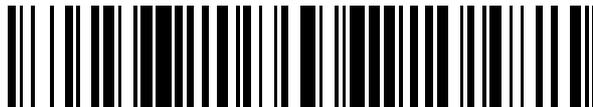


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 534 988**

51 Int. Cl.:

**G01R 19/00** (2006.01)

**H02M 7/5387** (2007.01)

**G01R 19/25** (2006.01)

**H02M 7/539** (2006.01)

**H02M 7/5395** (2006.01)

**G01R 31/34** (2006.01)

**H02M 1/00** (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.01.2011 E 11150113 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **01.04.2015 EP 2360483**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para medir la corriente en una red de corriente multifase**

30 Prioridad:

**25.01.2010 DE 102010001181**

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

**04.05.2015**

73 Titular/es:

**ROBERT BOSCH GMBH (100.0%)  
Postfach 30 02 20  
70442 Stuttgart, DE**

72 Inventor/es:

**FINKE, SVEN;  
KUEHN, TIMO y  
KURFISS, JOCHEN**

74 Agente/Representante:

**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

**ES 2 534 988 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 y dispositivo para medir la corriente en una red de corriente multifase

5 La invención se refiere a un procedimiento para medir la corriente con un circuito amplificador de medición en una red de corriente multifase, en el que mediante en cada caso al menos un elemento conmutador controlable de una fase se produce una alimentación de corriente deseada a un consumidor eléctrico, y una unidad de control genera una señal de activación que presenta un modelo de sincronización que controla la duración de conexión del elemento conmutador respectivo, para alcanzar la alimentación de corriente deseada, en donde a los modelos de sincronización de las señales de activación están asociadas unas ventanas de medición para medir la corriente, en especial para medir corrientes de fase, y los modelos de sincronización se desplazan en el tiempo para obtener 10 ventanas de medición con una magnitud de tiempo suficiente.

Estado de la técnica

15 En los motores eléctricos con activación multifase existe a menudo el deseo de detectar las corrientes de fase. Si se trata de la alimentación de corriente a un motor eléctrico mediante un puente controlable, que en sus ramales de puente individuales presenta elementos conmutadores controlables, el motor eléctrico puede alimentarse con corriente de la forma deseada. Para detectar las corrientes de fase se dispone en cada línea de fase una resistencia de bajo valor (shunt). La complejidad de esta disposición de medición multifase es correspondientemente grande.

20 De la publicación para información de solicitud de patente alemana DE 10 2008 001 025 A1 se conoce asimismo llevar a cabo la medición de la corriente con solamente un único shunt. Para hacer esto posible es necesario desplazar en el tiempo el modelo de sincronización, para obtener ventanas de medición con una magnitud de tiempo suficiente, dentro del cual pueda realizarse una detección de corriente mediante el shunt. Conforme al procedimiento conocido está previsto que, si es posible, se lleve a cabo una exploración doble para detectar un segundo valor de corriente de la misma fase. Si no es posible la exploración doble una memoria proporciona un valor correspondiente al segundo valor de corriente, lo que sin embargo conduce a que se produzca una compensación del offset-ripple con valores "congelados". Una restitución automática del ripple-offset a través del margen angular de motor no es 25 aquí posible.

Se conocen procedimientos similares de los documentos DE 10 2005 062759 A1, EP 1 347 567 A1, US 5 309 349 A, US 2004/056661 A1 y WO 96/23347 A1.

