



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 324 159**

51 Int. Cl.:
H02H 7/122 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **03015341 .5**

96 Fecha de presentación : **08.07.2003**

97 Número de publicación de la solicitud: **1387459**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.02.2004**

54 Título: **Método para la detección de errores en un equipo de accionamiento.**

30 Prioridad: **02.08.2002 DE 102 36 377**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
31.07.2009

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
31.07.2009

73 Titular/es: **Dr. Johannes Heidenhain GmbH**
Postfach 12 60
83292 Traunreut, DE

72 Inventor/es: **Zehentner, Georg;**
Huber, Norbert y
Kellner, Eugen

74 Agente: **Ungría López, Javier**

ES 2 324 159 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).

ES 2 324 159 T3

DESCRIPCIÓN

Método para la detección de errores en un equipo de accionamiento.

5 La invención se refiere a un método para la detección de errores en un equipo de accionamiento de acuerdo con el término genérico de la reivindicación 1.

10 Un método de este tipo está previsto para la detección de errores en un equipo de accionamiento con un motor eléctrico multifásico, particularmente un motor trifásico, y una pieza de potencia preconectada al motor eléctrico en forma de un convertidor de corriente (convertidor), donde el convertidor de corriente controla la tensión en las fases del motor eléctrico y las corrientes de fase (dependientes de dichas tensiones) tienen un recorrido respectivamente periódico en las fases individuales del motor eléctrico. Las corrientes de fase se miden para la detección de errores.

15 Los métodos para la detección de errores en un equipo de accionamiento con medición de corrientes de fase se conocen, a modo de ejemplo, a partir del documento US-PS 5.266.891 y del documento EP 0 848 492 A1. También el artículo "Remedial Strategies for brushless DC drive failures", IEEE transactions on industrie applications 26 (1990), N° 2, páginas 259-266 de Spée *et al.*, se refiere a la detección de errores en equipos de accionamiento y, sobre todo, a posibilidades de ayuda en el caso de errores detectados.

20 La invención se basa en el problema de proporcionar un método mejorado para la detección de errores en un equipo de accionamiento.

25 Este problema se resuelve de acuerdo con la invención mediante un método con las características de la reivindicación 1.

30 De acuerdo con el mismo, para la detección de errores se miden las corrientes de fase en un punto predefinido del correspondiente periodo, es decir, en un ángulo de corriente predefinido con variación simultánea de las tensiones en las fases del motor eléctrico y se evalúan los valores de medicación dependiendo de la tensión en la respectiva fase del motor eléctrico.

35 La solución de acuerdo con la invención es adecuada para la detección de errores en equipos de accionamiento para máquinas herramienta y posibilita una localización de errores, de tal forma que se puede diferenciar particularmente entre un error en el convertidor de corriente y un error en el motor eléctrico post-conectado sin uso de equipos de medición separados para el convertidor de corriente por un lado y el motor eléctrico por otro lado. Esto posibilita por lo demás un diagnóstico remoto de errores mediante un módem o por Internet.

40 La posibilidad de la diferenciación entre errores en el convertidor de corriente por un lado y en el motor eléctrico por otro lado se obtiene por que para la detección de errores no se miden simplemente las corrientes de fase en las fases individuales del motor eléctrico en ángulos de corriente determinados, sino que al mismo tiempo se produce una variación de las tensiones eléctricas que generan las corrientes. El comportamiento de las corrientes dependiendo de la tensión eléctrica en la que se basa posibilita una evaluación que conduce, por un lado, a una diferenciación entre errores en el convertidor de corriente y, por otro lado, en el motor eléctrico. Esto se explicará más adelante mediante ejemplos de manera detallada. Es importante que las tensiones se varían durante la medición de las corrientes de fase de tal forma que no se modifica el ángulo de corriente, es decir, las corrientes de fase se investigan durante una medicación respectivamente en un único punto constante del periodo.

45 Los errores a detectar del motor eléctrico son, particularmente, una interrupción en las líneas de una fase del motor eléctrico, por ejemplo, como consecuencia de una interrupción de línea o un contacto no cerrado. Los errores a detectar dentro del convertidor de corriente pueden ser, sobre todo, una válvula de convertidor de corriente errónea, es decir, que no conmuta correctamente en forma de un transistor, particularmente un denominado IGBT (Insulated-Gate-Bipolar-Transistor).

50 Se reconoce una interrupción en una fase del motor eléctrico porque la correspondiente corriente de fase, independientemente del valor en la tensión en la que se basa, siempre es aproximadamente igual a 0. (El valor exacto "0" no se presenta por norma debido a influencias de medición). Por el contrario, en una válvula de convertidor de corriente errónea, que no conmuta correctamente, solamente se puede observar para una subzona de la curva de tensión eléctrica en la que se basa una disminución (que no se presenta en una válvula de convertidor de corriente que conmuta correctamente) hasta el valor de corriente cero.

55 Para la evaluación de las corrientes de fase se selecciona un ángulo de corriente tal, que al menos una de las corrientes de fase siempre es igual a cero durante la medición. En corrientes de fase que tienen un recorrido sinusoidal, la medición de las corrientes de fase se puede realizar, a modo de ejemplo, en un ángulo de corriente en el que una de las corrientes de fase presenta un pasaje por cero.

60 Las tensiones se varían preferiblemente de tal forma durante las mediciones de las corrientes de fase, que la relación de las tensiones durante la medición permanece constante. Particularmente se pueden variar dos de las tensiones de tal forma que esta suma de las tensiones siempre es igual a cero durante la medición. En una realización preferida de

ES 2 324 159 T3

la invención, las tensiones en las fases individuales del motor eléctrico se varían respectivamente de forma periódica durante la medición, atravesando las tensiones durante una medición respectivamente un periodo completo.

5 La variación de las tensiones se puede realizar de manera sencilla basándose en una curva de seno, de tal forma que las tensiones presentan pasajes por cero, que son importantes para la evaluación concreta de las corrientes de fase medidas, como se explicará más adelante.

10 La medición de las corrientes de fase se puede realizar con varios ángulos de corriente diferentes, donde el número de las mediciones en ángulos de corriente diferente se corresponde preferiblemente al número de las fases del motor eléctrico y en cada una de las mediciones otra de las corrientes de fase presenta el valor cero.

15 Para la evaluación de los resultados de medición con respecto a la detección de errores, las corrientes de fase medidas se pueden evaluar respectivamente en puntos definidos, que se pueden determinar mediante el recorrido de las tensiones eléctricas en las que se basan del respectivo recorrido de corriente, a modo de ejemplo, en el máximo de la correspondiente corriente de fase entre un máximo y un pasaje por cero de la tensión correspondiente. La evaluación de los resultados de medición se puede realizar entonces de manera sencilla de forma tabulada.

20 No se requiere medir directamente todas las corrientes de fase, ya que una de las corrientes de fase se puede determinar indirectamente a partir de las demás corrientes de fase.

25 Las señales de entrada del convertidor de corriente se determinan por señales de salida de un regulador, particularmente por señales de modulación de amplitud de pulso (señales PWM). Por lo tanto, es apropiado investigar las señales de salida del regulador en la interfaz entre el regulador y el convertidor de corriente con respecto a errores. Se comprueba si patrones determinados, predefinidos de las señales de salida del regulador generan las señales de entrada a esperar (señales de tensión) en el convertidor de corriente. Un error existe cuando determinadas señales de salida predefinidas del regulador no conducen a las señales de tensión esperadas. Para la evaluación de señales de tensión, las mismas se asocian entre sí por una compuerta lógica, particularmente una compuerta EXOR.

30 Adicionalmente se puede comprobar de forma complementaria en el marco de la presente invención si existe un cortocircuito entre dos fases del motor eléctrico. La comprobación con respecto a cortocircuito se realiza siempre que la medición de las corrientes de fase se tuvo que interrumpir debido a una sobrecorriente en una de las válvulas de convertidor de corriente del convertidor de corriente. La detección de una sobrecorriente de este tipo se puede realizar de manera sencilla en la propia válvula respectiva de convertidor de corriente que se desconecta como consecuencia de la sobrecorriente.

35 Para la comprobación con respecto a cortocircuito se sitúan respectivamente dos fases del motor eléctrico en el mismo potencial eléctrico y posteriormente se comprueba si la magnitud de una de las corrientes de fase indica un cortocircuito. La fijación del potencial eléctrico de las fases individuales se puede realizar por selección adecuada de un ángulo de corriente. Colocando de forma sucesiva todas las combinaciones posibles de dos fases del motor eléctrico en el mismo potencial eléctrico se puede determinar con la presentación de corrientes de cortocircuito cuál de las dos fases se ha cortocircuitado. De hecho, el cortocircuito, respectivamente, no puede proceder de las fases que se sitúan en el mismo potencial eléctrico.

45 En el caso de que se presentaran corrientes de cortocircuito en todas las combinaciones, a continuación se puede realizar una comprobación en relación a una toma a tierra de una de las fases. Para esto, los circuitos eléctricos individuales del convertidor de corriente, que están asignados a respectivamente una de las fases del motor eléctrico, se someten a señales de entrada idénticas. Estos circuitos eléctricos se pueden formar respectivamente por transistores dispuestos por pares o tiristores, particularmente en forma de IGBT dispuestos por pares, con diodos de marcha libre asociados.

50 Por los circuitos eléctricos asignados a las fases individuales del motor eléctrico se aplica, dependiendo de la señal de entrada respectiva del convertidor de corriente, respectivamente una de dos posibles tensiones como potencial eléctrico en la correspondiente fase del motor eléctrico. En este caso existe una toma a tierra cuando se presenta una corriente, a pesar de que todas las fases del motor eléctrico se han puesto en un potencial eléctrico idéntico.

55 La solución de acuerdo con la invención y sus perfeccionamientos que se han descrito anteriormente son particularmente adecuados para el uso en un motor trifásico de corriente trifásica.

60 Serán evidentes características y ventajas adicionales de la invención en la siguiente descripción de las figuras.

Se muestra:

65 En la Figura 1, un diagrama de conmutación eléctrica esquemático de un motor eléctrico con un convertidor de frecuencia pre-conectado;

En la Figura 2, un diagrama de flujo de un método para la detección de errores en un equipo de accionamiento de acuerdo con la Figura 1;

ES 2 324 159 T3

En la Figura 3, una representación esquemática de un circuito de evaluación para la determinación de errores en la interfaz entre el convertidor de frecuencia de la Figura 1 y un regulador pre-conectado;

En la Figura 4, una tabla para la evaluación del circuito de acuerdo con la Figura 3;

En la Figura 5, un diagrama de flujo para la explicación con más detalle de una etapa del método de la Figura 2 que se refiere a la diferenciación de errores en el motor eléctrico por un lado y el convertidor de frecuencia pre-conectado por otro lado;

En la Figura 6, una representación del desarrollo ideal de las corrientes de fase en el motor eléctrico de la Figura 1;

En las Figuras 7a a 16c, diferentes resultados de medición relevantes durante la realización del método de acuerdo con la Figura 5;

En la Figura 17, una representación tabulada de los resultados de un método para la detección de un cortocircuito entre dos fases del motor eléctrico de la Figura 1;

En la Figura 18, un diagrama de flujo para la detección de una toma a tierra en una de las fases del motor eléctrico de la Figura 1.

En la Figura 1 se representa un equipo de accionamiento para máquinas herramienta, que presenta un motor eléctrico multifásico en forma de un motor trifásico de corriente trifásica 1, un convertidor de corriente pre-conectado al motor 1 en forma de un convertidor de frecuencia 2 así como un regulador 3 para la generación de señales PWM para el convertidor 2. Las tres fases 11, 12, 13 del motor de accionamiento 1 se representan esquemáticamente en la Figura 1 como bobinas con una línea de entrada asociada.

El convertidor 2 (pieza de potencia) preconectado al motor de accionamiento 1 está formado por tres pares 26a, 16b; 27a, 27b; 28a, 28b de IGBT con diodos de marcha libre correspondientes. Adicionalmente, a cada IGBT 26a, 26b; 27a, 27b; 28a, 28b se asigna una línea de entrada eléctrica 21a, 21b; 22a, 22b o 23a, 23b.

Cada uno de estos pares 26a, 26b; 27a, 27b; 28a, 28b de IGBT forman junto con los diodos de marcha libre correspondientes y las líneas de entrada 21a, 21b; 22a, 22b; 23a, 23b un circuito eléctrico 21, 22 ó 23, que, dependiendo de las señales de entrada del convertidor 2 o las señales de salida del regulador 3, conmuta una tensión de circuito intermedio superior $U_z/2$ o una tensión de circuito intermedio inferior $-U_z/2$ a la respectiva fase asociada 11, 12 o 13 del motor de accionamiento 1. Dos de las corrientes de fase I1, I2 que se producen como resultado en la primera fase 11 o la segunda fase 12 del motor de accionamiento 1 se miden mediante sensores de corriente 41, 42. La corriente de fase I3 en la tercera fase 13 del motor de accionamiento 1 se puede determinar a partir de los valores medidos de las dos otras corrientes de fase I1, I2. Una corriente puede fluir dentro del motor de accionamiento solamente cuando al menos dos de las tres tensiones U1, U2, U3 en las fases 11, 12, 13 del motor eléctrico 1 son diferentes, es decir, al menos una de las tensiones U1, U2, U3 se ha puesto hasta el valor $U_z/2$, y otra, en el valor $-U_z/2$.

Del regulador 3, cuyas señales de salida PWM1, PWM2 y PWM3 determinan las señales de entrada del convertidor 2, se representan en la Figura 3 solamente líneas eléctricas 31, 32, 33, que forman la interfaz con respecto al convertidor 2 y que se asignan respectivamente a uno de los circuitos eléctricos 21, 22, 23 del convertidor 2. Las señales de salida generadas por el regulador 3 son respectivamente señales rectangulares, cuyo factor de trabajo de impulsos depende de los valores teóricos de corriente deseados en el motor de accionamiento 1.

Los equipos de accionamiento para máquinas herramienta del tipo representado en la Figura 1 son conocidos. A continuación se describirá mediante las figuras adicionales, cómo se puede realizar una detección de errores en un equipo de accionamiento de este tipo, que permite no solamente una detección fiable de errores que se presentan, sino también su localización. Particularmente se debe poder diferenciar entre la aparición de un error en el motor de accionamiento 1 y en el convertidor 2, sin proporcionar para esto equipos de medición adicionales, particularmente equipos de medición separados para la detección de errores en el motor de accionamiento 1 por un lado y en el convertidor 2, por otro lado.

La Figura 2 muestra en un diagrama de flujo una visión de conjunto del desarrollo completo de un ensayo de errores 100 para el equipo de accionamiento de la Figura 1.

En una primera etapa de ensayo 101 se comprueba la interfaz entre el regulador 3 y el convertidor 2, es decir, se ensaya si las señales de PWM generadas por el regulador 3 llegan correctamente al convertidor 2 y si están presentes todas las tensiones auxiliares necesarias para el control de los IGBT. Si en este ensayo se comprueba un error, entonces se genera el mensaje de error 102 "interfaz de PWM errónea" y se finaliza el ensayo. De hecho, funciones de ensayo adicionales no se pueden realizar de manera razonable, hasta que no se haya garantizado que al convertidor 2 se suministran señales de entrada correctas.

En el caso de que en el ensayo de la interfaz no se presentara ningún error entre el convertidor 2 y el regulador 3, entonces se realiza en la siguiente etapa 103 un "ensayo de motor con medición de corriente". Para esto, para tres

ES 2 324 159 T3

ángulos de corriente diferentes de la corriente trifásica que acciona el motor de accionamiento 3 se varían de forma sinusoidal las tensiones eléctricas en las que se basan. El ángulo de corriente se selecciona de tal forma, que en una de las tres fases del motor, la corriente es igual a cero, por tanto, la tensión correspondiente presenta asimismo de forma constante el valor cero.

5

Por una evaluación separada de las dos semi-ondas de las tensiones que tienen un recorrido sinusoidal se producen con tres ángulos de corriente diferentes en total seis mediciones evaluables de las corrientes de fase. La evaluación se realiza mediante una tabla, mediante cuyas entradas se puede comprobar si un error en el equipo de accionamiento se debe a un IGBT no conectado o una interrupción en una fase del motor de accionamiento. Se utiliza el efecto que la corriente de fase respectiva inducida, dependiendo del signo, fluye por el diodo de marcha libre correspondiente hacia la barra colectora de tensión de circuito intermedio positiva o negativa en el circuito eléctrico correspondiente 21, 22, 23 del convertidor 2.

10

Durante este ensayo, al mismo tiempo también se consulta si uno de los IGBT del convertidor 2 se desconecta debido a sobrecorriente. Si no se comprueba ningún error de IGBT 104 en forma de una sobrecorriente, entonces se realiza la evaluación 103a de los valores de medición de las mediciones de corriente 103 y, en un caso dado, se emite un mensaje de error 105, que indica una fase abierta en el motor de accionamiento 1 o un error en el convertidor 2 (IGBT que no se conecta).

15

Si, por el contrario, en uno de los IGBT se comprueba una sobrecorriente, entonces se comprueba en una etapa posterior 106 si existe un cortocircuito de fase, es decir, si dos fases del motor de accionamiento 1 están cortocircuitadas. Para esto se realizan, a su vez, mediciones en tres ángulos de corriente diferentes, donde los ángulos de corriente de las mediciones individuales se seleccionan de tal forma, que respectivamente dos de las fases se sitúan en el mismo potencial eléctrico, es decir, se han conmutado hasta la misma tensión de circuito intermedio. En la evaluación de las mediciones se tiene en cuenta que con presencia de un cortocircuito de dos fases durante la medición de corriente solamente no se produce una desconexión debido a una sobrecorriente cuando precisamente entre las dos fases afectadas no existe ninguna diferencia de potencial, es decir, las dos fases se han conmutado hasta la misma tensión de circuito intermedio. Después de la detección de un cortocircuito se finaliza el ensayo con el mensaje de error 107 “cortocircuito de fase”.

25

Si en los tres ángulos de corriente se produce una desconexión debido a una sobrecorriente, entonces se realiza un ensayo 108 con respecto a toma a tierra. Las señales de salida (señales PWM) del regulador 3 se ajustan en primer lugar de forma fija en “1” y, después, de forma fija en “0”. En el caso de que exista una toma a tierra, entonces en las dos mediciones se realizará una desconexión debido a una sobrecorriente que se presenta. En un cortocircuito dentro de un IGBT, por el contrario, solamente se presentará una sobrecorriente cuando se ha conectado el IGBT adicional asignado al IGBT defectuoso como compañero. De este modo, por tanto se puede diferenciar si una sobrecorriente se debe a una toma a tierra de una de las fases del motor de accionamiento 1 o a un cortocircuito dentro de un IGBT del convertidor 2. Por observación y evaluación de las corrientes medidas se puede detectar también una toma a tierra o cortocircuito muy resistivo.

30

35

A continuación se explicarán con más detalle de forma individual los ensayos de error representados de forma conjunta mediante la Figura 2.

40

La Figura 3 muestra un circuito de evaluación para la realización y evaluación del ensayo 101 (Figura 2) con respecto a errores en la interfaz entre el regulador 3 y el convertidor 2. El circuito de evaluación comprende tres conexiones, que se asignan respectivamente a una de las tres líneas de entrada 31, 32, 33 (Figura 1) en la interfaz del regulador 3 y el convertidor 2. Las dos primeras conexiones están unidas por respectivamente una línea eléctrica 51, 52 con las dos entradas de una compuerta lógica 56 en forma de una compuerta EXOR. La señal de salida de esta primera compuerta EXOR 56 se suministra a una segunda compuerta EXOR 57, a cuya entrada se suministra además la señal que se presenta en la tercera conexión del circuito de evaluación por una línea 53. A su vez, la segunda compuerta EXOR 57 está unida en el lado de salida con una entrada de una tercera compuerta EXOR 58, a la que se suministra además el resultado de un circuito de ensayo automático 54, que comprueba la presencia de todas las tensiones bajas necesarias para el control de los IGBT (de magnitud 15 V ó 24 V). La señal de salida de la tercera compuerta EXOR 58 se suministra a una compuerta lógica 59 en forma de una compuerta NOR, que está unida adicionalmente en el lado de entrada con un circuito 55 para la activación del ensayo de la interfaz.

