58) entre la derivada (54) y la señal del segundo sensor (31).
6. Procedimiento (44) según la reivindicación 3, en el que se detecta un flujo de corriente eléctrica (I) y/o un voltaje eléctrico (U) y a partir de esto se determina una señal del tercer sensor (36), en el que la desviación (58) se determina basándose en la señal del tercer sensor (36).
- 30 7. Procedimiento (44) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el que se usa una diferencia ponderada como desviación (58).
- 35 8. Procedimiento (44) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la señal del segundo sensor (31) se corrige mediante un desfase (74), en particular dependiente del tiempo.
9. Procedimiento (44) según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la velocidad (48) se determina en múltiples canales.
- 40 10. Máquina eléctrica (2), en particular motor eléctrico, que tiene un estator (4) y un rotor (6) y un primer sensor (18) para detectar una posición o un cambio de posición del rotor (6) con respecto al estator (4) y un segundo sensor (24) para detectar una aceleración del rotor (6) con respecto al estator (4) así como un dispositivo de monitorización de seguridad (38) y un control de velocidad (15), y que es operado según un procedimiento (44) según cualquiera de
- 45 las reivindicaciones 1 a 9.
11. Máquina eléctrica (2) según la reivindicación 10, **caracterizada porque** el principio de medición del primer sensor (18) es diferente del principio de medición del segundo sensor (24) y/o **porque** el segundo sensor (24) es un sensor de Ferraris.