Manifiesto de la invención

30 Conforme a la invención está previsto que los modelos de sincronización se desplacen clasificados según la duración de conexión ascendente, en donde en primer lugar se conecta el elemento conmutador con la menor duración de conexión. Por lo tanto está previsto, conforme a la invención, que los modelos de sincronización se desplacen siguiendo una regla determinada. El desplazamiento se realiza con ello de tal manera, que los modelos de sincronización se desplazan en función de la duración de conexión del elemento conmutador a activar. El desplazamiento se realiza con ello clasificado según la duración de conexión ascendente o creciente. Esto significa 35 que el modelo de sincronización con la menor duración de conexión se desplaza en primer lugar o no se desplaza, de tal manera que en primer lugar se conecta el elemento de conexión con la menor duración de conexión. Los modelos de sincronización con mayores duraciones de conexión se siguen desplazando de forma correspondiente, de tal modo que los elementos de conexión con la siguiente duración de conexión más alta (más larga) se conectan consecutivamente, con lo que se obtiene una secuencia que se fija mediante la respectiva duración de conexión. 40 Mediante este ventajoso desplazamiento clasificado según la duración de conexión ascendente o creciente de los modelos de sincronización se garantiza que, incluso después de la desconexión del respectivo elemento conmutador, se disponga de una ventana de medición con una magnitud de tiempo suficiente, dentro de la cual mediante uno de los shunts pueda medirse una segunda vez la corriente en la fase respectiva. El desplazamiento clasificado conduce a que el elemento conmutador conectado en primer lugar también se desconecte en primer lugar, el elemento conmutador conectado a continuación se desconecte a continuación y un elemento conmutador conectado en último lugar también se desconecte de nuevo en último lugar. Por medio de esto se garantiza que sea 45 posible una exploración doble en cada margen angular de motor.

50 En el caso de una red de corriente trifásica se conecta a continuación el elemento conmutador con la duración de conexión media y por último el elemento conmutador con la mayor duración de conexión. Por medio de esto es posible establecer en cada punto de trabajo el ripple-offset real, con lo que es posible una restitución (o compensación) automática del ripple-offset en todo el margen de trabajo. De este modo puede aumentarse la exactitud de la medición de corriente. Esta ventaja es sobre todo visible cuando los ripple-offsets no son constantes.

Asimismo está previsto que el tiempo de desplazamiento se corresponda al menos con el tiempo que necesita el circuito amplificador de medición hasta alcanzar un estado de estabilidad. El estado de estabilidad debe alcanzarse

para poder medir un valor de corriente significativo. De esta forma los modelos de sincronización se desplazan al menos en el tiempo de respuesta, de forma correspondiente a la secuencia descrita anteriormente.

En cada caso en una ventana de medición se realiza ventajosamente la medición de una corriente de fase del consumidor. La medición de las corrientes de fase individuales se realiza según esto consecutivamente en el tiempo.

- 5 Como señal de activación se genera o usa convenientemente una señal de modulación por ancho de pulso (PWM), en donde a causa del desplazamiento clasificado de los modelos de sincronización no se lleva a cabo una modulación por ancho de pulso simétrica, sino una asimétrica.

10 La medición de la corriente de fase en un periodo de modulación por ancho de pulso se realiza convenientemente dos veces. Esto significa que por cada periodo de modulación por ancho de pulso de un modelo de sincronización se prevén dos ventanas de medición, dentro de las cuales se realiza la medición de la corriente de fase. Mediante la secuencia conforme a la invención descrita anteriormente de los modelos de sincronización desplazados se garantiza que en ambas ventanas de medición se disponga de tiempo suficiente para que se presente en el amplificador de medición un estado de estabilidad.

15 Como consumidor se alimenta con corriente de forma preferida un motor síncrono de imanes permanentes (PSM). En los motores síncronos de imanes permanentes se modifican las inductancias de bobina en su aspecto mecánico, lo que conduce a unos ripple-offsets no constantes. Más bien los ripple-offsets dependen del ángulo de giro e influyen de este modo en la precisión de la medición de corriente. Especialmente aquí se aprecia la ventaja del procedimiento ventajoso para medir la corriente, en el que se mide dos veces la corriente de fase dentro de un periodo de modulación por ancho de pulso y esto es posible en todo el margen angular de motor. Los offset-ripples  
20 pueden detectarse y compensarse de este modo en todo el margen angular de motor. Alternativamente se alimenta con corriente como consumidor una máquina asíncrona.