45

50

55

Para la realización del ensayo de error en la interfaz entre el regulador 3 y el convertidor 2 se acciona de tal forma el regulador, que se esperan patrones definidos en señales de PWM en las líneas 31, 32, 33 que forman la interfaz. Cada uno de estos patrones se corresponde a una distribución determinada de los valores “1” y “0” para las señales de PWM, PWM1, PWM2 y PWM3, que se deben poner a disposición por el regulador 3 en las líneas correspondientes 31, 32, 33 para la interfaz. Las señales de tensión PWM.U1, PWM.U2, PWM.U3 generadas en las líneas del lado de entrada 51, 52, 53 del circuito de evaluación 5, que representan respectivamente el valor correspondiente “1” o “0” de la señal correspondiente de PWM, se asocian entre sí en las dos primeras compuertas EXOR 56, 57. A esto se añade la asociación con el circuito de ensayo automático 54, que comprueba la presencia de todas las tensiones bajas requeridas y, en el caso de error, aplica el valor “1” y, por lo demás, “0” en la entrada correspondiente de la tercera compuerta EXOR 58. El resultado de estas tres asociaciones en las compuertas EXOR 56, 57, 58 se suministra a la compuerta NOR 59 (invertidor), que durante la activación del circuito de ensayo se somete además por las líneas de control para la activación de ensayo por el lado de entrada al valor “0”, ya que entonces ambas líneas de control SH1, SB2 se sitúan respectivamente en el valor “0”.

60

65

ES 2 324 159 T3

Para la evaluación de los valores medidos mediante el circuito de evaluación 5 se introducen los patrones de las tres señales de PWM PWM1, PWM2, PWM3 así como la señal de salida medida dependiendo del respectivo patrón de la compuerta NOR 59 en una tabla.

5 En la Figura 4 se indica respectivamente de forma tabulada para los ocho posibles patrones de las tres señales de PWM, de “000” a “110” respectivamente qué valores (“Test.Out”) se pueden presentar en el lado de salida en la compuerta NOR 59 y qué deducciones se pueden realizar.

10 Las tres primeras líneas de la tabla de la Figura 4 indican las posibles combinaciones (patrones) de las tres señales de PWM, PWM1, PWM2, PWM3, en cuya dependencia se genera la señal de salida (“Test Out”) en la compuerta NOR 59. Las ocho columnas de la tabla se refieren a las ocho posibles combinaciones diferentes de las tres señales de PWM.

15 Las siguientes ocho líneas de la tabla indican bajo el título “tensiones bajas OK” las posibles señales de salida (“Test.Out”) para todas las ocho combinaciones de señales de PWM en el caso en el que no exista ningún error de tensión baja. La primera de estas ocho líneas representa el caso en el que no se puede observar ningún error en la interfaz entre el regulador 3 y el convertidor 2. En este caso, en la combinación de señal “000” se presentará en las entradas del circuito de evaluación en la salida de la compuerta NOR 59 el valor “1”; en la combinación de señal del lado de entrada “100” se presenta en el lado de salida el valor “0”; etc.

20 Las siguientes siete líneas representan respectivamente resultados, en los que la señal que se presenta en la interfaz no se corresponde a la señal esperada debido al ajuste del regulador. Los correspondientes errores, que se producen respectivamente por la evaluación de las ocho posibles combinaciones de las señales PWM deseadas así como de la señal de salida correspondiente (“Test.Out”) en el invertidor 59, se indican respectivamente al final de la tabla.

25 Las siguientes ocho líneas de la tabla se refieren al caso en el que el ensayo automático de las tensiones bajas se haya presentado un error y se aplique de forma correspondiente en la tercera compuerta EXOR 58 por el circuito correspondiente 54 en el lado de entrada el valor “1”.

30 El mensaje de error “PWM.U1 permanece en 0” indica, a modo de ejemplo, que en la línea de entrada 51 correspondiente la señal PWM.U1 representada por una tensión adopta siempre el valor “0”, a pesar de que dependiendo del correspondiente patrón de las tres señales de PWM, este valor debería oscilar entre “0” y “1”. Este error se puede deber, a modo de ejemplo, a una interrupción de línea. La caracterización “PWM.U1 = PWM.U2” indica que en las dos líneas correspondientes 51, 52 del circuito de evaluación 5 siempre se mide la misma señal, a pesar de que esto debe ser el caso solamente en cuatro de las en total ocho posibles combinaciones de las señales de PWM. Las dos últimas líneas de la tabla indican “errores generales” del circuito de evaluación. En el primer caso, el circuito de ensayo ni siquiera está activado; por tanto, el error se sitúa en las líneas de control correspondientes SH1, SH2. En el segundo caso, la salida del circuito de ensayo “Test.Out”) está abierta.

40 Después de la finalización de la comprobación que se ha descrito mediante las Figuras 3 y 4 de las señales que se aplican en la interfaz entre el regulador 3 y el convertidor 3 se realiza el núcleo real del diagnóstico de errores, de hecho, la determinación de errores en el convertidor 2 o el motor de accionamiento 1 por medición de las corrientes de fase I1, I2, I3 en las fases individuales 11, 12, 13 del motor de accionamiento 1. En el diagrama de flujo de acuerdo con la Figura 5 se muestra una visión de conjunto del desarrollo de las correspondientes mediciones.

45 El objetivo de este ensayo es no solamente comprobar la presencia de un error, sino localizar el origen del error, particularmente diferenciar entre una interrupción de una fase del motor de accionamiento 1, por ejemplo, como consecuencia de una interrupción de línea (también una interrupción de arrollamiento en el motor) o un contacto abierto y un error en el convertidor 2, por ejemplo, como consecuencia de un IGBT que no se conecta.

50 Después de la activación de la medición de corriente 200 se determinan en primer lugar las tensiones de medición a poner como base. Para esto, a partir de los datos eléctricos del motor, que se pueden consultar por el control de motor, se determina la tensión que induce en el motor la corriente nominal deseada para la medición. La corriente inducida real se comprueba posteriormente de nuevo durante la medición. En el caso de que la diferencia con respecto a la corriente nominal deseada supere un valor predefinido, se adapta la tensión de medición de tal forma que en el motor de accionamiento 1 se induce para una nueva medición la corriente máxima admisible del motor. Para esta adaptación de la tensión se parte de una relación lineal entre la corriente y la tensión. Si los datos eléctricos del motor no están disponibles, alternativamente existe la posibilidad de aproximarse a la corriente nominal a partir de una tensión seleccionada en primer lugar baja. La tensión de medición se selecciona de tal forma que las corrientes de fase inducidas en el motor de accionamiento 1 destacan por un lado suficientemente de forma clara del ruido de fondo y, por otro lado, se excluye un daño del motor de accionamiento 1 por corrientes demasiado grandes.

65 Después de la determinación de la tensión de medición se realiza en una etapa posterior 202 en un primer ángulo de corriente, en el que una de las corrientes de fase I1, I2, I3 es igual a cero, una medición de las dos corrientes de fase restantes dependiendo de una variación sinusoidal de la tensión de medición y, de hecho, de tal forma que la tensión atraviesa exactamente un periodo.

ES 2 324 159 T3

A continuación se comprueba si durante la medición se ha presentado un error de IGBT 203, es decir, si uno de los IGBT del convertidor 2 se ha desconectado debido a una sobrecorriente. En este caso se finaliza la medición con un mensaje de error correspondiente.

5 En caso contrario se continua realizando la medición de corriente y, de hecho, en dos ángulos de corriente adicionales de la corriente trifásica que sirve para llevar corriente al motor de accionamiento 1, de tal forma que la medición se realiza en total en tres ángulos de corriente y en cada medición, otra de las fases de corriente I1, I2, I3 presenta el valor 0. Adicionalmente, después de cada una de las mediciones de corriente adicionales 204, 206 se consulta la presencia de un error de IGBT 205 ó 207 y, a su vez, se finaliza la medición con un mensaje de error, en el caso de que
10 exista el mismo.

Si no se ha presentado un error de IGBT en ninguna de las mediciones de corriente, en una etapa posterior 208 se determina el máximo de la magnitud de corriente que se ha presentado durante la medición y se usa como Imess para la normalización de los resultados. A continuación se realiza una valoración 209 de los resultados de la medición para
15 la preparación de la detección de errores y una evaluación 210 de los resultados valorados mediante una tabla.

A continuación se describirá con más detalle la realización de las mediciones de corriente individuales, la valoración de los resultados de medición así como la evaluación de los resultados para la detección de errores. La evaluación solamente se realiza cuando durante la medición de corriente no se ha desconectado uno de los IGBT debido a una
20 sobrecorriente y la medición se ha interrumpido en su totalidad. Entonces, en este caso, como se ha explicado anteriormente mediante la Figura 2, en vez de una evaluación de la medición de corriente, se realizaría una comprobación con respecto a cierre de fases o toma a tierra.

La Figura 6 muestra el desarrollo ideal de las tres corrientes de fase I1, I2, I3 del motor de accionamiento 1 en un
25 intervalo angular entre 0° y 500°. Las tres corrientes de fase I1, I2, I3 tienen un recorrido respectivamente de forma sinusoidal y tienen un desplazamiento de fases entre sí de 120°. El recorrido de las corrientes de fase se determina por las señales de PWM, que se suministran como señales de salida del regulador 3 al convertidor 2 y, por lo tanto, determinan el potencial en el que se ponen las fases individuales I1, I2, I3 del motor de accionamiento 1 en un
30 momento respectivo.

En este documento, para la realización de las mediciones de corriente, por un lado mediante sus errores en el convertidor 2 y por otro lado en el motor de accionamiento 3 se debe comprobar que las señales de PWM, PWM1, PWM2, PWM3 se ajustan de tal forma que respectivamente una de las tres corrientes de fase I1, I2, I3 es igual a cero y las otras dos corrientes de fase presentan la misma magnitud, sin embargo, de signo opuesto. Esto es el caso en los
35 ángulos de corriente 120°, 240° así como 360°, como se observa en la Figura 6.

A continuación, en el ángulo de corriente predefinido respectivamente, las tensiones (potenciales) en los que se basan se varían en las fases I1, I2, I3 del motor de accionamiento 1 en el tiempo de tal forma que las fases de las dos corrientes, que son desiguales a cero en el ángulo de corriente actual, atraviesan un periodo de seno completo y
40 presentan en cada momento la misma magnitud, sin embargo, de signo opuesto. La tercera de las tres tensiones U1, U2, U3 es respectivamente igual a cero; pertenece a la corriente de fase que presenta el valor cero en el ángulo de corriente correspondiente. La amplitud de las tensiones variadas en el tiempo se determina por la tensión de medición, que se ha determinado antes del comienzo de la medición como se ha descrito anteriormente.

En las siguientes Figuras, que muestran los resultados de las mediciones de corriente que se han descrito anteriormente, se representan solamente las primeras dos corrientes de fase I1, I2 (siempre que sean desiguales a cero) y las tensiones correspondientes U1, U2 (desiguales a cero). Solamente a estas dos corrientes de fase I1, I2 se asigna de acuerdo con la Figura 1 respectivamente un sensor de corriente 41 o 42 para la medición de corriente. Las relaciones en la tercera fase I3 del motor de accionamiento se pueden calcular a partir de los resultados con respecto a las dos
50 primeras fases I1, I2.

Las Figuras 7a a 7c muestran los resultados de las mediciones en los ángulos de corriente 120°, 360° así como 240° y, de hecho, en un equipo de accionamiento en el que ni en el convertidor 2 ni en el motor de accionamiento 1 existe un error a detectar. Se puede reconocer claramente que las corrientes de fase I1, I2 medidas siguen respectivamente la
55 tensión correspondiente U1 o U2. Es decir, los pasajes por cero y máximos de las corrientes de fase I1, I2 se sitúan en el tiempo respectivamente ligeramente retrasados con respecto a los correspondientes pasajes por cero y máximos de las tensiones en las que se basan U1 y U2.

El resultado de la medición en un ángulo de corriente de 120° correspondiente a la Figura 7a muestra adicionalmente que las dos corrientes de fase medidas I1, I2 atraviesan de forma correspondiente a las tensiones U1, U2 en las que se basan respectivamente un periodo completo.

En la medición representada en la Figura 7b en un ángulo de corriente de 360°, la primera corriente de fase I1 y la tensión correspondiente U1 son de forma constante respectivamente igual a cero, ya que esta corriente de fase I1 posee un pasaje por cero con el ángulo de corriente 360°, compárese con la Figura 6. Lo correspondiente se aplica en la medición representada en la Figura 7c en un ángulo de corriente de 240° con respecto a la segunda corriente de fase I2 y la tensión correspondiente U2.

ES 2 324 159 T3

Las Figuras 8a a 8c muestran tres mediciones en las mismas condiciones como se ha descrito mediante las Figuras 7a a 7c, donde, sin embargo, el IGBT 26a superior del primer circuito eléctrico 21 del convertidor 2 es erróneo, es decir, no se conecta de forma correcta. Esto se aclara mediante el comportamiento de la primera corriente de fase I1 en una tensión U1 asignada positiva.

5 Como se ha explicado anteriormente mediante la Figura 1, en una tensión positiva generada por la señal de PWM correspondiente PWM1, PWM2 o PWM3 (de forma correspondiente al valor "1" de la señal de PWM) se conecta respectivamente el IGBT superior 26a, 27a, 28a del circuito eléctrico 21, 22, 23 correspondiente. En el caso que la señal de PWM correspondiente PWM1, PWM2 o PWM3 aumenta con respecto al valor "0" y genera, de forma
10 correspondiente, una tensión negativa, se conecta el respectivo IGBT inferior 26b, 27b, 28b del par correspondiente 26a, 26b; 27a, 27b o 28a, 28b.

En el presente documento, por tanto, el hecho de que de acuerdo con las Figuras 8a y 8c con un ángulo de corriente de 120° así como de 240° la primera corriente de fase I1 respectivamente es cero cuando la tensión U1 correspondiente
15 adopta un valor positivo indica que el IGBT correspondiente 26a no se ha conectado correctamente. En caso contrario, con un valor positivo de la tensión U1 que se ha mencionado, se tendría que haber medido un valor correspondiente superior a cero de la primera corriente de fase I1, como se representa en las Figuras 7a y 7c en un sistema sin errores.

De forma correspondiente se puede observar mediante las Figuras 9a a 9c que el IGBT 26b inferior del primer par
20 26a, 26b (del primer circuito eléctrico 21 del convertidor 2) es defectuoso, es decir, que no se conecta. En este documento, entonces, la primera corriente de fase I1 adopta respectivamente el valor cero cuando la tensión correspondiente U1 o U2 es negativa, es decir, el IGBT inferior 26 se debería haber conectado.

De manera correspondiente, en los desarrollos de corriente y tensión en las Figuras 10a a 10c, 11a a 11c, 12a a 12c
25 y 13a a 13c se puede deducir un IGBT superior 27a erróneo del segundo par 27a, 27b (Figura 10a a 10c), un IGBT inferior 27b erróneo del segundo par 27a, 27b (Figuras 11a a 11c), un IGBT superior 28a erróneo del tercer par 28a, 28b (Figuras 12a a 12c) o un IGBT inferior 28b erróneo del tercer par 28a, 28b (Figuras 13a a 13c).

Las Figuras 14a a 14c muestran por el contrario, respectivamente una medición de corriente en los tres ángulos
30 de corriente 120°, 240° así como 360°, correspondientes a las explicaciones con respecto a las Figuras 7a a 7c, en un equipo de accionamiento de acuerdo con la Figura 1, en el que en la primera fase I1 del motor de accionamiento 1 existe una interrupción ("fase abierta"). Esta puede ser una consecuencia de una interrupción de línea o de un contacto no cerrado de forma normal.

35 Como consecuencia, la corriente de fase I1 en la primera fase I1 del motor de accionamiento 1 siempre es igual a cero, independientemente del valor de la tensión U1 correspondiente que varía de forma sinusoidal.

De manera correspondiente, una evaluación de los resultados de medición de acuerdo con las Figuras 15a a 15c o
40 de acuerdo con las Figuras 16a a 16c produce que en la segunda fase I2 o la tercera fase I3 del motor de accionamiento 1 existe una interrupción, de tal forma que la correspondiente corriente de fase I2 siempre es igual a cero (Figuras 15a a 15c) o las primeras y segundas corrientes de fase I1, I2 se suman a sí mismas entonces hasta el valor cero cuando solamente una de las dos tensiones correspondientes U1 o U2 no es igual a cero, véase las Figuras 16b y 16c.

Para la evaluación concreta, automatizada (controlada informáticamente) de los resultados de medición, como se
45 representa a modo de ejemplo para casos de errores determinados mediante las Figuras 7a a 16c, se utiliza el hecho de que las corrientes de fase I1, I2 siguen las tensiones correspondientes U1, U2. De este modo, para la evaluación se determinan en primer lugar los máximos, mínimos y pasajes por cero de las tensiones U1 y U2, en las que se basan las corrientes de fase medidas I1, I2. A continuación se determina para cada máximo de tensión y el posterior pasaje por cero de la tensión correspondiente U1 o U2 así como el mínimo de tensión y el pasaje por cero posterior
50 respectivamente el máximo o mínimo de la corriente de fase I1 o I2 correspondientes. Por tanto, se determina respectivamente el máximo de la corriente de fase I1 o I2, que se sitúa entre un máximo de la tensión correspondiente U1 o U2 y el pasaje por cero posterior, así como el mínimo de la respectiva corriente de fase I1 o I2, que se sitúa entre un mínimo y un pasaje por cero posterior de la tensión correspondiente U1 o U2.

55 Esto se explica a modo de ejemplo mediante la Figura 7a, que muestra las dos corrientes de fase I1 e I2 así como las tensiones correspondientes U1, U2 para un ángulo de corriente de 120° en un equipo de accionamiento, que no presenta ningún error a detectar. Se puede reconocer que entre el máximo y el pasaje por cero posterior de una de las tensiones U1 se sitúa un máximo de la corriente de fase correspondiente I1. De manera correspondiente se sitúa entre el mínimo de una de la corriente de fase U1 y su pasaje por cero posterior a su vez un mínimo de la corriente de fase
60 correspondiente I1. Lo correspondiente también se aplica para la otra tensión U2 y la corriente de fase correspondiente I2.

A partir de cada una de tres series de medición, que se registran en los ángulos de corriente 120°, 240° así como
65 360° se producen, por tanto, respectivamente dos pares de valores de corriente para las corrientes de fase I1 e I2, de hecho, dos valores de corriente para la primera corriente de fase I1 e I2 valores de corriente para la segunda corriente de fase I2. A partir de cada semiperiodo de la tensión correspondiente U1 o U2 se determina respectivamente un valor de corriente respectivo de la corriente de fase correspondiente I1 e I2.

ES 2 324 159 T3

Si a continuación se compara la representación de acuerdo con la Figura 8a con la representación de acuerdo con la Figura 7a, se muestra que debido al IGBT superior 26a erróneo del primer par 26a, 26b, la primera corriente de fase I1 entre el máximo y el pasaje por cero posterior de la tensión correspondiente U1 no adopta ningún máximo propio. La corriente de fase I1 es esencialmente igual a cero a lo largo de todo el intervalo (excepto a ruidos). La falta del máximo de corriente, por tanto, indica que la corriente de fase I1 en este documento no se comporta correspondientemente a la tensión en la que se basa U1, lo que, a su vez, es una indicación de un IGBT 26a que no se conecta.

Para la evaluación sistemática de las series de medición de las corrientes de fase I1, I2 basándose en el principio que se ha explicado anteriormente se procede del siguiente modo:

Los máximos de corriente y mínimos de corriente determinados (que se presentan respectivamente entre un máximo y un pasaje por cero o entre un mínimo y un pasaje por cero de la tensión eléctrica en la que se basan) se valoran posteriormente con respecto a si representan un máximo de corriente o mínimo de corriente real o si solamente se midió el máximo o mínimo de un ruido, sin embargo, en realidad, la corriente esencialmente es igual a cero. Para esto se comparan las magnitudes de los máximos de corriente o mínimos de corriente medidos con el máximo valor de corriente I_{mess} medido y, de hecho, usando un factor de valoración k . Éste puede presentar, a modo de ejemplo, el valor $k = 0,2$. Los máximos y mínimos determinados del modo que se ha explicado anteriormente de las corrientes de fase I1, I2 se valoran después respectivamente dependiendo de si, con respecto a la magnitud, son mayores o menores que el k -avo de la mayor corriente I_{mess} medida. Solamente cuando lo primero es el caso se asume la presencia de un máximo o mínimo de corriente real. De lo contrario se parte del hecho de que la corriente correspondiente esencialmente es igual a cero y que solamente se midió ruido.