FIG. 1

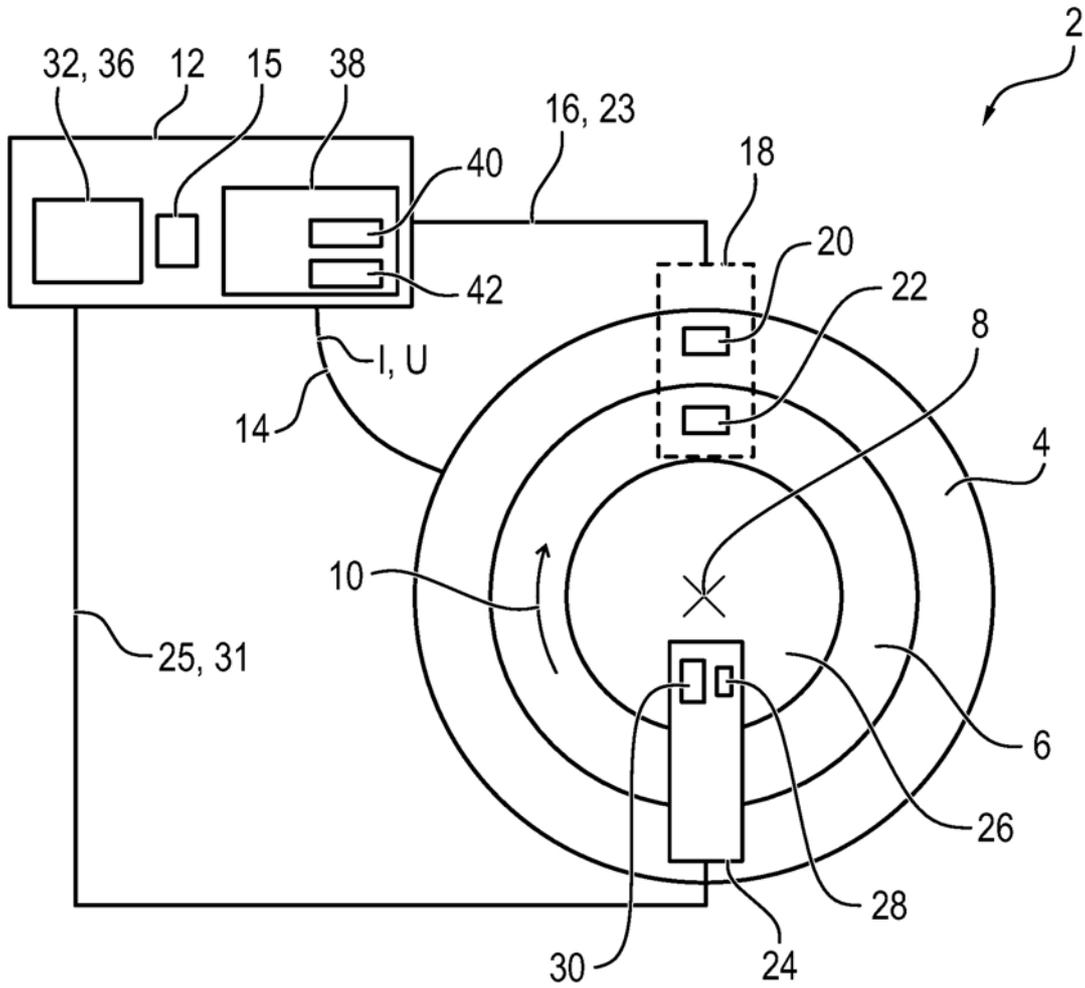


FIG. 2

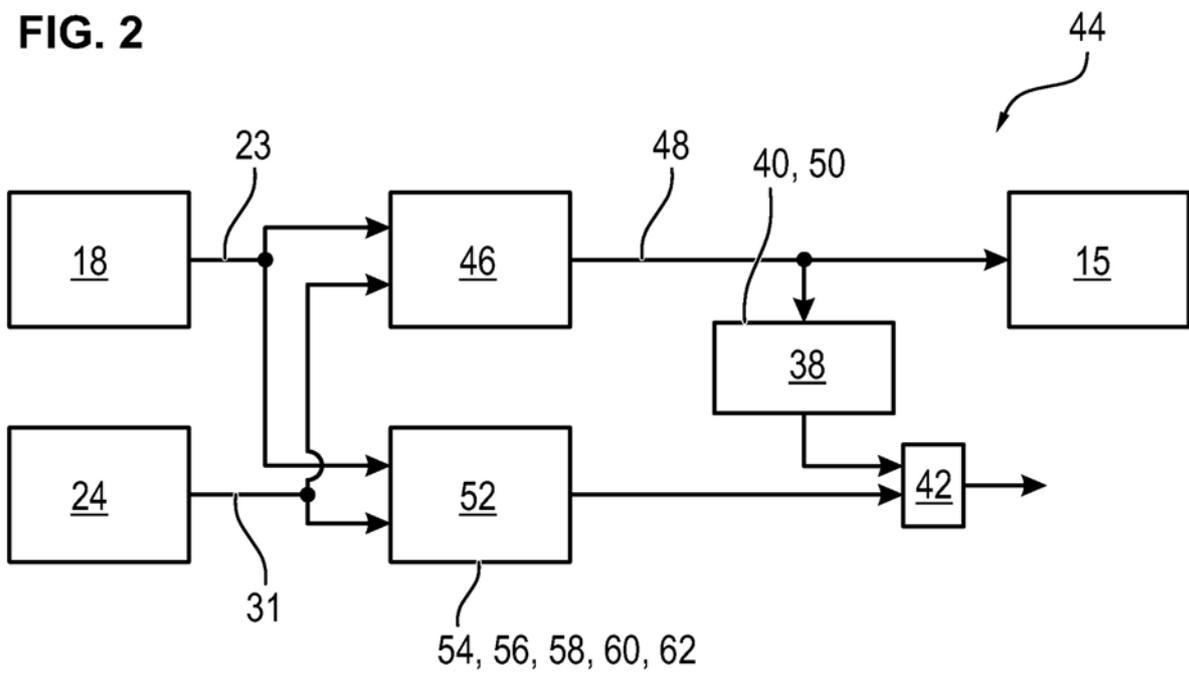


FIG. 3

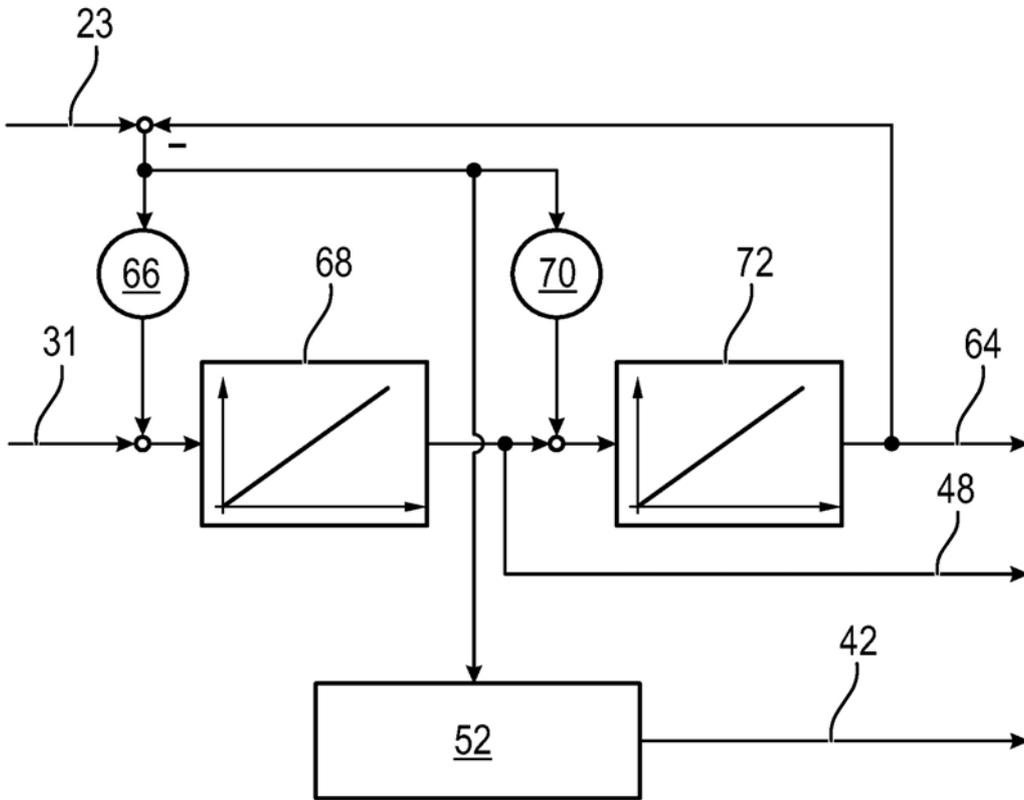


FIG. 4