25 Asimismo está previsto que la alimentación de corriente a un consumidor se realice mediante un circuito puente controlable, que comprende como elementos conmutadores piezas constructivas electrónicas, en especial transistores y/o tiristores. Estos elementos conmutadores presentan unas entradas de control a las que se aplican las señales de activación, con lo que se modifican los estados de conmutación de los elementos conmutadores. Como transistores se utilizan de forma preferida transistores de efecto de campo, de forma especialmente preferida MOSFETs. El consumidor, en especial el llamado motor síncrono de imanes permanentes, presenta de forma preferida un circuito estrella. Los elementos conmutadores se encuentran en los diferentes ramales del circuito  
30 puente, en donde se usa en especial un circuito puente con una topología B6 y el consumidor es por ejemplo un motor síncrono de imanes permanentes trifásico o una máquina asíncrona. El circuito puente se alimenta ventajosamente desde un circuito de corriente continua, en especial un circuito intermedio de corriente continua.

35 Por último está previsto que la medición de corriente se realice mediante un shunt, dispuesto en el circuito de corriente continua que alimenta el circuito puente. La señal en el shunt se amplifica después mediante el amplificador de medición y se transforma de forma preferida mediante un convertidor analógico-digital, de tal manera que esté disponible para diferentes fines.

40 El dispositivo conforme a la invención destaca por una red de corriente multifase, que comprende un circuito amplificador de medición así como en cada caso al menos un elemento conmutador controlable de una fase y una unidad de control, en donde la unidad de control genera una señal de activación que presenta la duración de conexión del modelo de sincronización que controla el respectivo elemento conmutador, para alcanzar una alimentación de corriente deseada del consumidor eléctrico, y por una instalación para el desplazamiento clasificado de los modelos de sincronización en función de la longitud de la duración de conexión.

A continuación se pretende explicar con más detalle la invención con base en el dibujo. Para esto muestran

la figura 1 un dispositivo para medir la corriente,

La figura 2 ripple-offsets en el margen angular de motor de un motor síncrono de imanes permanentes,

45 la figura 3 modelos de sincronización desplazados con clasificación, y

la figura 4 una representación en corte de un sistema de tensión trifásico.

50 la figura 1 muestra un circuito puente 1, que está conectado a un circuito de corriente continua 2. El circuito puente 1 está configurado como circuito puente con una topología B6 con tres ramales de puente 3. Cada ramal de puente 3 presenta dos elementos conmutadores controlables 4. Un consumidor 5, que está configurado como motor síncrono de imanes permanentes 6 trifásico, es activado por el circuito puente 1. Una unidad de control no representada aquí con más detalle genera unas señales de activación con determinados modelos de sincronización, en donde las

señales de activación se alimentan a entradas de control 7 de los elementos conmutadores 4, con lo que estos pueden conmutarse, respectivamente conectarse o desconectarse, en el estado de conducción eléctrica o de bloqueo eléctrico. En el circuito de corriente continua 2, que está configurado como circuito intermedio de corriente continua 8, está situado un condensador de circuito intermedio 9. El circuito de corriente continua 2 está unido al  
 5 circuito puente 1 a través de un shunt 10. Con este único shunt 10 se establecen secuencialmente las corrientes de fase del consumidor 5, respectivamente del motor síncrono de imanes permanentes 6. De forma preferida se miden dos corrientes de fase de las en total tres corrientes de fase y se calcula la tercera corriente de fase mediante las leyes de Kirchhoff. Al shunt 10 está conectado un convertidor analógico-digital 11 de un circuito amplificador de medición 12, en donde el convertidor analógico-digital 10 se transforma en una señal digital para su posterior  
 10 tratamiento. El circuito amplificador de medición presenta en funcionamiento un tiempo de respuesta E. El convertidor analógico-digital 11 posee un tiempo de exploración A y los elementos conmutadores 4, configurados de forma preferida como transistores de efecto de campo (FET), poseen un tiempo muerto T.

En funcionamiento de la red de corriente multifase descrita anteriormente se producen unas llamadas porciones de offset, que se obtienen de un offset de amplificador de operación, y de ripple-offsets durante mediciones de corriente. Estas porciones de offset se establecen automáticamente durante el funcionamiento, en donde hasta  
 15 ahora sólo es posible establecer y compensar los llamados ripple-offsets en un margen angular limitado (1/6 del margen angular de motor). En el restante margen angular (5/6 del margen angular de motor) los sistemas conocidos trabajan con valores de ripple-offset (adaptativos) fijados.