Para la formación de una tabla evaluable sistemáticamente se aplican después las siguientes fórmulas:

Cuando $|I| > k \cdot |I_{mess}|$ & $I > 0$, entonces se asigna a la correspondiente corriente I el valor "1". (La corriente I se refiere opcionalmente a los valores de medición de la corriente de fase I1 o I2).

En el caso de que $|I| \leq k \cdot |I_{mess}|$, entonces se asigna a la corriente I correspondiente el valor "0".

En el caso de que $|I| > k \cdot |I_{mess}|$ & $I < 0$, entonces se asigna a la corriente I correspondiente el valor "-1".

Por tanto, para la detección de un error no se evalúan directamente los valores de corriente medidos realmente, sino que se asigna respectivamente al desarrollo de corriente entre un máximo de la tensión en la que se basa y un pasaje por cero de la tensión en la que se basa el valor "1" o "0", donde el valor "1" se refiere a que en dicho intervalo se ha presentado un máximo de corriente y el valor "0" significa que la corriente en el intervalo correspondiente esencialmente es igual a cero. De manera correspondiente se asigna a la respectiva corriente medida entre un mínimo de tensión y el pasaje por cero posterior el valor "-1", cuando en este documento se ha presentado un mínimo real de la corriente correspondiente, por el contrario, el valor "0". De este modo se pueden representar en una tabla los resultados de las mediciones de corriente, donde a cada uno de los ángulos de corriente considerados 120° , 240° así como 360° se asignan respectivamente cuatro valores de corriente, de hecho, respectivamente dos valores de la primera corriente de fase I1 y dos valores de la segunda corriente de fase I2. Estos valores se clasifican después a su vez dependiendo de si representan el intervalo entre un máximo y un pasaje por cero posterior o entre un mínimo y un pasaje por cero posterior de la tensión correspondiente.

Esta tabla se puede evaluar después del mismo modo, al igual que se han evaluado anteriormente los desarrollos de corriente medidos realmente mediante las Figuras 7a a 15c. Esto ya se explicó mediante las Figuras 7a y 8a y también se aplica a las demás Figuras. De hecho, la anterior evaluación ha mostrado que para la determinación de un error no es importante todo el desarrollo de corriente medido, sino solamente si la respectiva corriente de fase medida en un intervalo determinado de la tensión eléctrica correspondiente es mayor de cero, igual a cero o menor de cero. Esto se puede detectar con el criterio usando para la formación de la tabla con determinación de los máximos o mínimos de corriente.

Particularmente se puede diferenciar, como se demuestra mediante las Figuras 7a a 15c, si existe un error en un IGBT o una de las fases 11, 12, 13 del motor de accionamiento 1 está abierta. En el caso que se ha mencionado en último lugar, la corriente de fase correspondiente es independientemente de la tensión que varía en el tiempo siempre igual a cero, mientras que en el caso que se ha mencionado en primer lugar de la corriente de fase correspondiente solamente es igual a cero cuando depende del IGBT erróneo. El comportamiento erróneo de un IGBT también puede tener su origen en la lógica de control correspondiente.

Dichos errores en el convertidor 2 por un lado y en el motor de accionamiento 1 por otro lado también se pueden diferenciar de un defecto de uno de los dos sensores de corriente 41, 42 ("sensor de corriente permanece en desviación máxima"). De hecho, con un defecto de uno de los sensores de corriente 41, 42 es de esperar que el sensor de corriente suministre independientemente de cualquiera de las tensiones siempre el mismo valor de corriente.

A continuación se explicará mediante la representación tabulada en la Figura 17 cómo se realiza el ensayo que se ha mencionado durante la descripción del método total mediante el diagrama de flujo en la Figura 2 con respecto a un cortocircuito entre dos fases del motor de accionamiento 1. Este ensayo se realiza siempre que en las mediciones de las corrientes de fase I1, I2 se haya presentado una sobrecorriente, compárese con la Figura 2.

ES 2 324 159 T3

5 Para el ensayo con respecto a cortocircuitos de fase se realizan en total tres mediciones de corriente y, de hecho, en los ángulos de corriente 90° , 210° así como 330° . En estos ángulos de corriente se sitúan respectivamente dos de las fases 11, 12, 13 en un potencial idéntico, mientras que la tercera fase se sitúa en un potencial diferente que se desvía de esto. En las dos primeras fases, por tanto, se presenta un primer valor de tensión coincidente, por ejemplo, $-U/2$ y en la tercera fase, un valor de tensión diferente que se desvía de esto, por ejemplo, U .

10 Si se observa en una de las tres etapas de medición un cortocircuito, de forma correspondiente a una sobrecorriente en al menos uno de los IGBT, entonces, el mismo no puede existir entre las dos fases que presentan un potencial eléctrico coincidente. De hecho, con un potencial eléctrico coincidente, incluso las líneas cortocircuitadas no generan flujo de corriente. Se representa una matriz de decisión correspondiente en la Figura 17.

15 En las tres etapas de medición, de acuerdo con esto, se varían las tres tensiones U_1 , U_2 , U_3 de las fases 11, 12, 13 del motor de accionamiento 1, como se ha descrito anteriormente, donde respectivamente una de las fases sitúa en el potencial "U" y las otras dos fases en el potencial " $-U/2$ ". Dependiendo de la distribución de los valores "0" y "1" en la salida de errores "-ERR" se puede determinar entonces si no existe ningún cortocircuito y, en un caso dado, qué dos de las tres fases 11, 12, 13 están cortocircuitadas.

20 Si el ensayo con respecto a cortocircuito entre dos fases 11, 12, 13 del motor de accionamiento 1 finaliza con el resultado de que en las tres etapas de medición existe respectivamente el valor "0" en la salida de errores "-ERR", entonces se comprueba de acuerdo con la Figura 2 si el origen de una sobrecorriente detectada previamente en un IGBT se basa en una toma a tierra de una de las fases 11, 12, 13 del motor de accionamiento 1. Alternativamente se puede presentar un cortocircuito en un propio IGBT.

25 Para la realización del ensayo 400 con respecto a toma a tierra, en primer lugar, de acuerdo con la Figura 18 se sitúan todas las señales de PWM PWM1, PWM2 y PWM3 de forma fija en el valor "0" (401). Esto significa que en los tres pares de IGBT del convertidor 2 respectivamente el IGBT inferior 26b, 27b y 28b está conectado. Una desconexión 402 que se presenta debido a sobrecorriente se registra como "Err0". A continuación se sitúan las tres señales de PWM PWM1, PWM2, PWM3 respectivamente en el valor "1", de tal forma que los IGBT superiores 26a, 27a, 28a están conectados (403). Una sobrecorriente medida se registra en la siguiente etapa 404 como "Err1".

30 A continuación se comprueba en una etapa adicional 405, si existe tanto el error "Err0" como el error "Err1". En este caso se emite un mensaje de error 406, según el cual existe una toma a tierra. De hecho, con la existencia de una toma a tierra se presenta en la fase correspondiente 11, 12 ó 13 del motor de accionamiento 1 una sobrecorriente independientemente de qué de los dos IGBT asignados respectivos está conectado.

35 Si, por el contrario, se niega la pregunta en 405, entonces se comprueba en dos etapas adicionales 407 y 409 si existe uno de los dos errores "Err0" o "Err1". En el caso que se ha mencionado en primer lugar existe un cortocircuito en uno de los IGBT superiores 26a, 27a, 28a, con los que se pueden conectar las fases de motor U_1 , U_2 y U_3 hasta la tensión de circuito intermedio superior $UZ/2$. En el otro caso existe un cortocircuito en uno de los IGBT inferiores 26b, 27b, 28b, con los que se puede situar la tensión de circuito intermedio inferior $-UZ/2$ en la fase de motor respectiva U_1 , U_2 o U_3 . El motivo de esto es que con un cortocircuito dentro de un IGBT se realiza una desconexión debido a una sobrecorriente precisamente cuando el otro IGBT correspondiente del mismo par de IGBT está conectado.

45 La detección de un cortocircuito en uno de los IGBT superiores o inferiores conduce a un mensaje de error correspondiente 408 ó 411. Se produce un mensaje de error 412 separado cuando durante la realización del ensayo no se ha detectado ni una toma a tierra ni un cortocircuito en uno de los IGBT. Esto puede indicar también un error en la realización del propio ensayo.

50

55

60

65

REIVINDICACIONES

1. Método para la detección de errores en un equipo de accionamiento con un motor eléctrico multifásico (1), un convertidor de corriente (2) preconnectado al motor eléctrico y un regulador (3), que genera señales de PWM, donde el convertidor de corriente (2) controla la tensión en las fases individuales del motor eléctrico (1) y las corrientes de fase en las fases del motor eléctrico tienen un recorrido respectivamente periódico, donde las señales de entrada (PWM.U1, PWM.U2, PWM.U3) del convertidor de corriente se forman dependiendo de señales de salida (PWM1, PWM2, PWM3) del regulador (3),

caracterizado por que para la detección de errores se miden varias corrientes de fase (I1, I2) del motor eléctrico en un punto predefinido del respectivo periodo con variación simultanea de las tensiones correspondientes (U1, U2) en las respectivas fases (11, 12) del motor eléctrico (1) y los valores de medición de las corrientes de fase (I1, I2) se evalúan dependiendo de la tensión (U1, U2) en la fase correspondiente (11, 12) del motor eléctrico (1), donde

- por evaluación de las corrientes de fase (I1, I2) dependiendo de la tensión correspondiente (U1, U2) se diferencia entre un error en el convertidor de corriente (2) y una interrupción del flujo de corriente en una fase (11, 12, 13) del motor eléctrico (1), ya que con una interrupción en una fase (11, 12, 13) del motor eléctrico (1) la corriente de fase correspondiente (I1, I2, I3) independientemente del valor de la tensión correspondiente (U1, U2, U3) es diferente de cero y con un error en una válvula de convertidor de corriente (26a a 28b) del convertidor de corriente (2) la corriente de fase correspondiente (I1, I2, I3) es igual a cero solamente para una subintervalo de los valores de la tensión correspondiente (U1, U2, U3) y donde
- las señales de salida (PWM1, PWM2, PWM3) del regulador (3) se comprueban en la interfaz entre el regulador (3) y el convertidor de corriente (2) con respecto a errores en las señales mediante un circuito de evaluación (5).

2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** por que al menos una de las corrientes de fase (I1, I2, I3) es igual a cero en el punto del periodo, en el que se realiza una medición.

3. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por que las corrientes de fase individuales (I1, I2, I3) tienen un desplazamiento de fases entre sí en una magnitud constante y la medición de corrientes de fase (I1, I2) se realiza en un punto constante (120 DEG, 240 DEG, 360 DEG) de uno de los periodos de la corriente de fase (I1, I2, I3).

4. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por que la relación de las tensiones (U1, U2), que son diferentes de cero durante la respectiva medición de corriente, permanece constante durante la medición y por que su suma es igual a cero durante la medición.

5. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por que se realizan varias mediciones de las corrientes de fase (I1, I2) para la detección de errores en respectivamente un punto predefinido del periodo.

6. Método de acuerdo con la reivindicación 5, **caracterizado** por que el número de las mediciones de corriente en puntos diferentes del periodo se corresponde al número de las fases (11, 12, 13) del motor eléctrico (1).

7. Método de acuerdo con la reivindicación 2 y la reivindicación 6, **caracterizado** por que en cada una de las mediciones una de las corrientes de fase (I1, I2, I3) es igual a cero.

8. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por que para la evaluación de las corrientes de fase medidas (I1, I2), los valores de medición se evalúan mediante el desarrollo de puntos determinables de las tensiones correspondientes (U1, U2) del respectivo desarrollo de corriente.

9. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por que para la evaluación de las corrientes de fase (I1, I2) medidas se introducen los valores de medición en forma tabulada.

10. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes **caracterizado** por que el comportamiento de una de las corrientes de fase (I3) se determina a partir de los valores de medición de las otras corrientes de fase (I1, I2).

11. Método de acuerdo con la reivindicación 1, **caracterizado** por que las señales de salida (PWM1, PWM2, PWM3) del regulador (3) se varían de acuerdo con un patrón predefinido y que, dependiendo de esto, se miden y evalúan las señales de tensión (PWM.U1, PWM.U2, PWM.U3) generadas en el lado de entrada en el convertidor de corriente (2).

12. Método de acuerdo con la reivindicación 11, **caracterizado** por que se considera un error como detectado cuando no se presenta una señal de tensión esperada (PWM.U1, PWM.U2, PWM.U3) debido a una de las señales de salida (PWM1, PWM2, PWM3) del regulador (3).

ES 2 324 159 T3

- 5 13. Método de acuerdo con la reivindicación 11 ó 12, **caracterizado** por que para la evaluación de las señales de tensión (PWM.U1, PWM.U2, PWM.U3) se asocian entre sí diferentes señales de tensión (PWM.U1, PWM.U2, PWM.U3) del lado de entrada generadas por las señales de salida (PWM1, PWM2, PWM3) del regulador (3) del convertidor de corriente (2).
- 10 14. Método de acuerdo con la reivindicación 13, **caracterizado** por que las señales de tensión (PWM.U1, PWM.U2, PWM.U3) se asocian entre sí mediante al menos una compuerta lógica (56, 57), particularmente en forma de una compuerta EXOR.
- 15 15. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por que durante la aparición de una sobrecorriente durante la medición de las corrientes de fase (I1, I2, I3) se comprueba adicionalmente si entre dos fases (11, 12, 13) del motor eléctrico (1) existe un cortocircuito.
- 20 16. Método de acuerdo con la reivindicación 15, **caracterizado** por que la comprobación con respecto a cortocircuito se realiza siempre que se haya presentado una sobrecorriente en una válvula de convertidor de corriente (26a a 28b) del convertidor de corriente (2).
- 25 17. Método de acuerdo con la reivindicación 15 ó 16, **caracterizado** por que para la comprobación con respecto a cortocircuito respectivamente dos fases (11, 12; 11, 13; 12, 13) del motor eléctrico (1) se sitúan en el mismo potencial eléctrico (-U/2).
- 30 18. Método de acuerdo con la reivindicación 17, **caracterizado** por que sucesivamente fases respectivamente diferentes (11, 12; 11, 13; 12, 13) del motor eléctrico (1) se sitúan en el mismo potencial eléctrico (-U/2) para por evaluación de las corrientes que se presentan de este modo, comprobar entre qué fases existe un cortocircuito.
- 35 19. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por que con la presencia de una sobrecorriente en una válvula de convertidor de corriente (26a a 28b) del convertidor de corriente (2) se comprueba si en una de las fases (11, 12, 13) del motor eléctrico (1) existe una toma a tierra.
- 40 20. Método de acuerdo con la reivindicación 19, **caracterizado** por que para la comprobación con respecto a toma a tierra, los circuitos eléctricos (21, 22, 23) preconnectados a las fases individuales (11, 12, 13) del motor eléctrico (1) del convertidor de corriente (2) se someten respectivamente a señales de entrada idénticas ("0" o "1").
- 45 21. Método de acuerdo con la reivindicación 19 ó 20, **caracterizado** por que para la realización de los ensayos con respecto a toma a tierra, las tensiones eléctricas (U1, U2, U3) en las tres fases (11, 12, 13) del motor eléctrico (1) se ajustan en valores idénticos.
- 50 22. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado** por que el motor eléctrico multifásico (1) está configurado como motor trifásico de corriente trifásica.
- 55
- 60
- 65