Sin embargo, como se deduce de la figura 2, los ripple-offsets varían dentro del margen angular de motor. De este modo se modifican en el caso del consumidor 5, respectivamente en el caso del motor síncrono de imanes permanentes 6, las inductividades de bobina efectivas en su aspecto mecánico. En la figura 2 se han representado para esto a modo de ejemplo los ripple-offsets dependientes del margen angular, que influyen en la precisión de la medición de corriente. La figura 2 muestra para esto los ripple-offsets de una primera fase (Ripple\_11) y de una segunda fase (Ripple\_21) dentro del ángulo de giro mecánico PHI.

Hasta ahora sólo podían detectarse los valores de corriente marcados con asterisco en una primera sexta parte del margen angular.

El procedimiento ventajoso para medir la corriente prevé que los modelos de sincronización de la señal de activación se desplacen, clasificados según la duración de conexión ascendente. El desplazamiento de fase, respectivamente el desplazamiento de los modelos de sincronización, es necesario para hacer posible el tiempo de respuesta E  
 30 suficiente en el circuito amplificador de medición 12 durante la medición de corriente con un shunt. A partir de ahora este desplazamiento de fase, respectivamente el tiempo de desplazamiento, recibe el nombre de  $T_{OP}$ . Los modelos de sincronización de diferente longitud, respectivamente los modelos de sincronización con tiempos de conexión de diferente longitud de los elementos conmutadores, se clasifican por lo tanto desplazados entre sí en el citado desplazamiento de fase  $T_{OP}$ , en donde la clasificación se realiza en función de la duración de conexión, de tal  
 35 manera que en un momento T1 se conecta primer el elemento conmutador con la menor duración de conexión, a continuación, en un momento T2, se conecta el elemento conmutador con la duración de conexión media y por último, en un momento T3, se conecta el elemento conmutador con la mayor duración de conexión. La subsiguiente desconexión de los elementos conmutadores se realiza según los tiempos prefijados de modulación por ancho de pulso.

El desplazamiento necesario para una medición de corriente se calcula ventajosamente como sigue: desplazamiento ( $T_{OP}$ ) = tiempo muerto del ramal de puente + tiempo de respuesta del circuito amplificador de medición + tiempo de exploración del convertidor digital-analógico.

La figura 3 muestra un ejemplo de ejecución correspondiente para modelos de sincronización, desplazados con la clasificación correspondiente, de las fases U, V y W. Por medio de que los puntos de conexión se desplazan al  
 45 menos en el periodo de tiempo  $T_{OP}$ , con la clasificación correspondiente, se garantiza siempre que después de la desconexión del respectivo elemento conmutador pueda llevarse a cabo otra medición de corriente y con ello una llamada exploración doble (en total por lo tanto cuatro mediciones). De este modo es posible detectar y compensar de forma correspondiente los ripple-offsets dentro de todo el margen angular del consumidor 5. El desplazamiento de fase, respectivamente los periodos de tiempo  $T_{OP}$ , forman de este modo ventanas de medición, dentro de las  
 50 cuales se realiza la medición de una corriente de fase del consumidor 5.

Las dos mediciones están caracterizadas en la figura 3 con  $M_{1,1}$  y  $M_{2,1}$ . En el momento de la primera medición  $M_{1,1}$  la corriente a través del shunt 10 se corresponde con la corriente en la fase U; en el momento de la segunda medición  $M_{2,1}$  la corriente a través del shunt 10 se corresponde con la corriente inversa en la fase W (esto se corresponde con la adición de las corrientes de fase de U y V). Las mediciones se llevan a cabo en el periodo parcial B ( $PWM_B$ ) del periodo de modulación por ancho de pulso PWM-P. Al periodo parcial B se conecta el periodo parcial A ( $PWM_A$ ), en donde la suma del periodo parcial B y el periodo parcial A produce el periodo de modulación por ancho de pulso PWM-P. Durante el periodo parcial A se realizan las segundas mediciones  $M_{1,2}$  y  $M_{2,2}$ , que detectan la corriente de la

fase respectiva una segunda vez, esta vez después de la desconexión del respectivo elemento conmutador, para llevar a cabo una exploración doble.