Fig.1

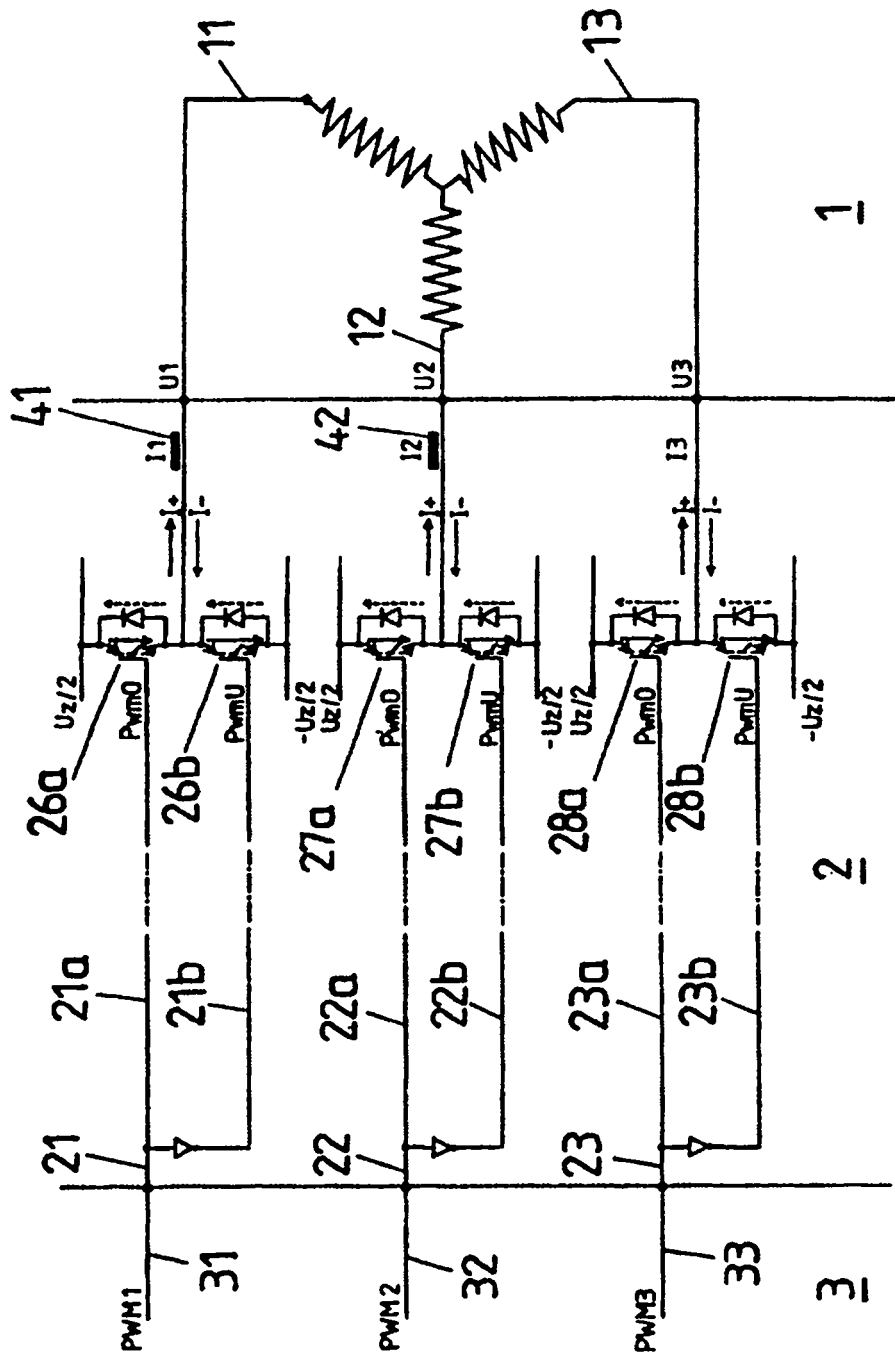


Fig. 2

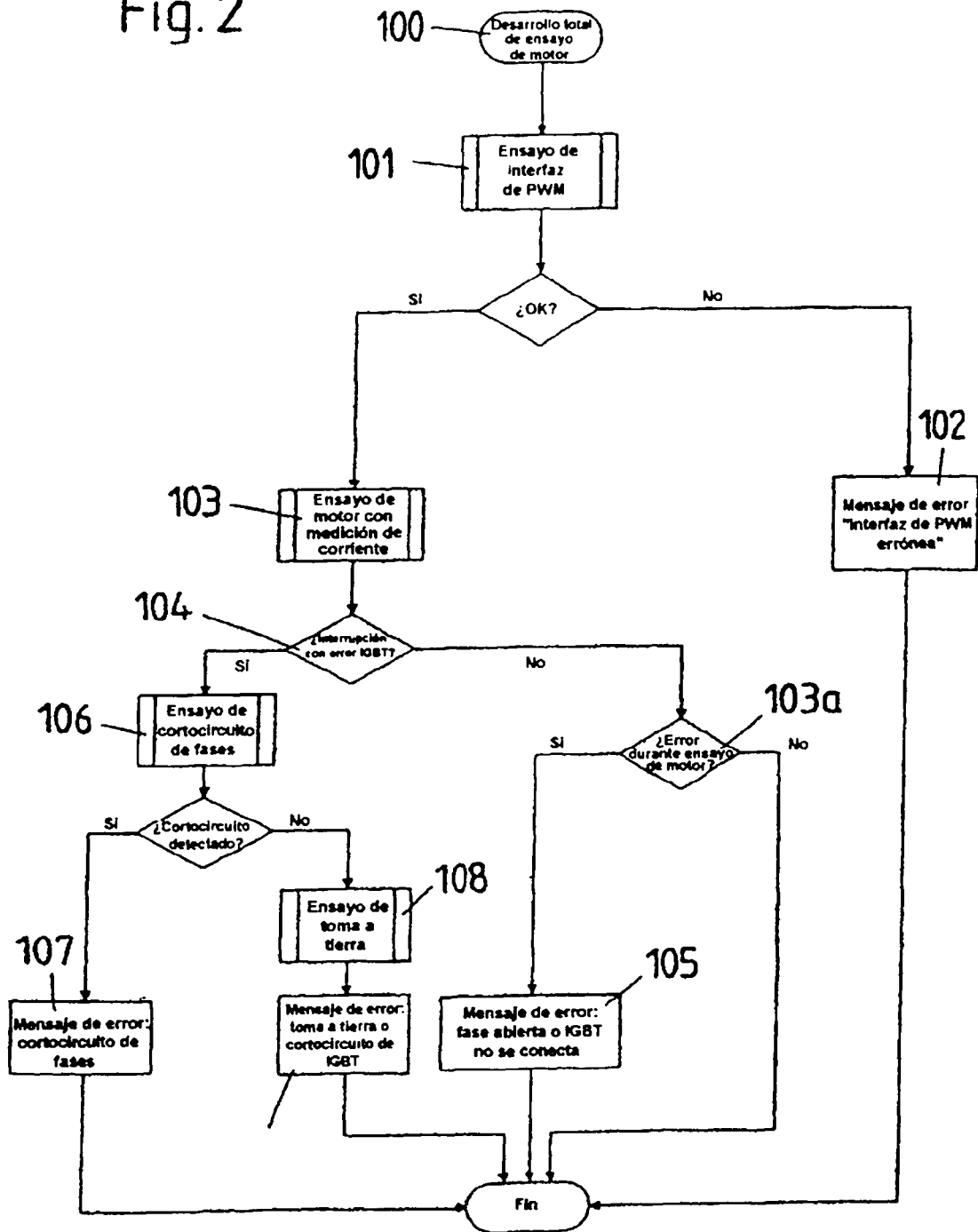


Fig. 3

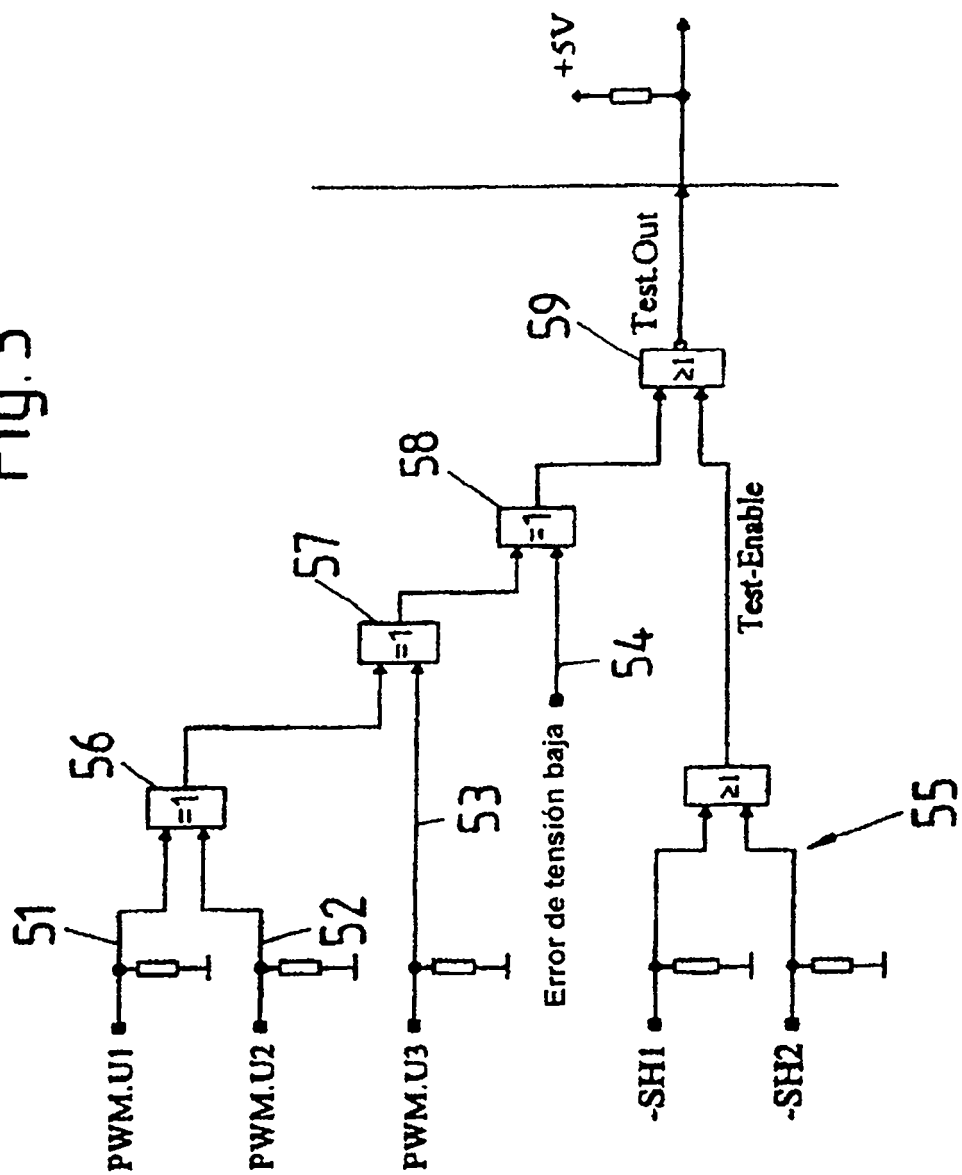


Fig. 4

Señales de PWM

PWM1: 0 1 0 0 1 0 1 1

PWM2: 0 0 1 0 1 1 0 1

PWM3: 0 0 0 1 1 1 1 0

Test.Out:

Tensiones bajas OK

1, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1 // todo OK

1, 1, 0, 0, 1, 1, 0, 0 // PWM.U1 permanece en 0

1, 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0 // PWM.U2 permanece en 0

1, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 1 // PWM.U3 permanece en 0

1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 1 // PWM.U1 = PWM.U2

1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 0 // PWM.U2 = PWM.U3

1, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0 // PWM.U1 = PWM.U3

1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 // PWM.U1 = PWM.U2 = PWM.U3

Tensiones bajas erróneas

0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0 // Señales de PWM OK

0, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 1 // PWM.U1 permanece en 0 + tensión baja

0, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 1 // PWM.U2 permanece en 0 + tensión baja

0, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 0 // PWM.U3 permanece en 0 + tensión baja

0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0 // PWM.U1 = PWM.U2 + tensión baja

0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1 // PWM.U2 = PWM.U3 + tensión baja

0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1 // PWM.U1 = PWM.U3 + tensión baja

0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 // PWM.U1 = PWM.U2 = PWM.U3 + tensión
baja

Errores generales

0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0 // SH1 o SH2 no "0"

1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 // Fin de ensayo abierto

Fig.5

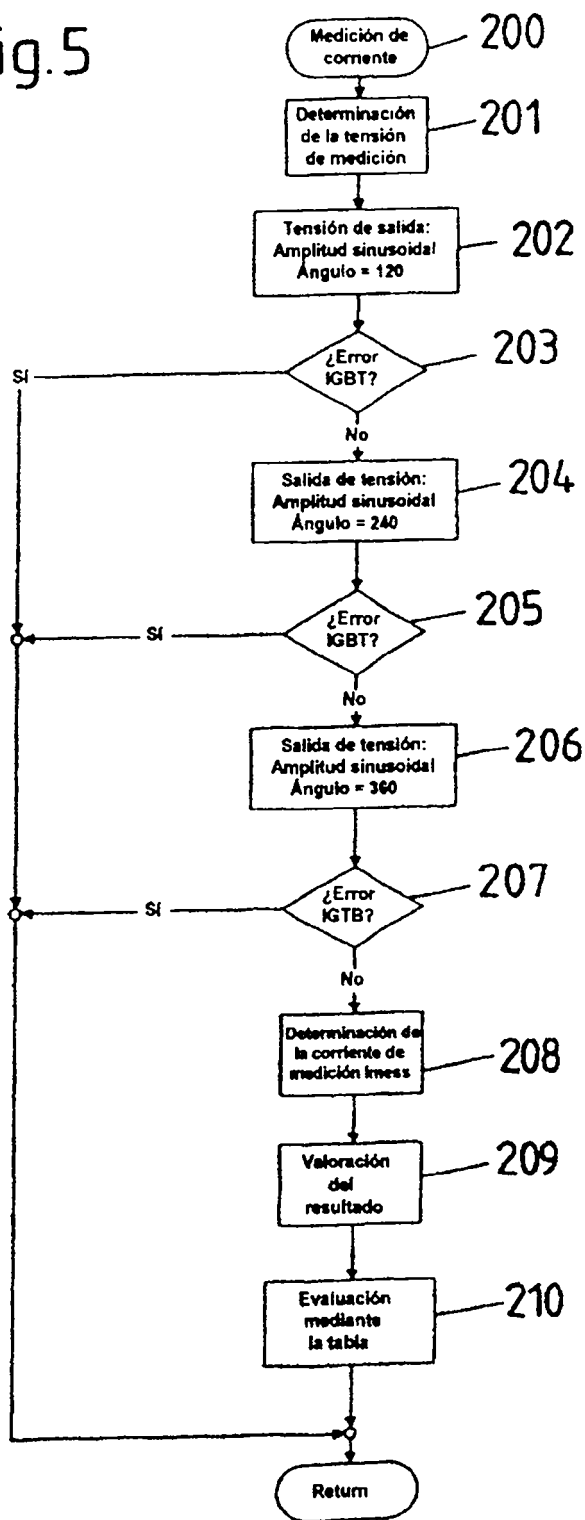
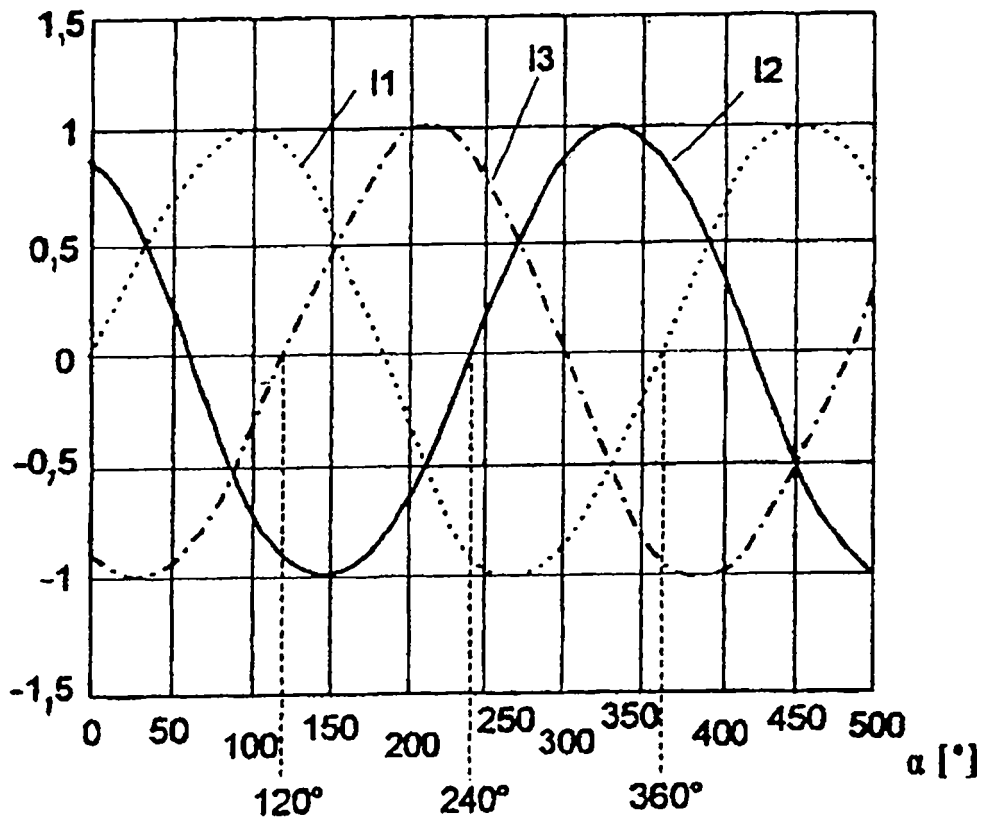
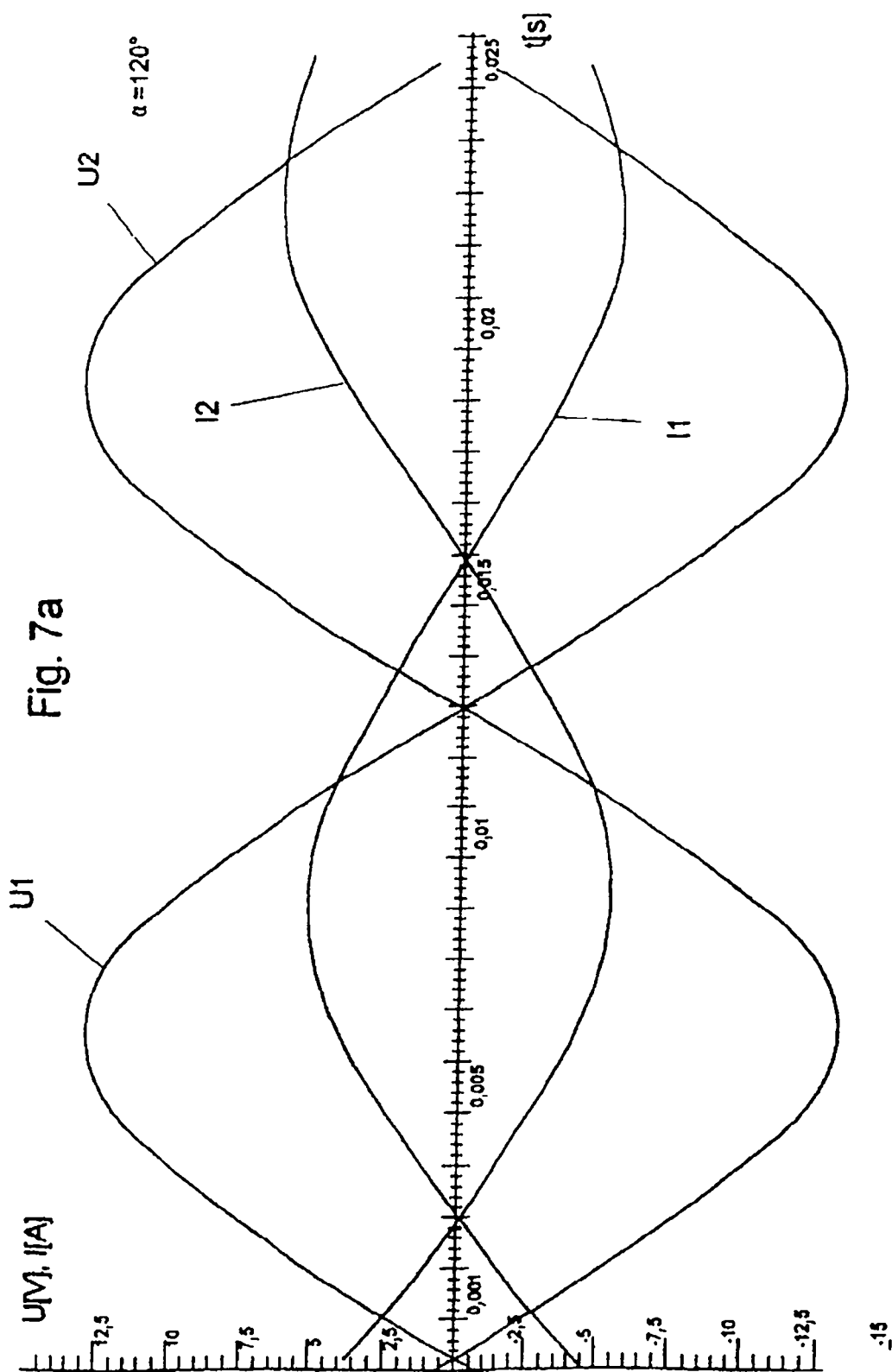
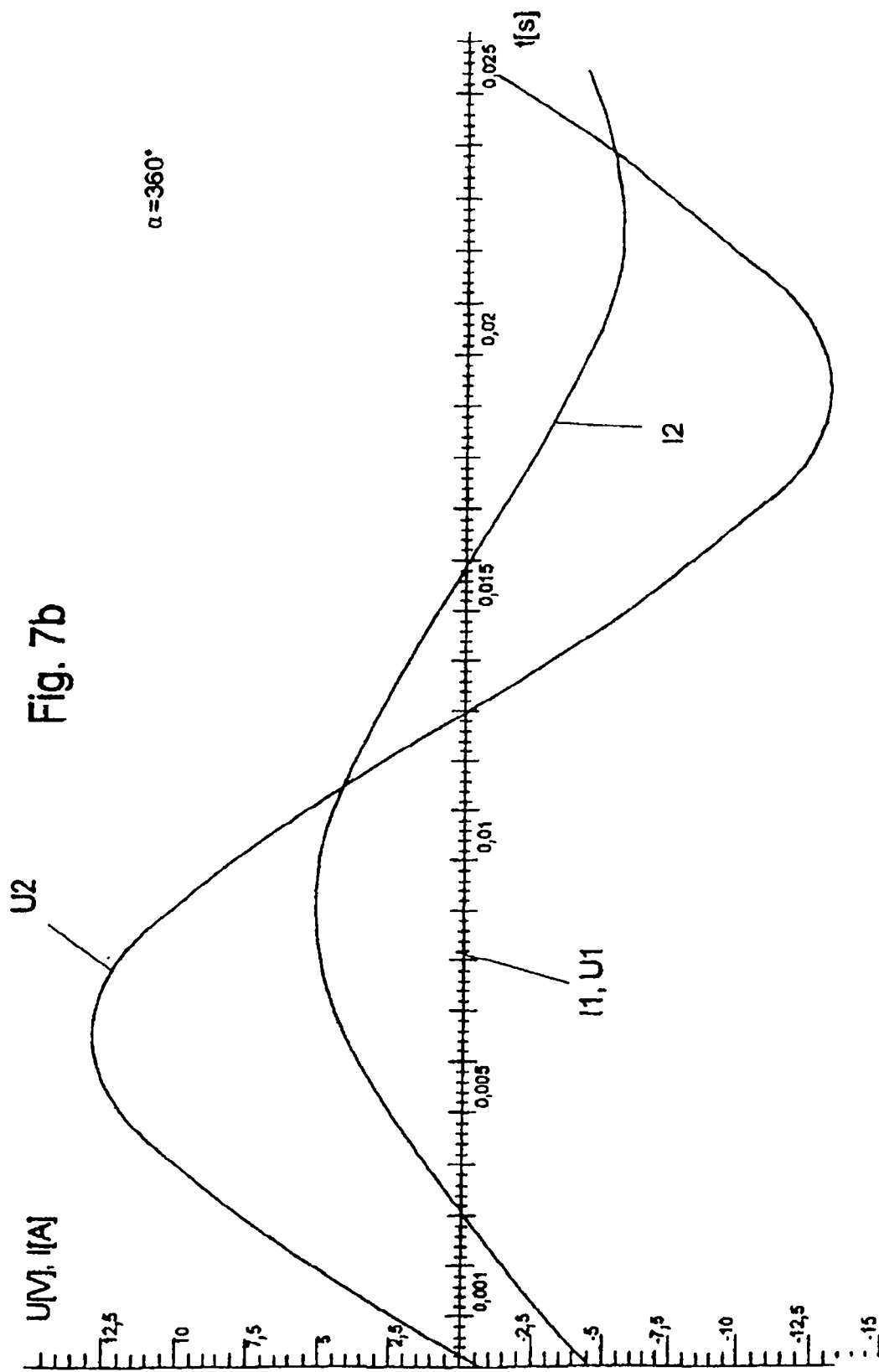


Fig. 6







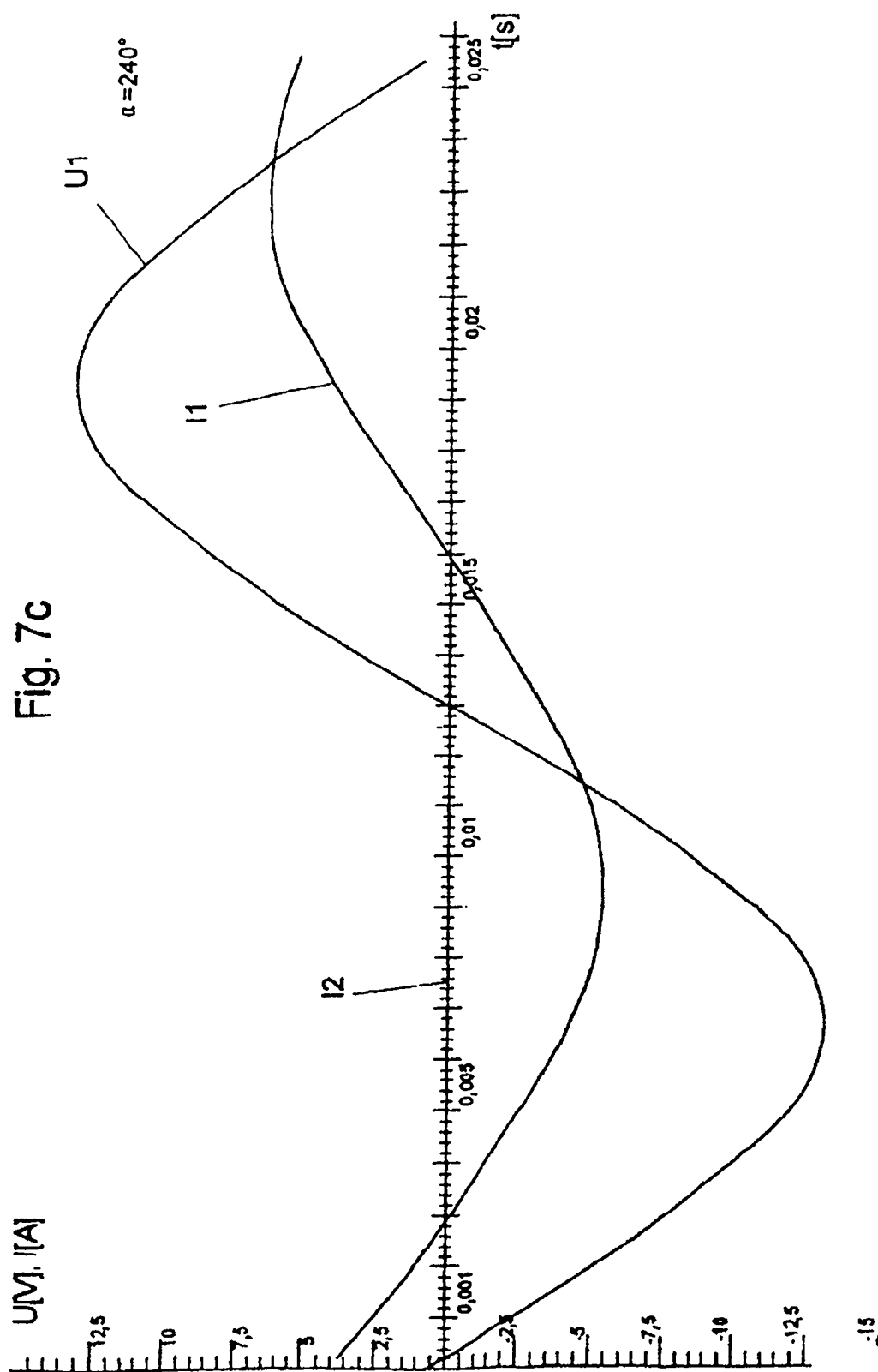
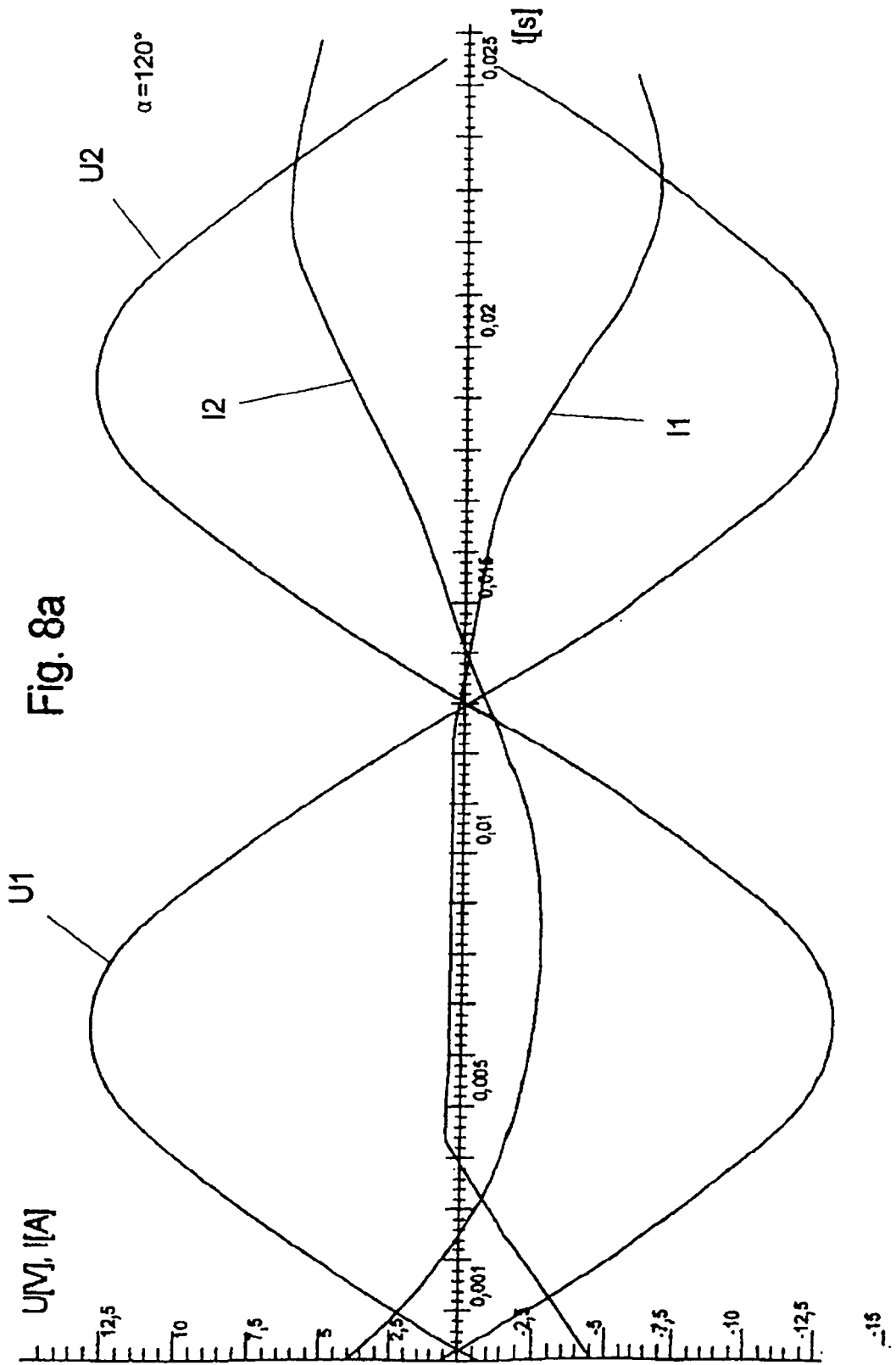
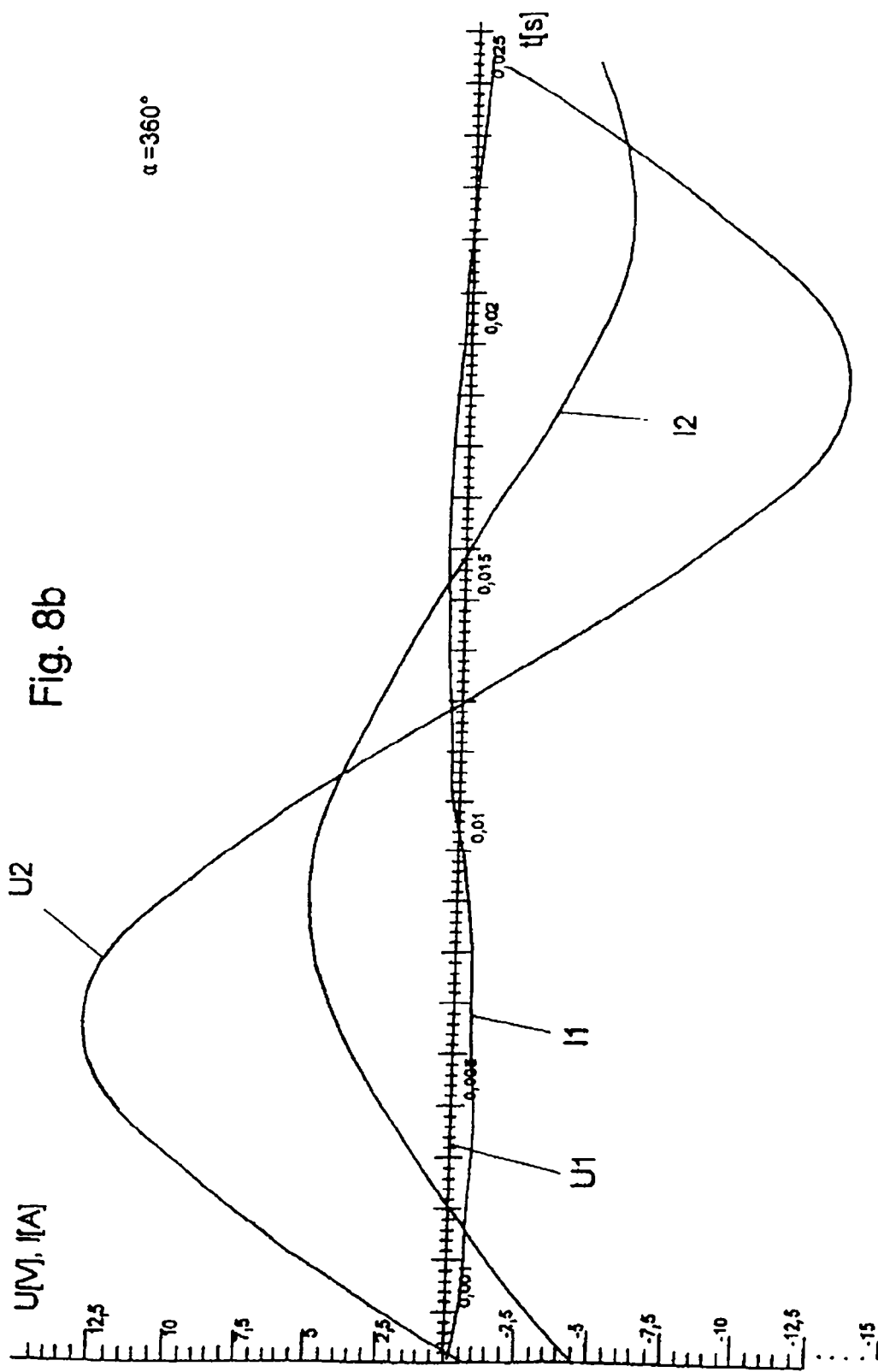