Mediante el procedimiento ventajoso se obtienen en principio seis clases diferentes de modelos de sincronización PWM, para pasar (conectar) de LOW a HIGH en los momentos T1, T2 y T3:

5

Tabla 1

T1	T2	T3
W	V	U
W	U	V
U	W	V
U	V	W
V	U	W
V	W	U

Si se divide el diagrama de tensiones en seis sectores iguales S1, S2, S3, S4, S5 y S6, como se ha representado en la figura 4, se obtienen las siguientes relaciones para la tensión U así como para la duración de conexión T\_on de las fases U, V y W:

10

Tabla 2

Sector:	Condición para tensión U	Condición para duración de conexión T_on
S1	$U_U > U_V > U_W$	$T_{on\_U} > T_{on\_V} > T_{on\_W}$
S2	$U_V > U_U > U_W$	$T_{on\_V} > T_{on\_U} > T_{on\_W}$
S3	$U_V > U_W > U_U$	$T_{on\_V} > T_{on\_W} > T_{on\_U}$
S4	$U_W > U_V > U_U$	$T_{on\_W} > T_{on\_V} > T_{on\_U}$
S5	$U_W > U_U > U_V$	$T_{on\_W} > T_{on\_U} > T_{on\_V}$
S6	$U_U > U_W > U_V$	$T_{on\_U} > T_{on\_W} > T_{on\_V}$

Si se transfiere ahora la disposición de conmutación del procedimiento ventajosos descrito anteriormente para medir la corriente a la tabla 2, se obtiene el siguiente comportamiento de conmutación con relación a la secuencia de desconexión en los momentos T4, T5; T6:

Tabla 3

Sector:	T1	T2	T3	T4	T5	T6
	conectar			desconectar		
S1	W	V	U	W	V	U
S2	W	U	V	W	U	V
S3	U	W	V	U	W	V
S4	U	V	W	U	V	W
S5	V	U	W	V	U	W
S6	V	W	U	V	W	U

5 A causa de las condiciones indicadas anteriormente se obtiene que el periodo de tiempo entre los momentos T4 y T5, así como entre los momentos T5 y T6 son en cada caso mayores que el desplazamiento de fase  $T_{OP}$ . De este modo se obtiene en total lo siguiente:

$$T1 < T2 < T3 \text{ y } T4 < T5 < T6$$

10 Debido a que el periodo de tiempo  $T_{45} = T5 - T4$  y el periodo de tiempo  $T_{56} = T6 - T5$  son ambos mayores que el periodo de tiempo  $T_{OP}$ , en todos los sectores se dispone de una duración suficiente, para establecer para ambas corrientes medidas en cada caso otro valor de medición adicional con ayuda de la medición de corriente con 1 shunt, de tal manera que en total pueden detectarse cuatro valores de medición, que se usan para establecer los ripple-offsets y en especial para compensar los ripple-offsets. El procedimiento ventajoso permite de este modo una exploración doble dentro de todo el margen angular de motor del consumidor 5.

15 En la ejecución anterior se han contemplado únicamente los seis sectores S1 a S6. Si ahora se contemplan adicionalmente también los límites de sector, en la tabla 2 en lugar de los símbolos de relación ">" son aplicables ahora los símbolos de relación "≥", de tal modo que el estado de las cosas pueda generalizarse como sigue:

$$T_{45} \geq T_{OP} > 0 \text{ y } T_{56} \geq T_{OP} > 0$$

Esto significa que siempre se dispone, es decir también en los límites de sector, de una duración suficiente para poder llevar a cabo mediciones dobles. En este procedimiento puede elegirse libremente a qué sector adyacente se asocia el límite de sector.

20 Para que el procedimiento funcione en todos los puntos de trabajo es necesario que se cumplan las siguientes condiciones marco para las señales PWM:

Para la menor PWM, respectivamente la duración de conexión PWM\_MIN más corta, debe cumplirse:

$$PWM\_MIN = (2 \cdot T_{OP} / PWM - P) \cdot 100\%$$

Para la mayor PWM-P, respectivamente la duración de conexión PWM\_MAX más larga:

$$100\% = (2 \cdot T_{OP} / PWM - P) \cdot 100\% + PWM\_MAX$$

$$PWM\_MAX = 100\% - (2 \cdot T_{OP} / PWM - P) \cdot 100\%$$

$$PWM\_MAX = [1 - (2 \cdot T_{OP} / PWM - P)] \cdot 100\%$$

En total esto significa que las señales PWM deben cumplir el requisito:

$$\text{PWM\_MIN} \leq \text{PWM (U, V, W)} \leq \text{PWM\_MAX}$$

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento para medir la corriente con un circuito amplificador de medición en una red de corriente multifase, en el que mediante en cada caso al menos un elemento conmutador controlable de una fase se produce una alimentación de corriente deseada a un consumidor eléctrico, y una unidad de control genera una señal de activación que presenta un modelo de sincronización que controla la duración de conexión del elemento conmutador respectivo, para alcanzar la alimentación de corriente deseada, en donde a los modelos de sincronización de las señales de activación están asociadas unas ventanas de medición para medir la corriente, en especial para medir corrientes de fase, y los modelos de sincronización se desplazan en el tiempo para obtener ventanas de medición con una magnitud de tiempo suficiente, caracterizado porque los modelos de sincronización se desplazan clasificados según la duración de conexión ascendente, en donde en primer lugar se conecta el elemento conmutador con la menor duración de conexión.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque en el caso de una red de corriente trifásica se conecta a continuación el elemento conmutador con la duración de conexión media y por último el elemento conmutador con la mayor duración de conexión.
- 15 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el tiempo de desplazamiento se corresponde al menos con el tiempo que necesita el circuito amplificador de medición hasta alcanzar un estado de estabilidad.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque en cada caso en una ventana de medición se realiza la medición de una corriente de fase del consumidor
- 20 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque como señal de activación se genera una señal de modulación por ancho de pulso
6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la medición de la corriente de fase en un periodo de modulación por ancho de pulso se lleva a cabo dos veces
- 25 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque como consumidor se alimenta con corriente un motor síncrono de imanes permanentes o una máquina asíncrona.
8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la alimentación de corriente a un consumidor se realiza mediante un circuito puente controlable, que comprende como elementos conmutadores piezas constructivas electrónicas, en especial transistores y/o tiristores.
- 30 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la medición de corriente se realiza mediante un shunt, dispuesto en el circuito de corriente continua que alimenta el circuito puente
- 35 10. Dispositivo para medir la corriente, con una red de corriente multifase que comprende un circuito amplificador de medición así como en cada caso al menos un elemento conmutador controlable de una fase y una unidad de control, en donde la unidad de control genera una señal de activación que presenta un modelo de sincronización que controla la duración de conexión del elemento conmutador respectivo, para alcanzar una alimentación de corriente deseada a un consumidor eléctrico, en donde a los modelos de sincronización de las señales de activación están asociadas unas ventanas de medición para medir la corriente, en especial para medir corrientes de fase, y los modelos de sincronización se desplazan en el tiempo para obtener ventanas de medición con una magnitud de tiempo suficiente, caracterizado por una instalación que desplaza los modelos de sincronización clasificados según la duración de conexión ascendente, en donde en primer lugar se conecta el elemento conmutador con la menor duración de conexión.
- 40