Fig. 7c





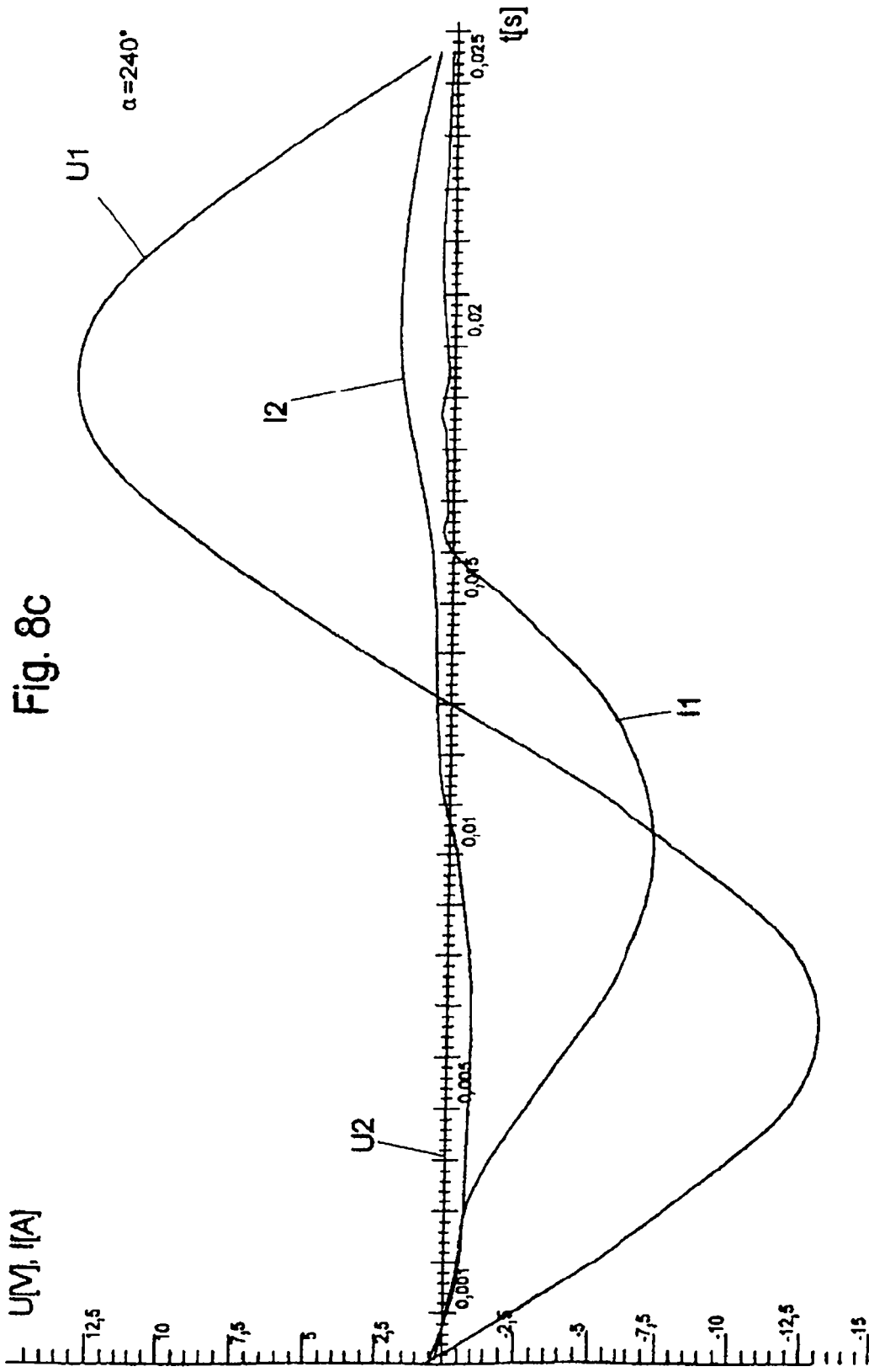
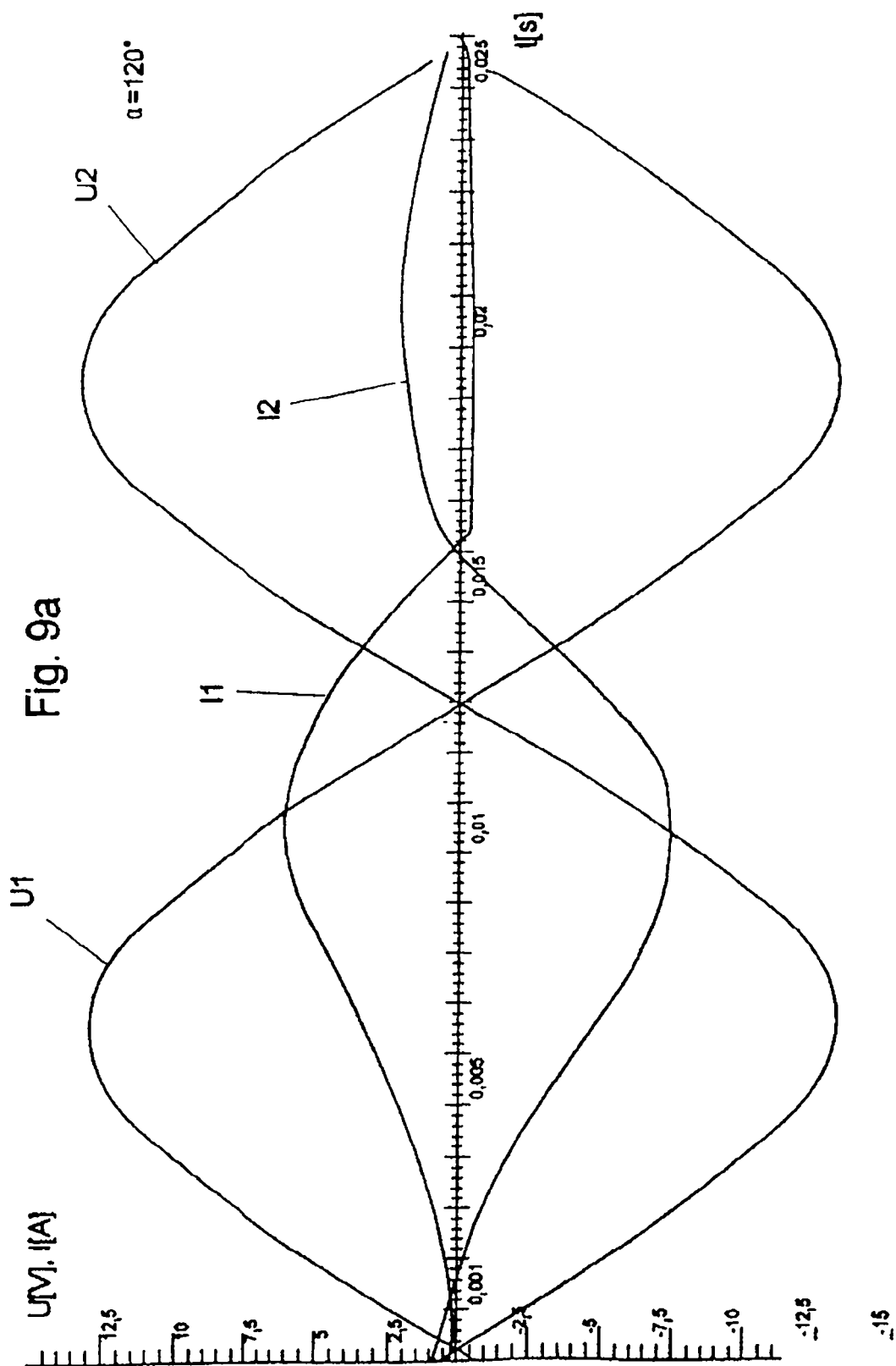
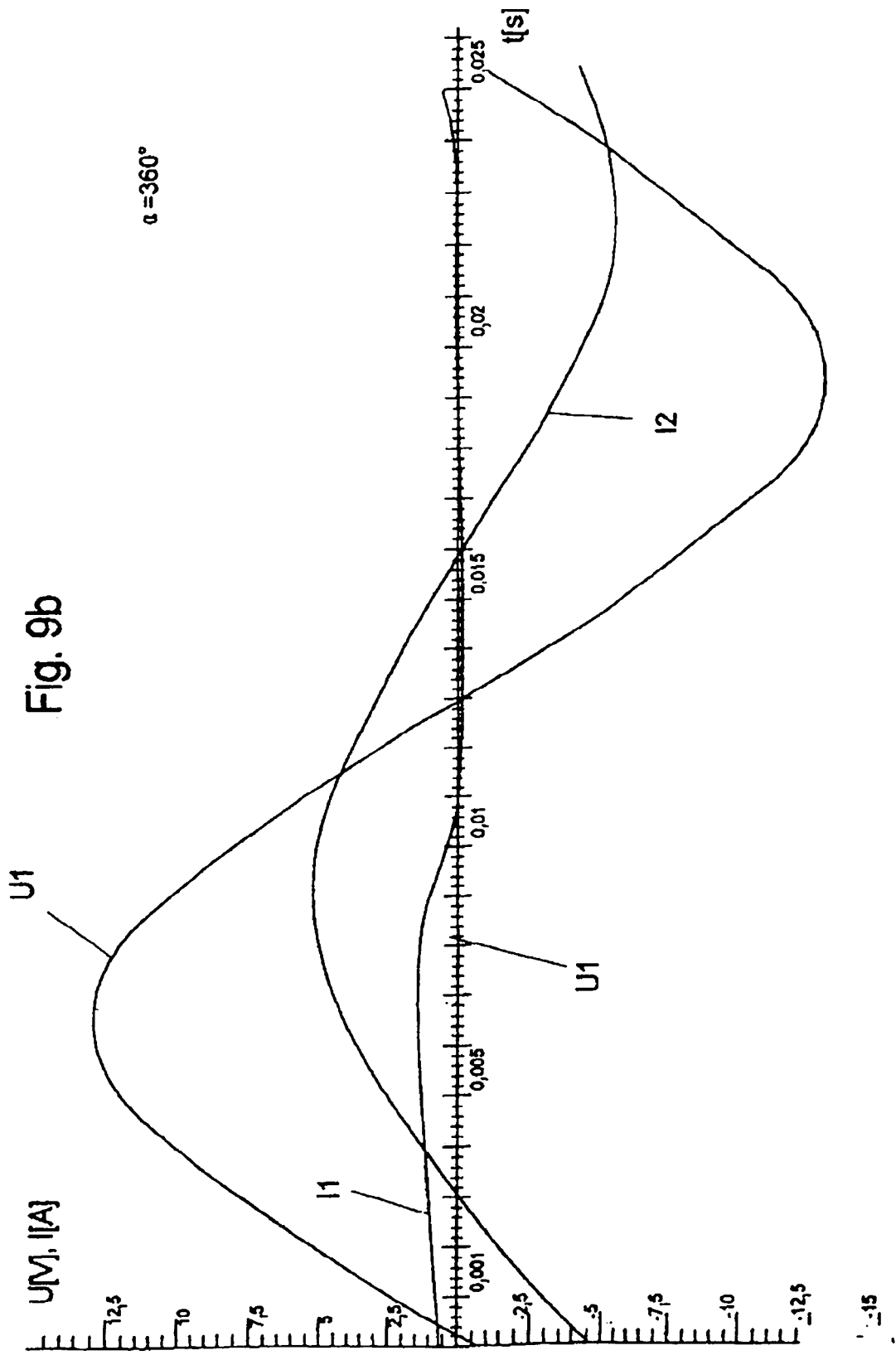
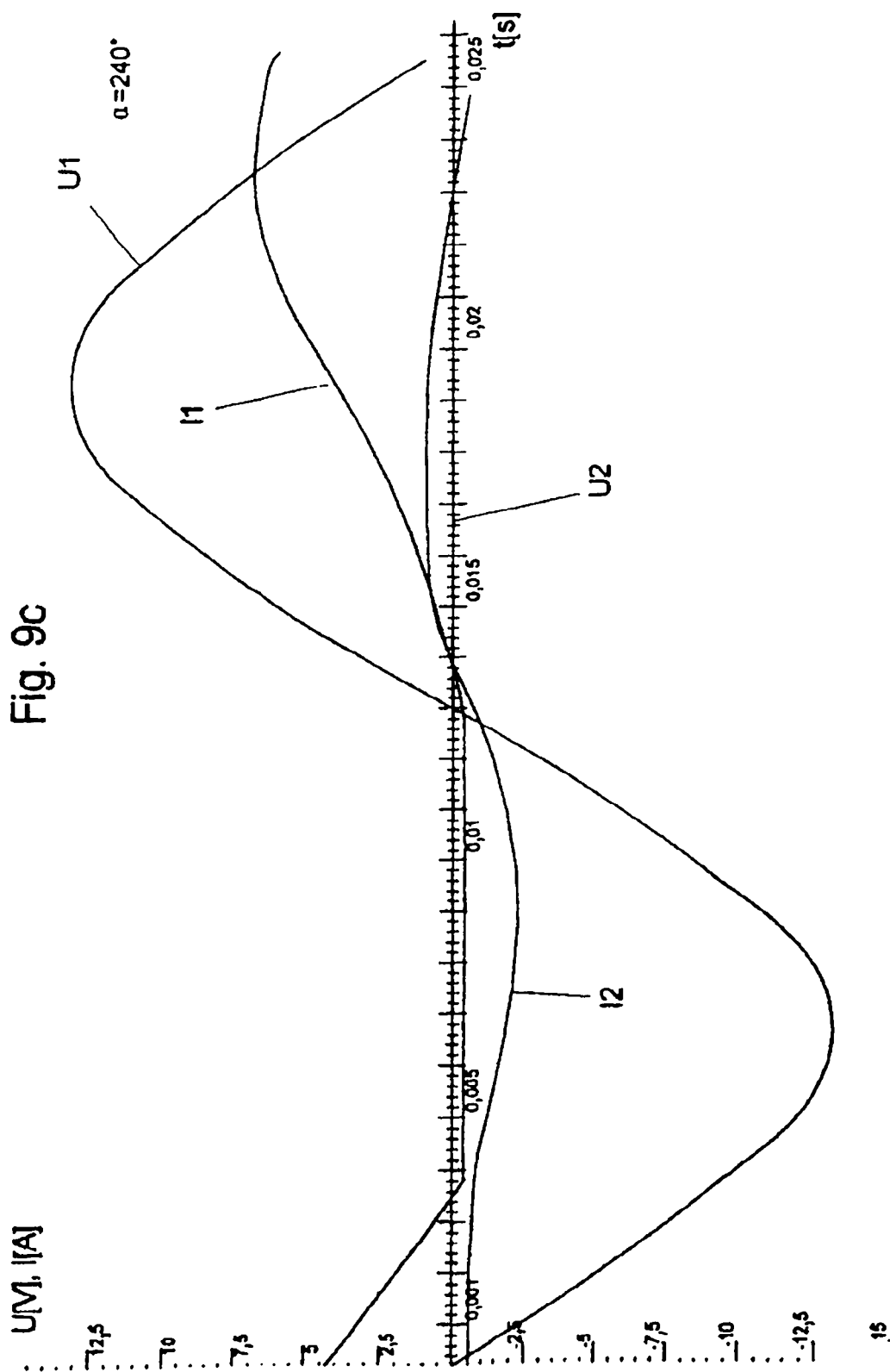
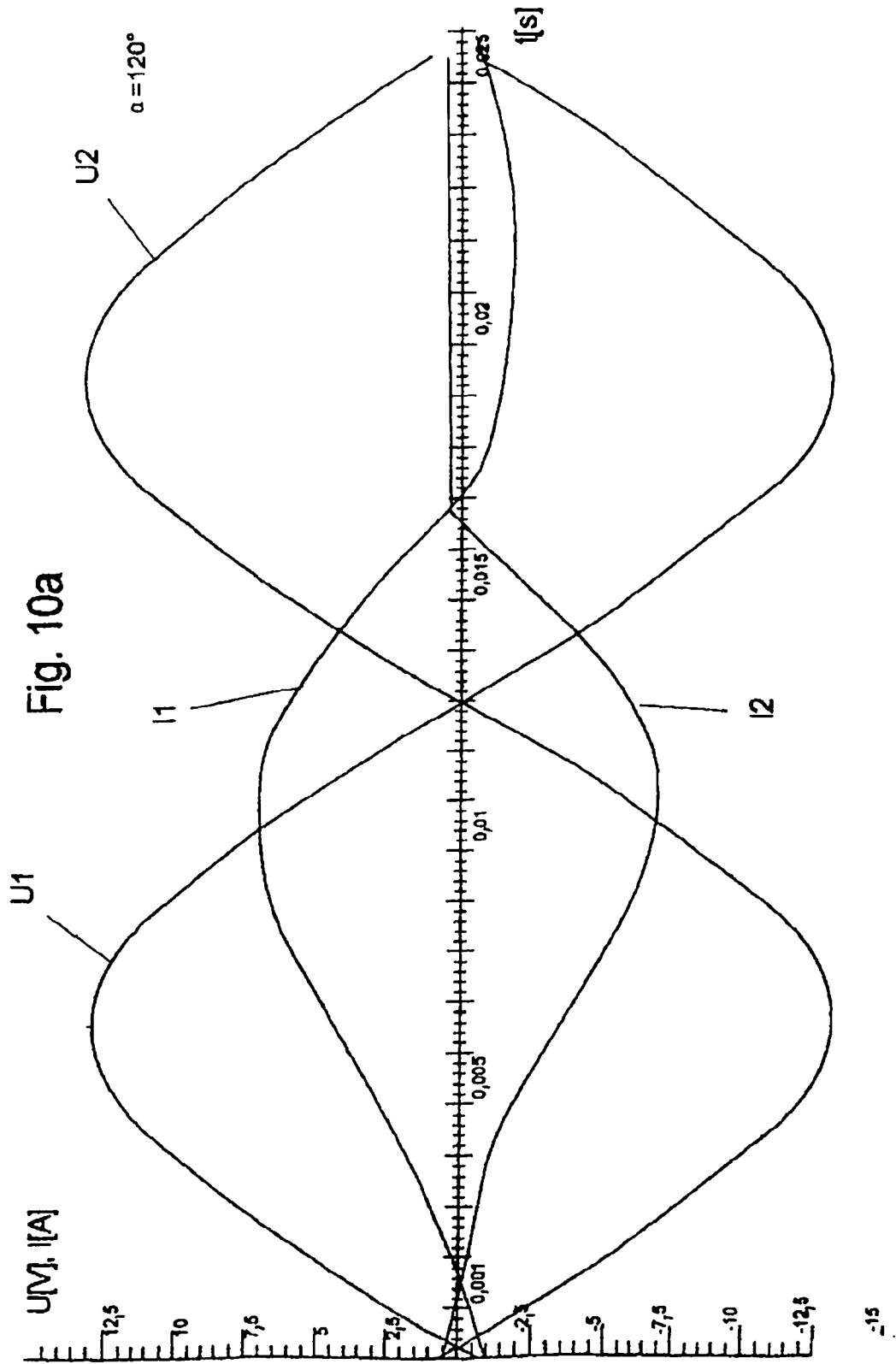