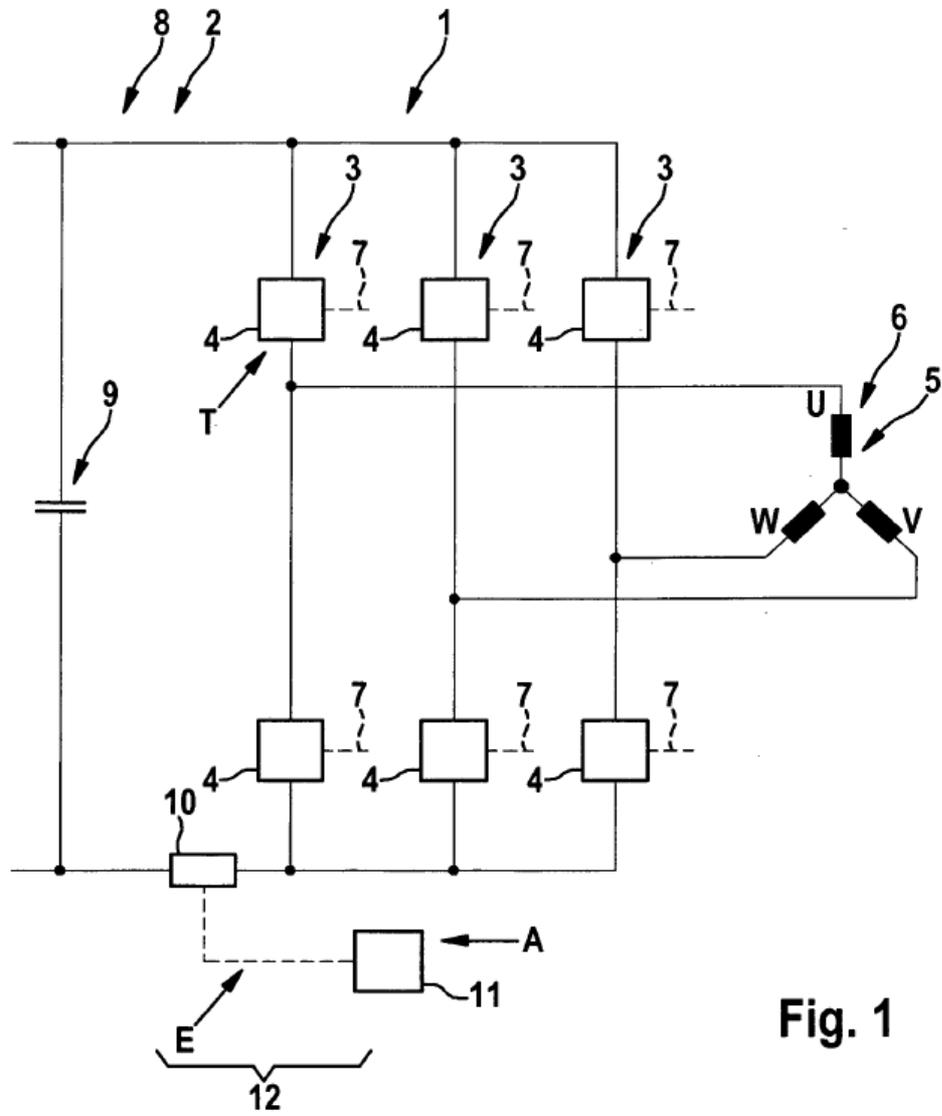


Fig. 1

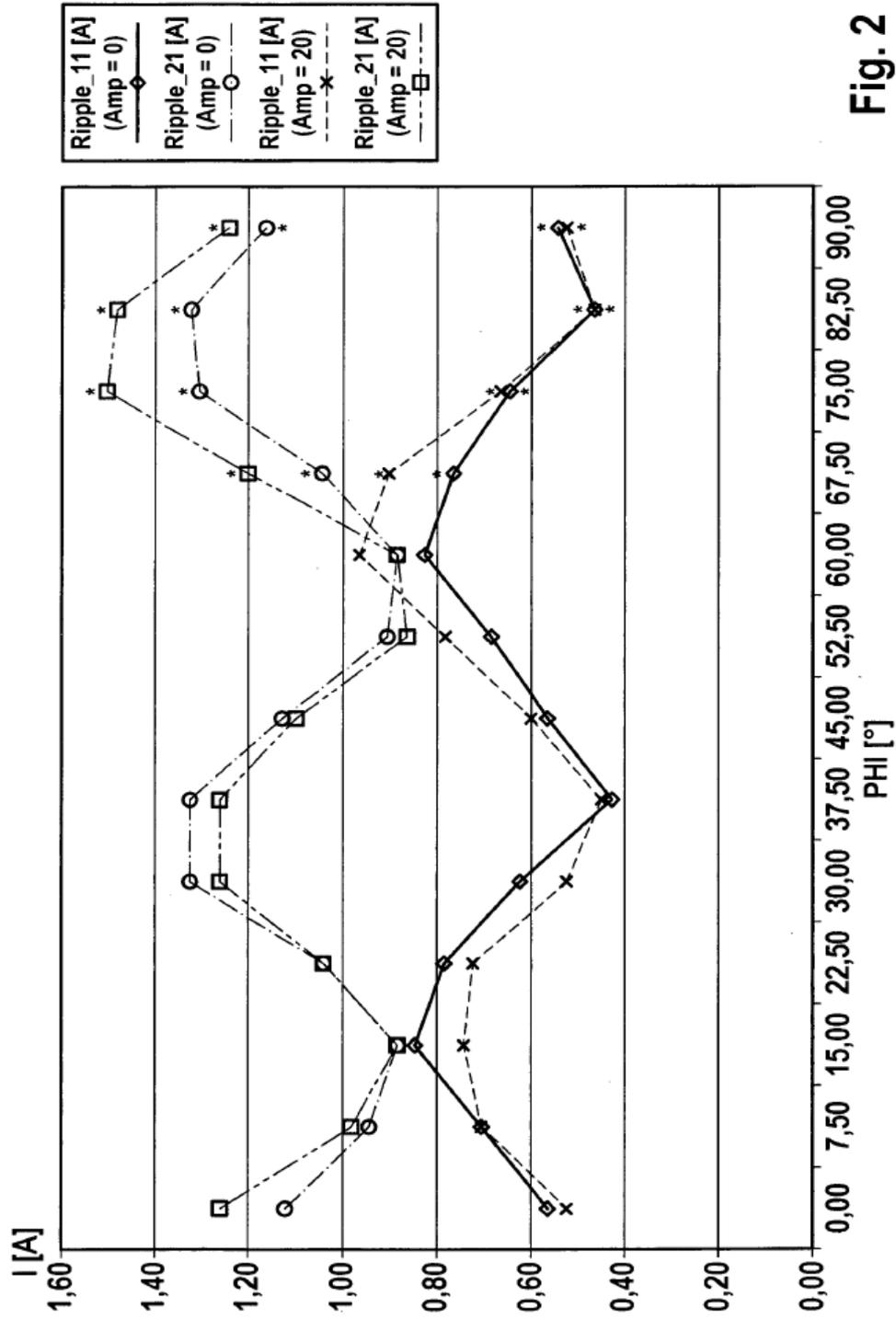