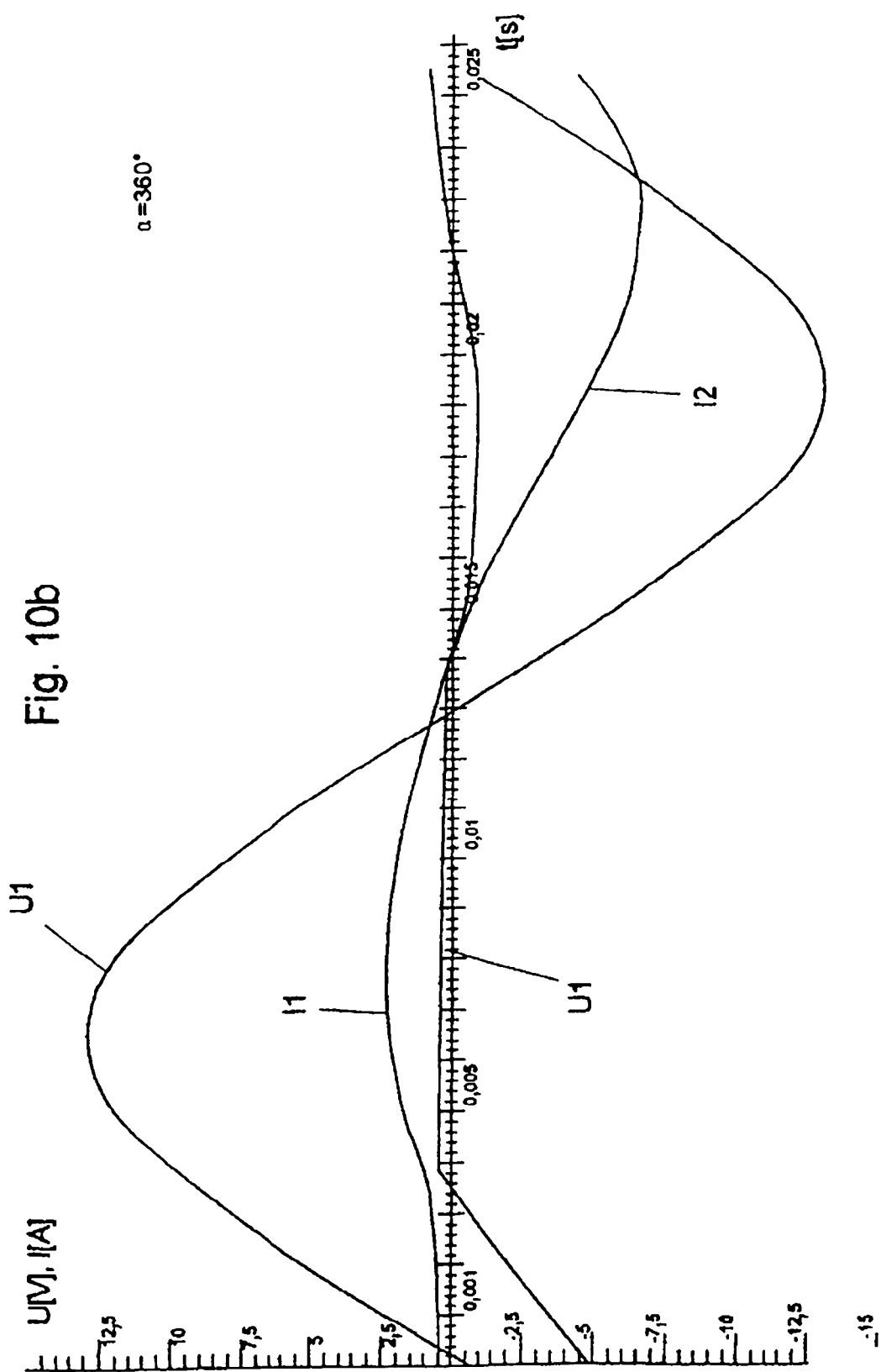
Fig. 8c

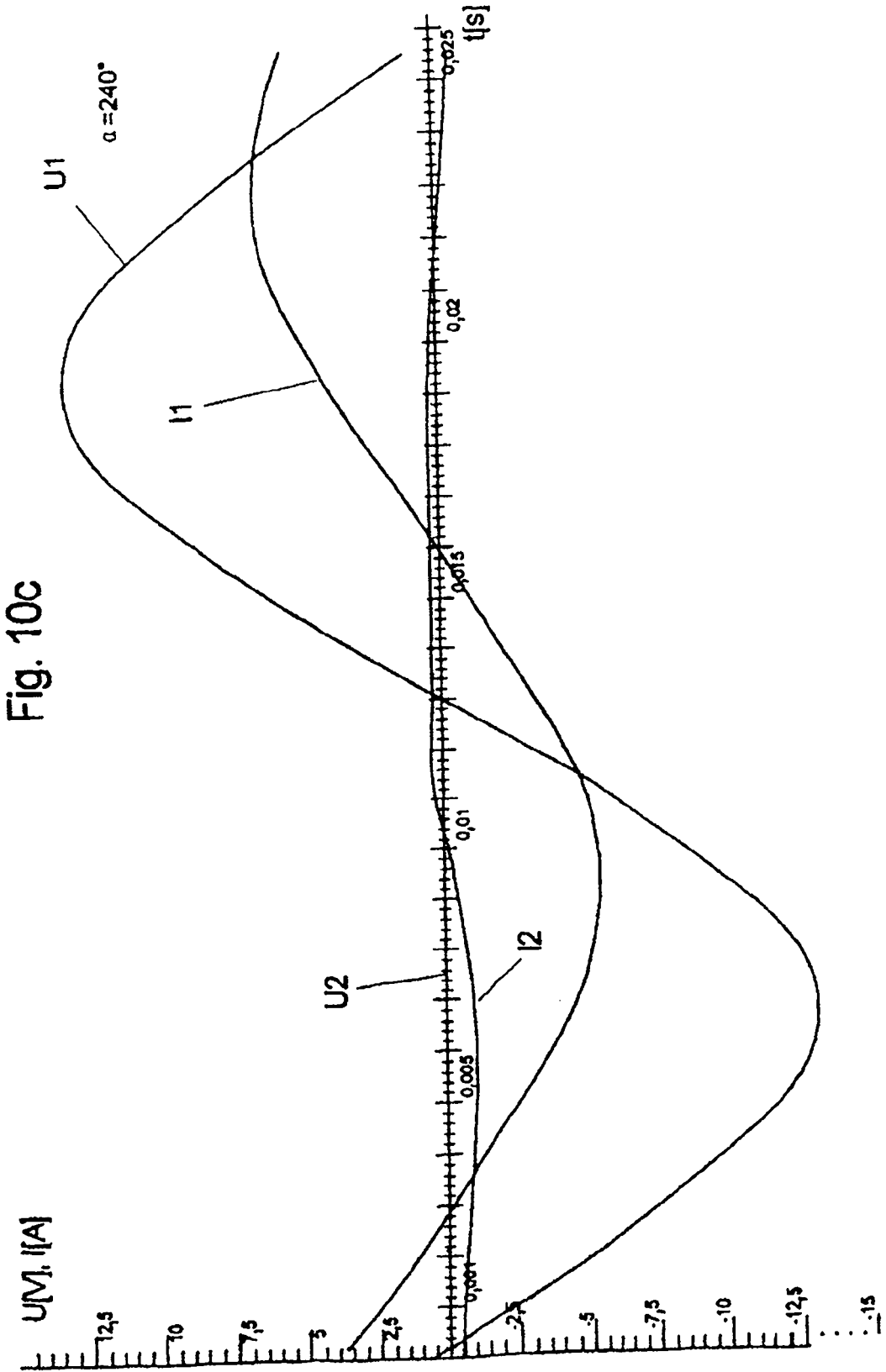












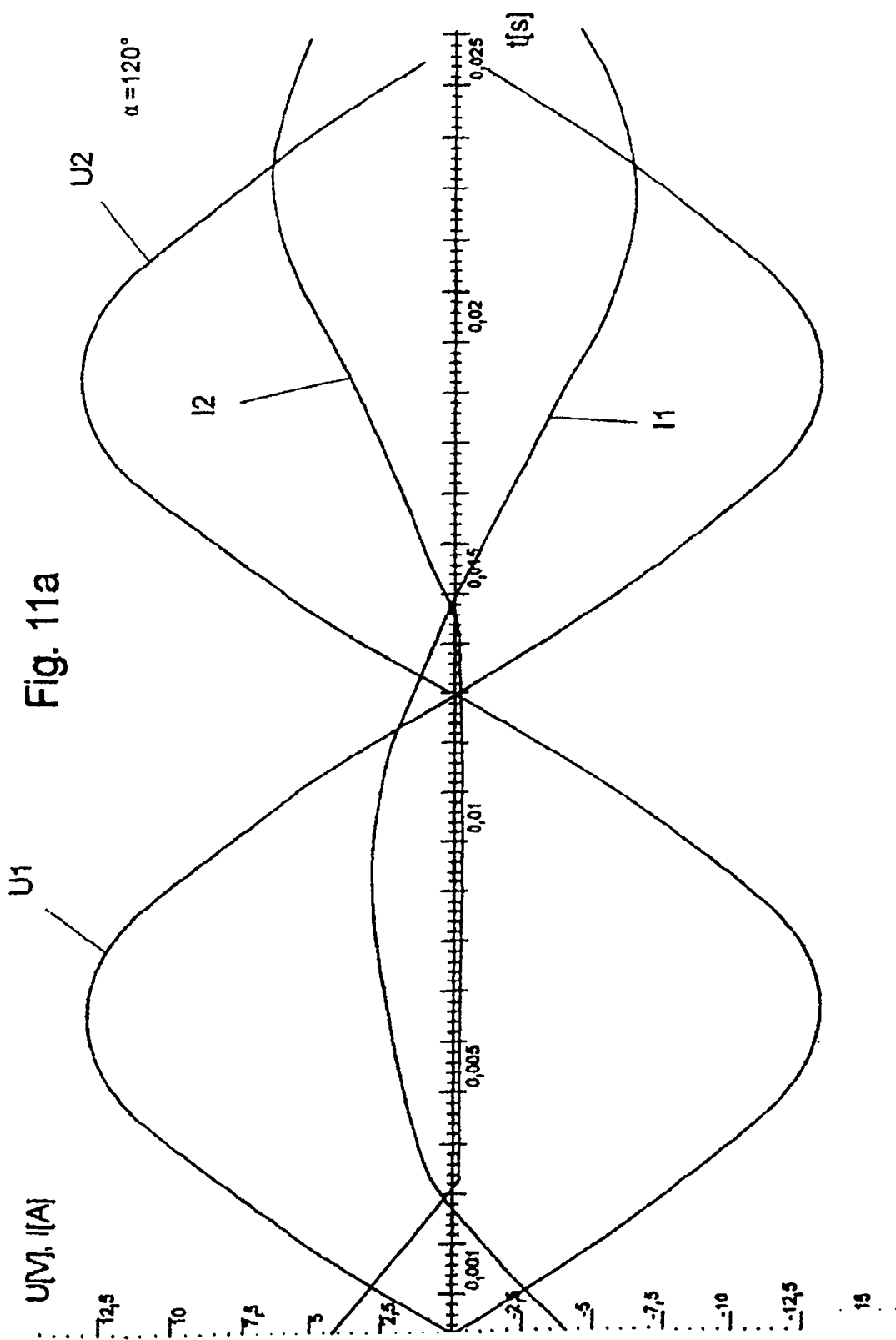
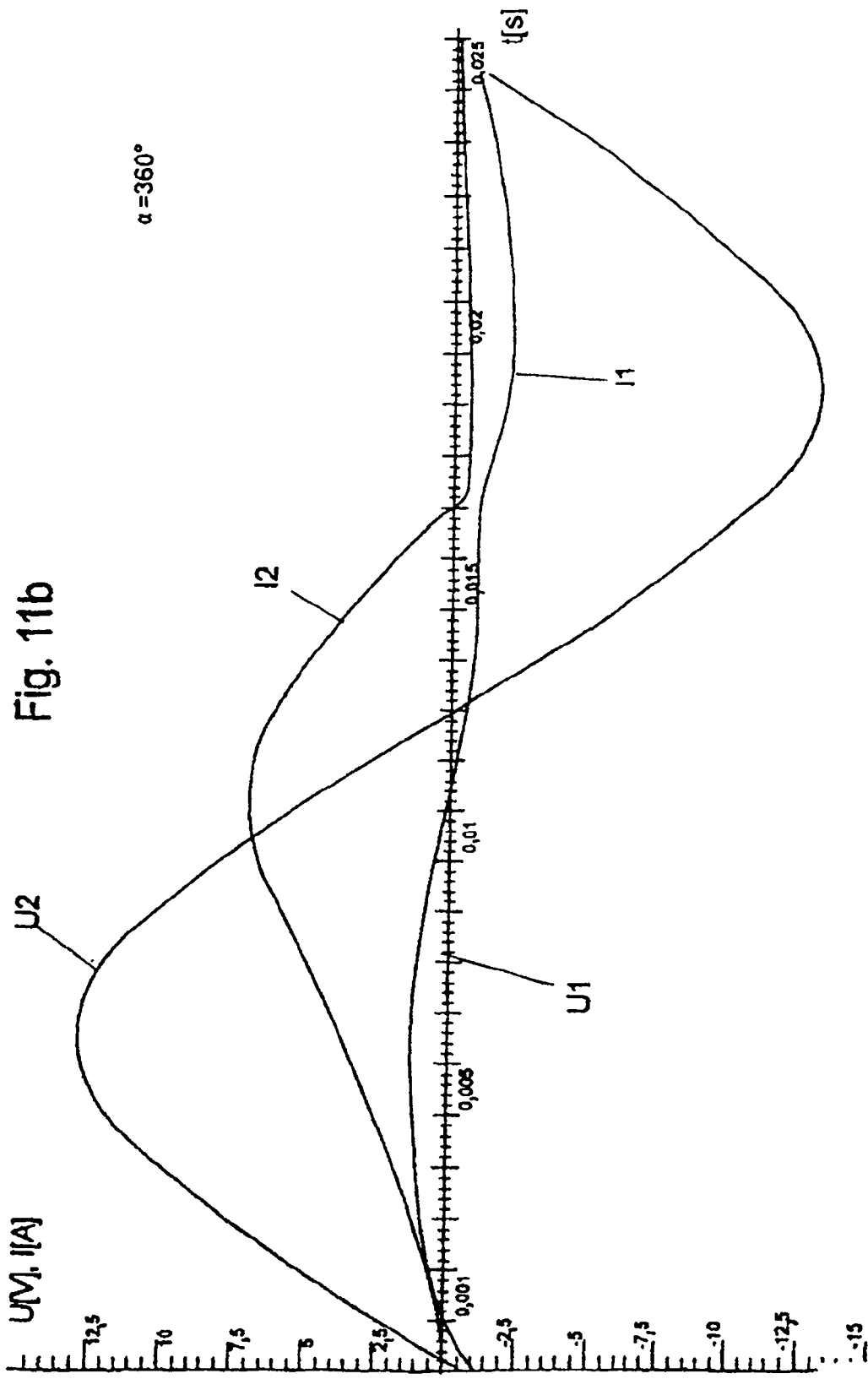
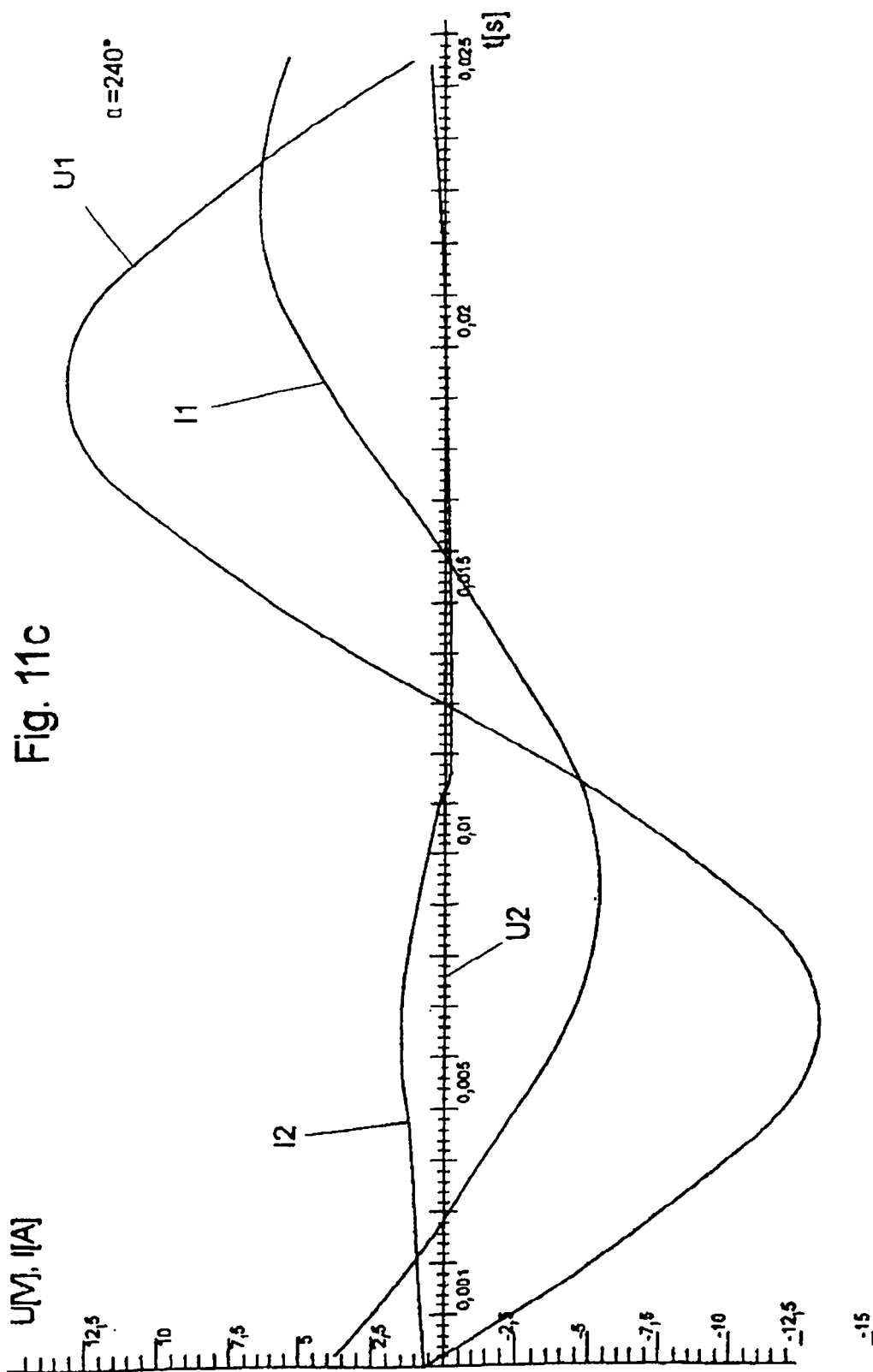


Fig. 11a





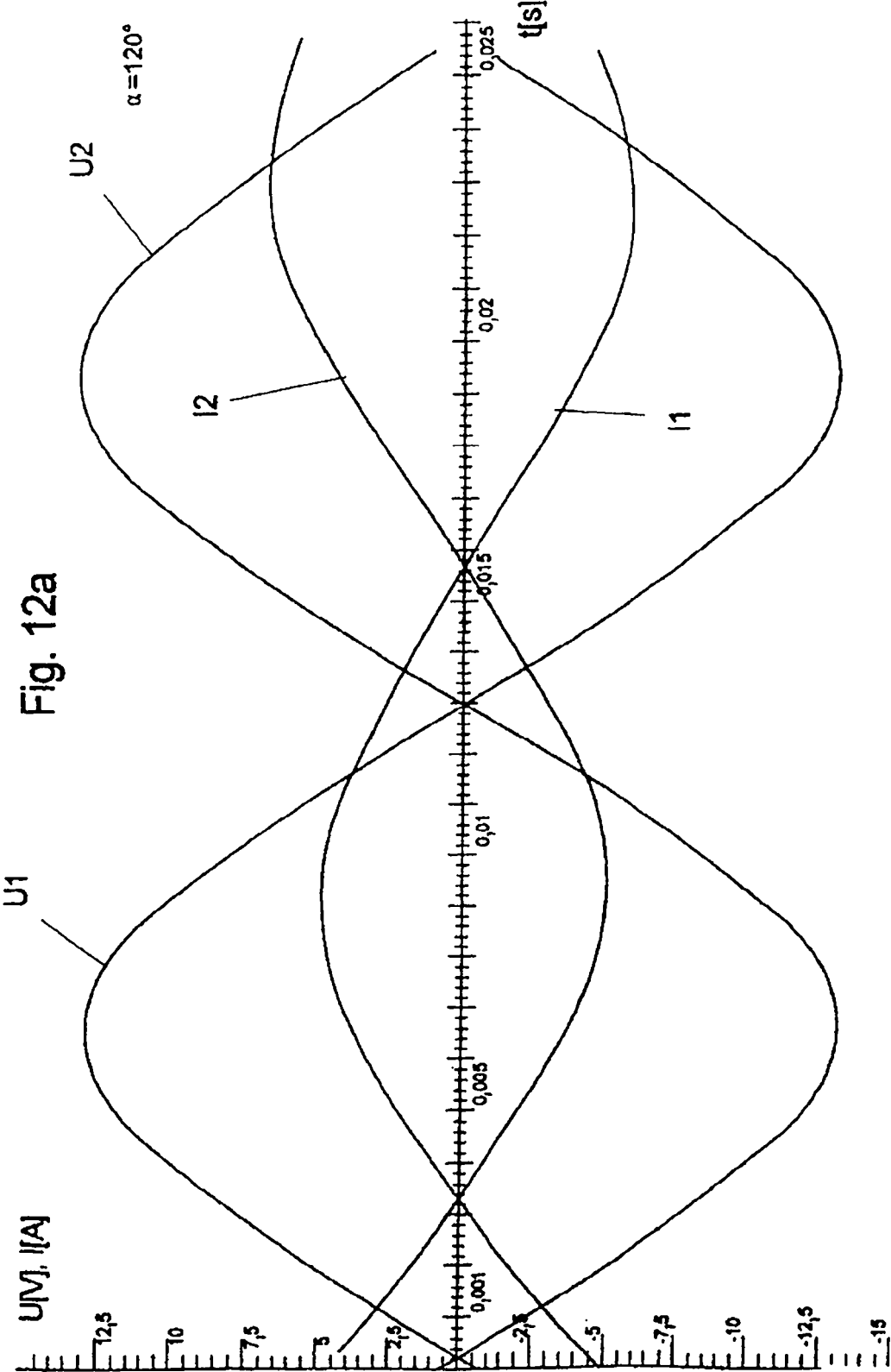
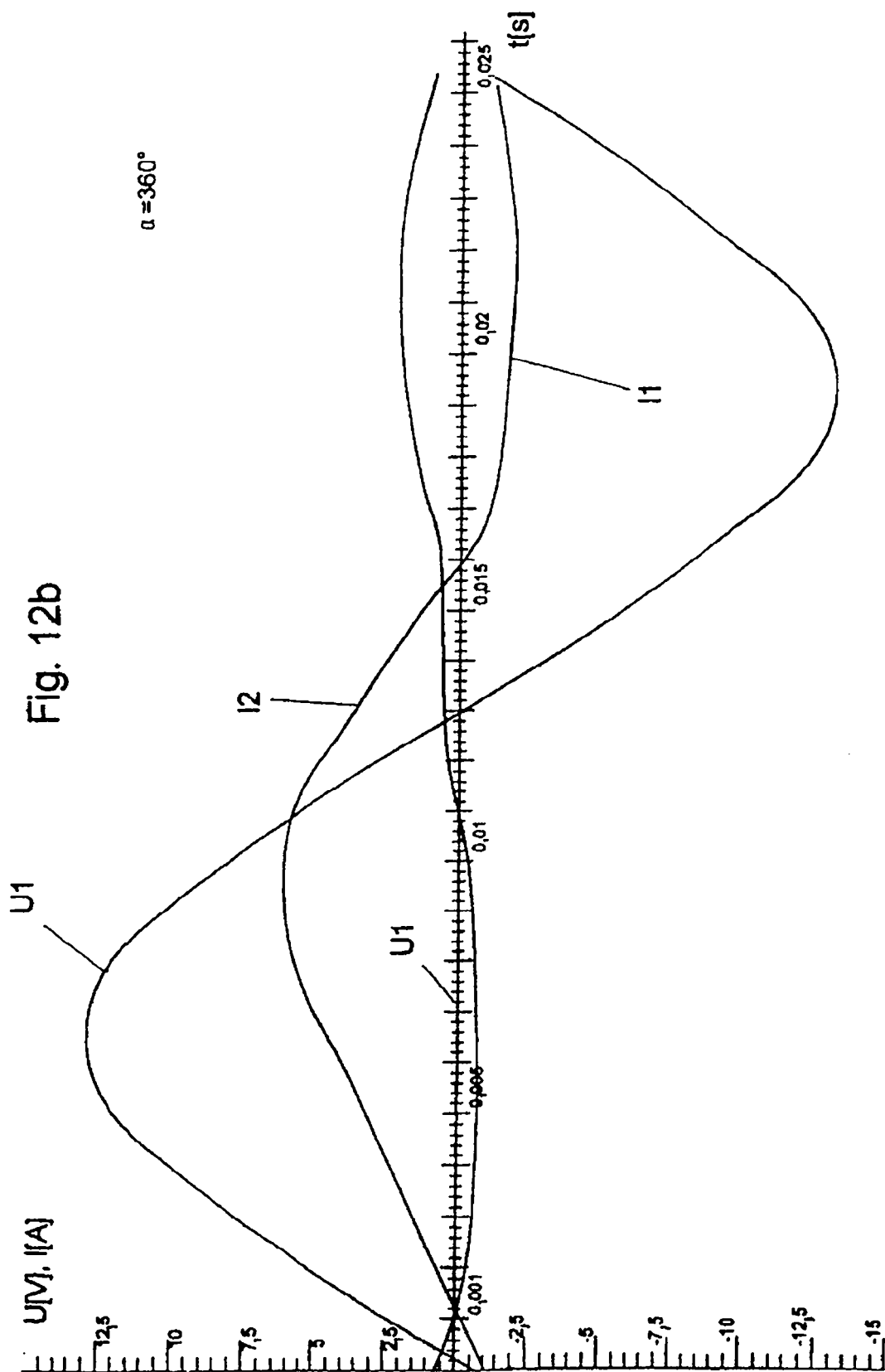
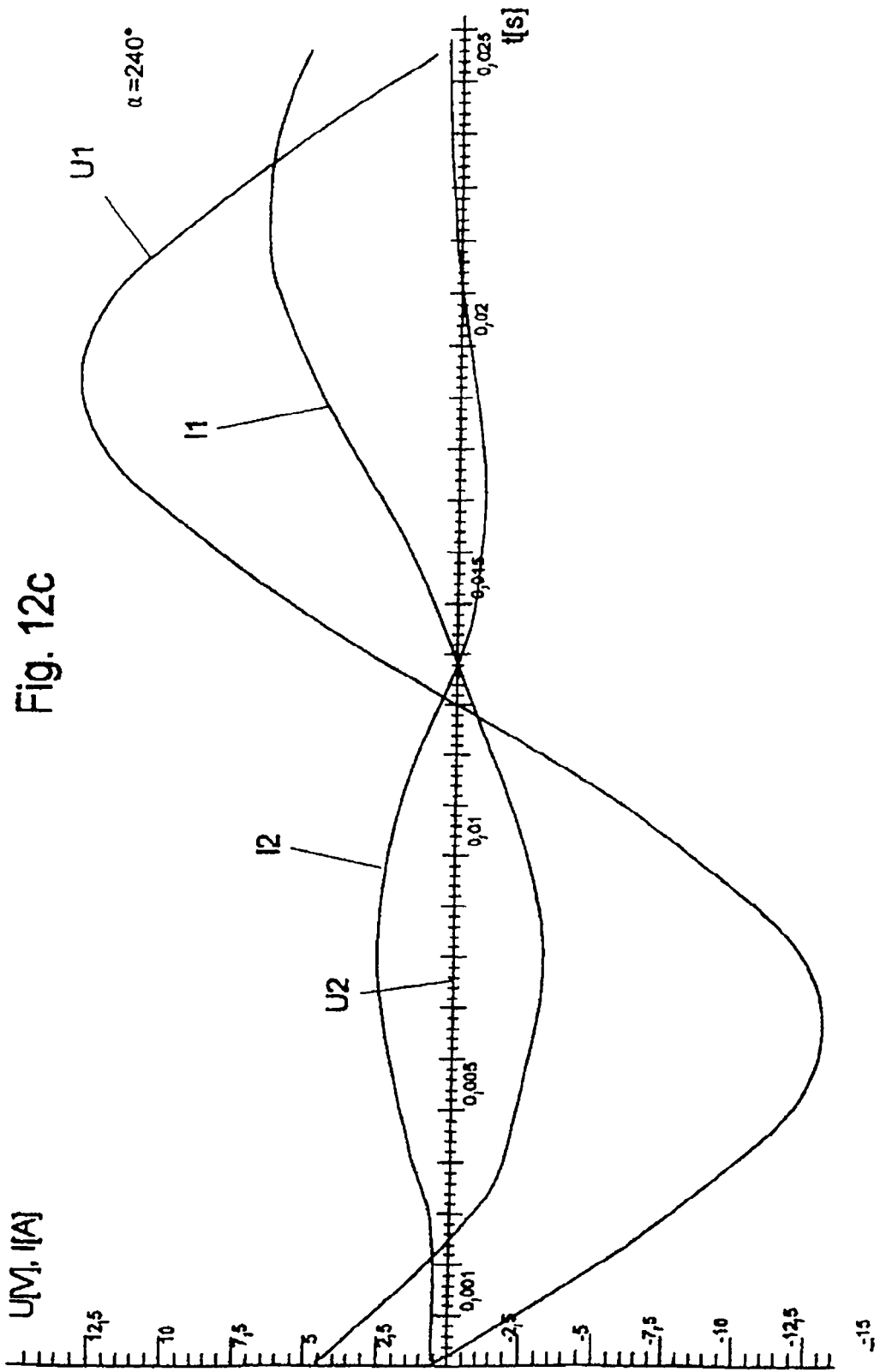
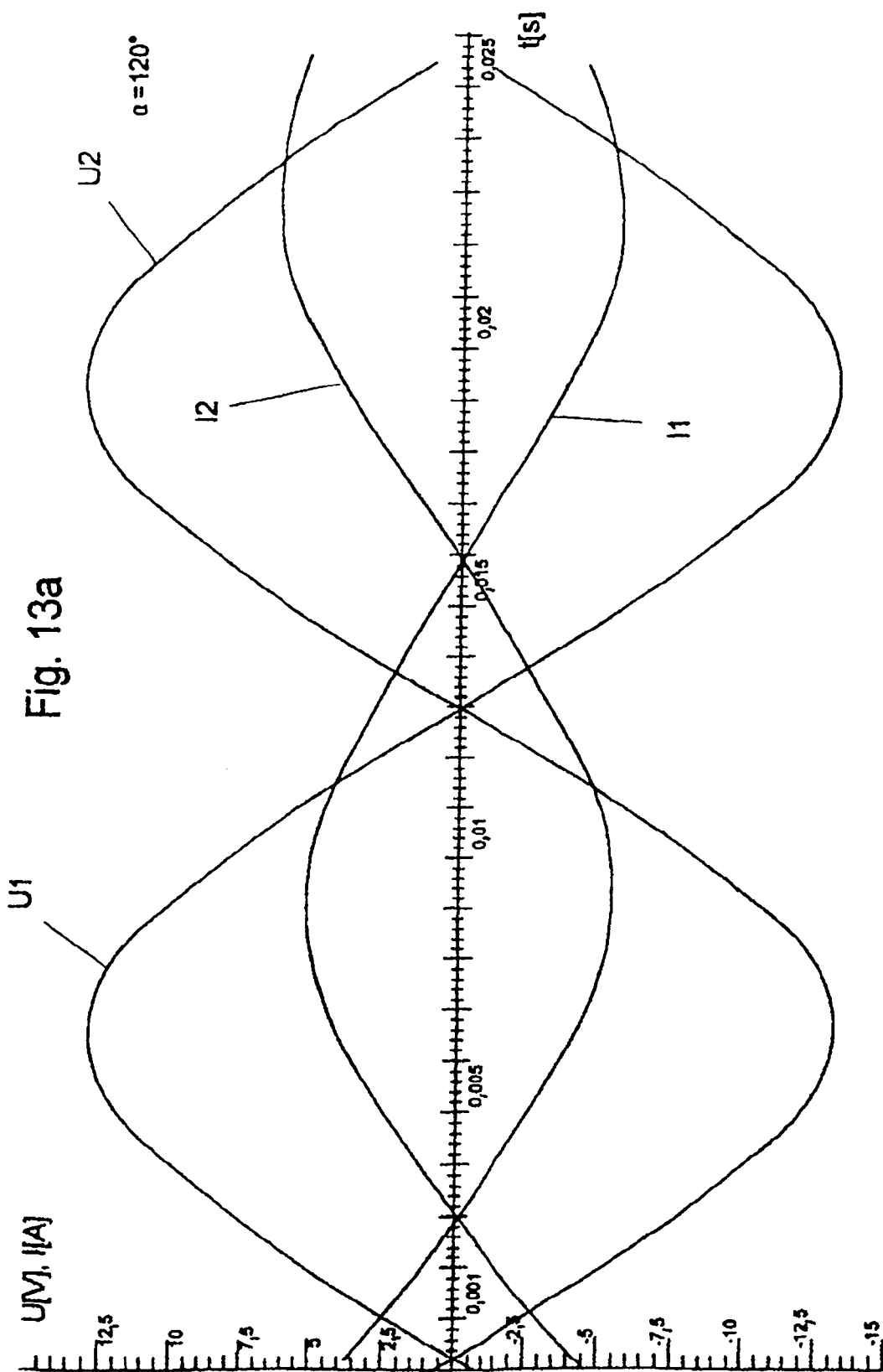
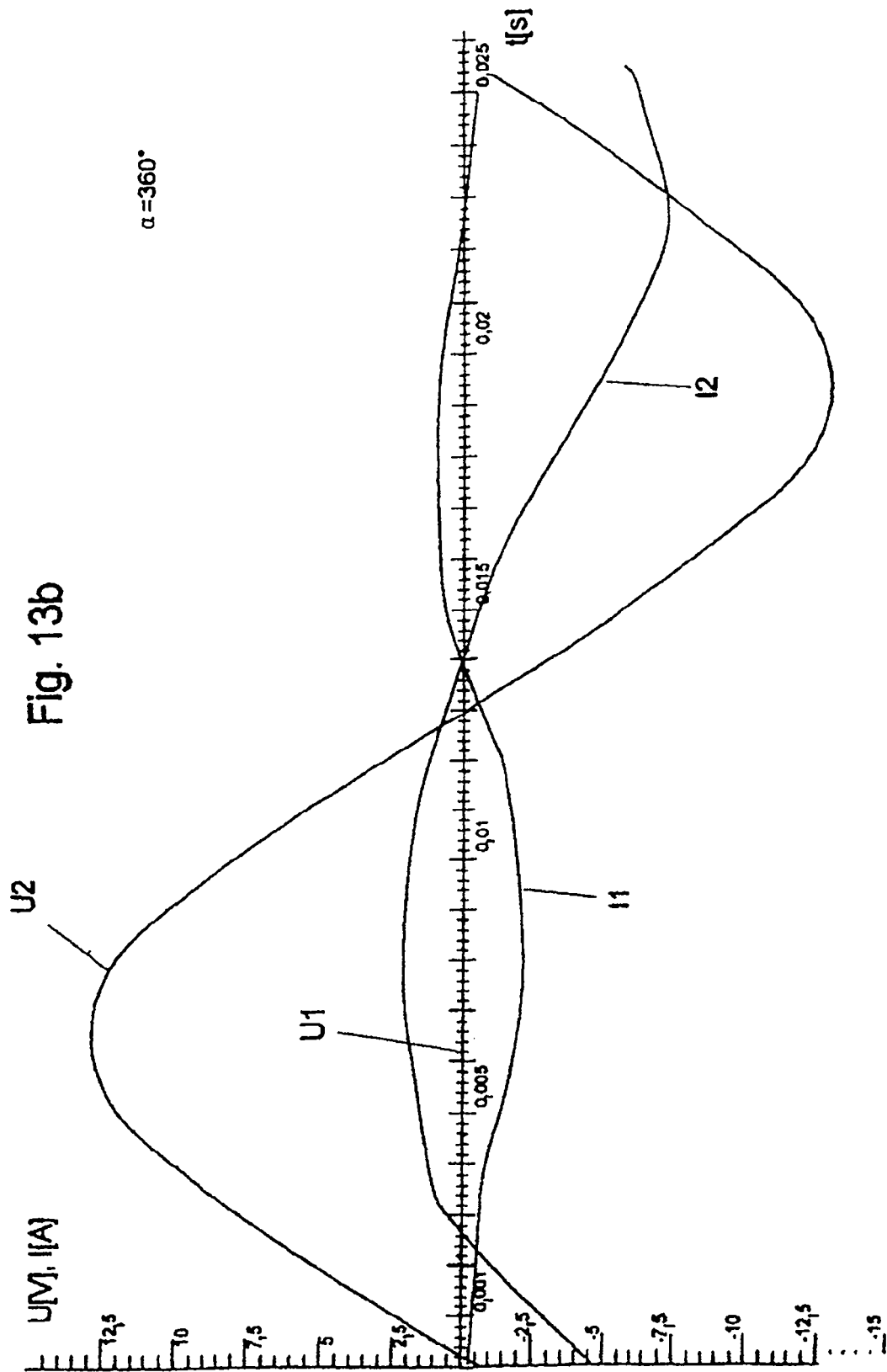