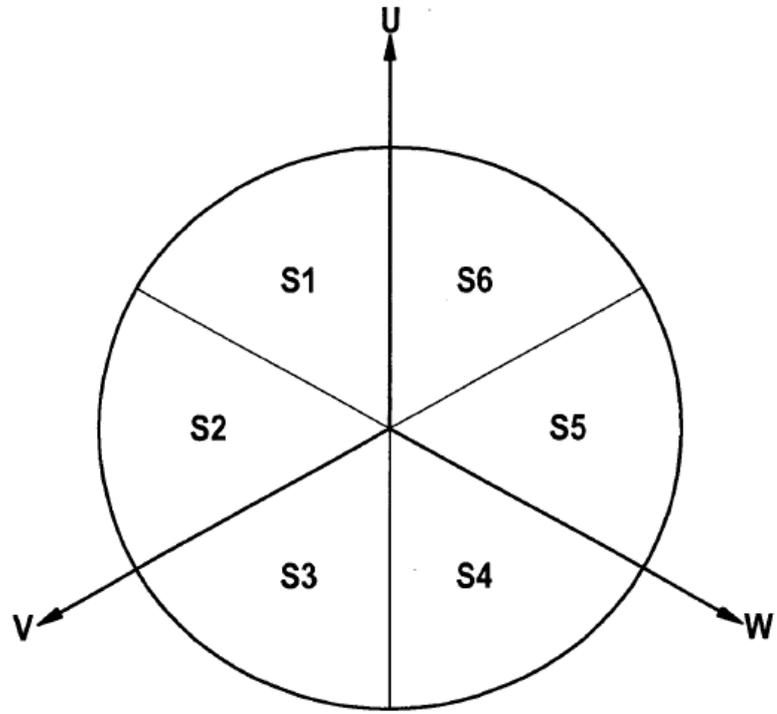


Fig. 2





**Fig. 4**