Fig. 12a









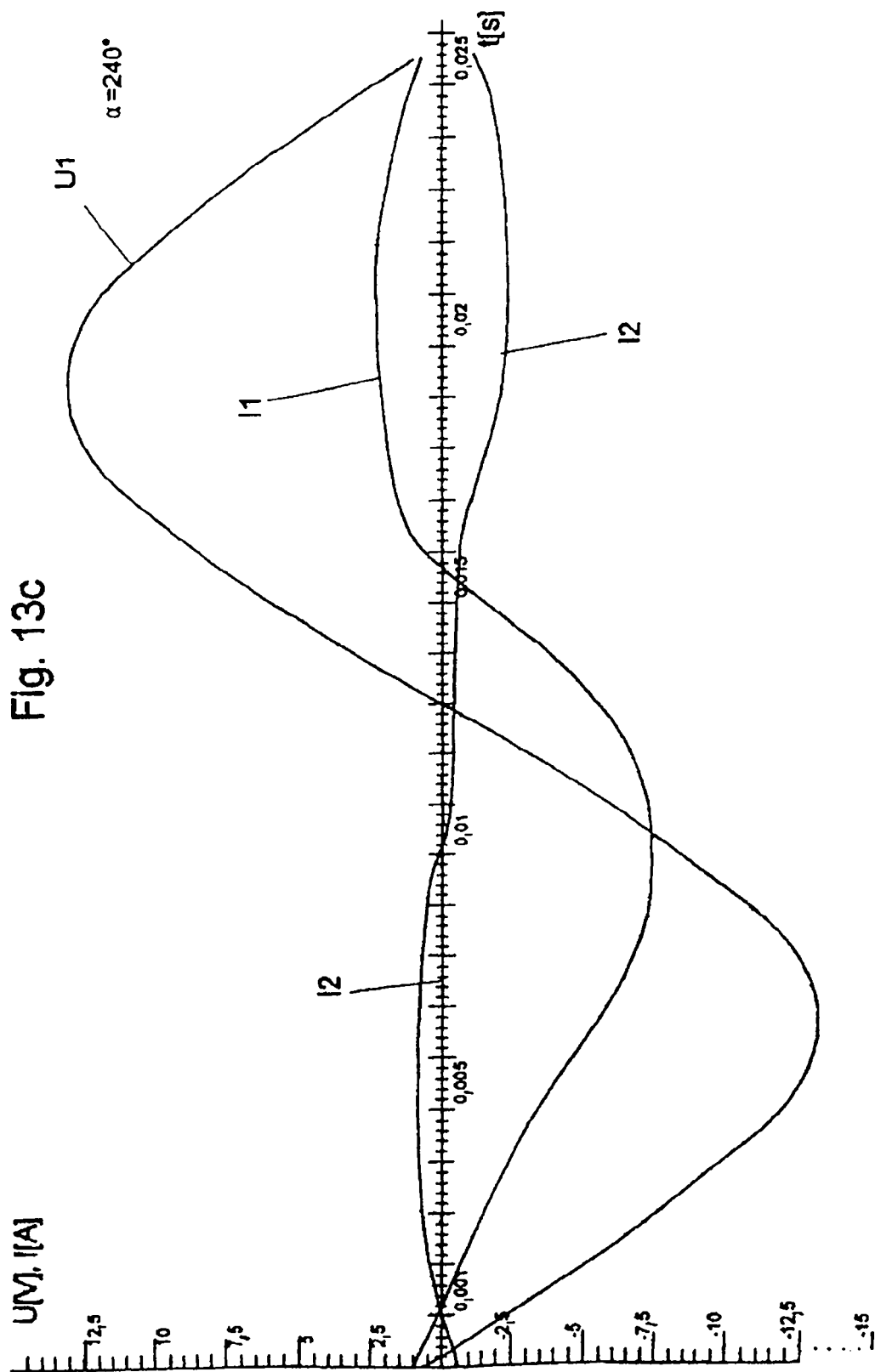
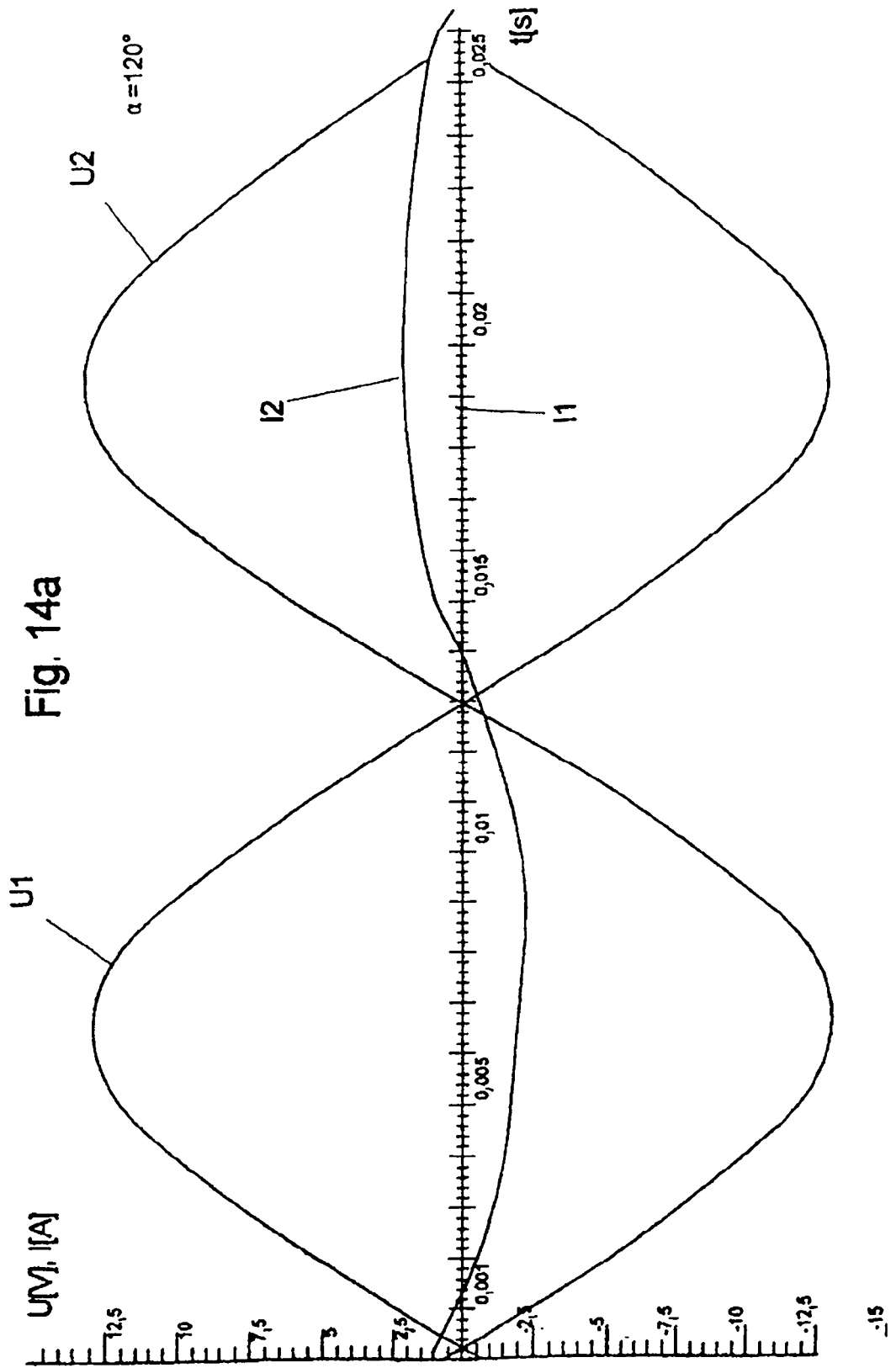
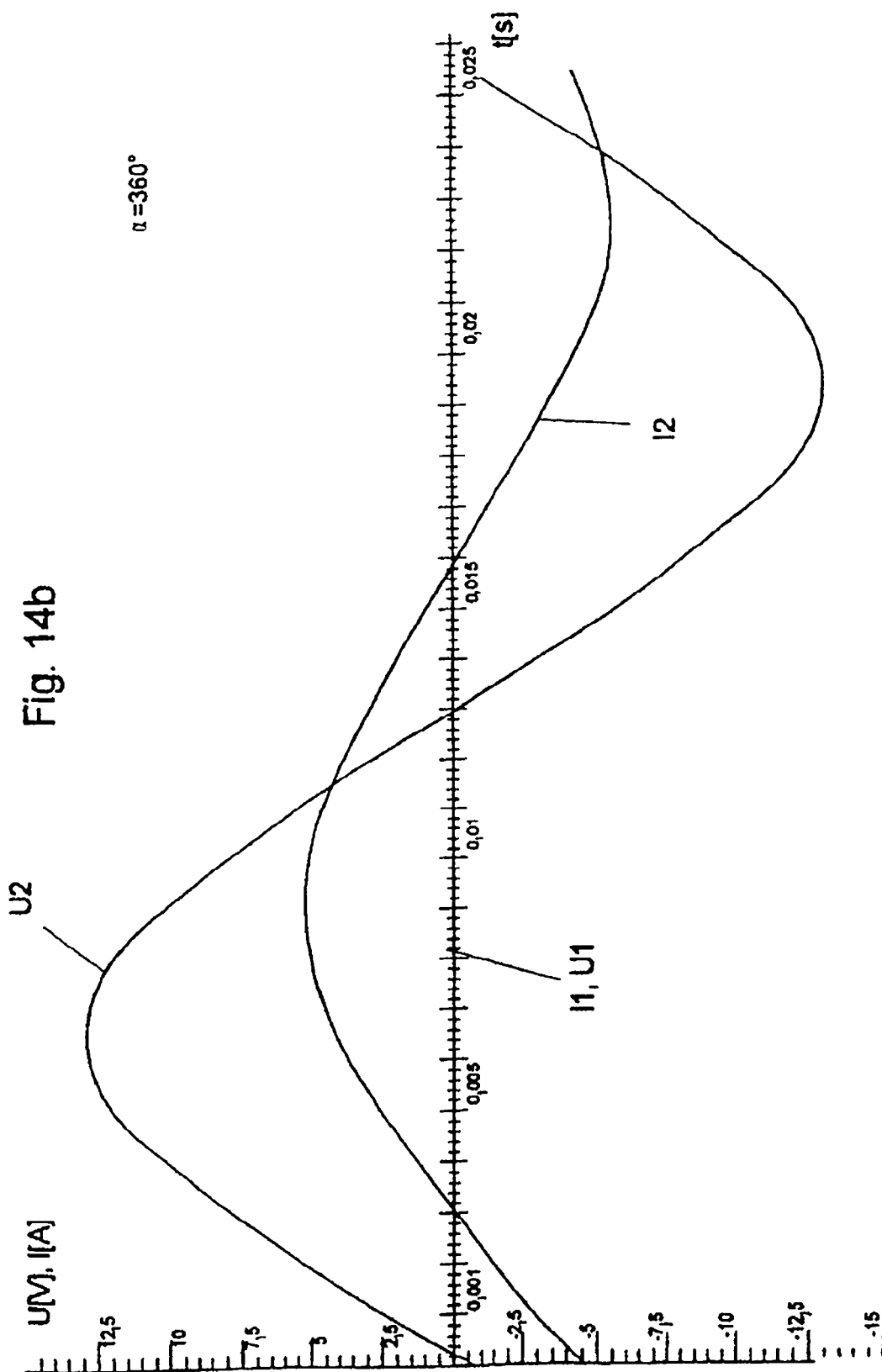
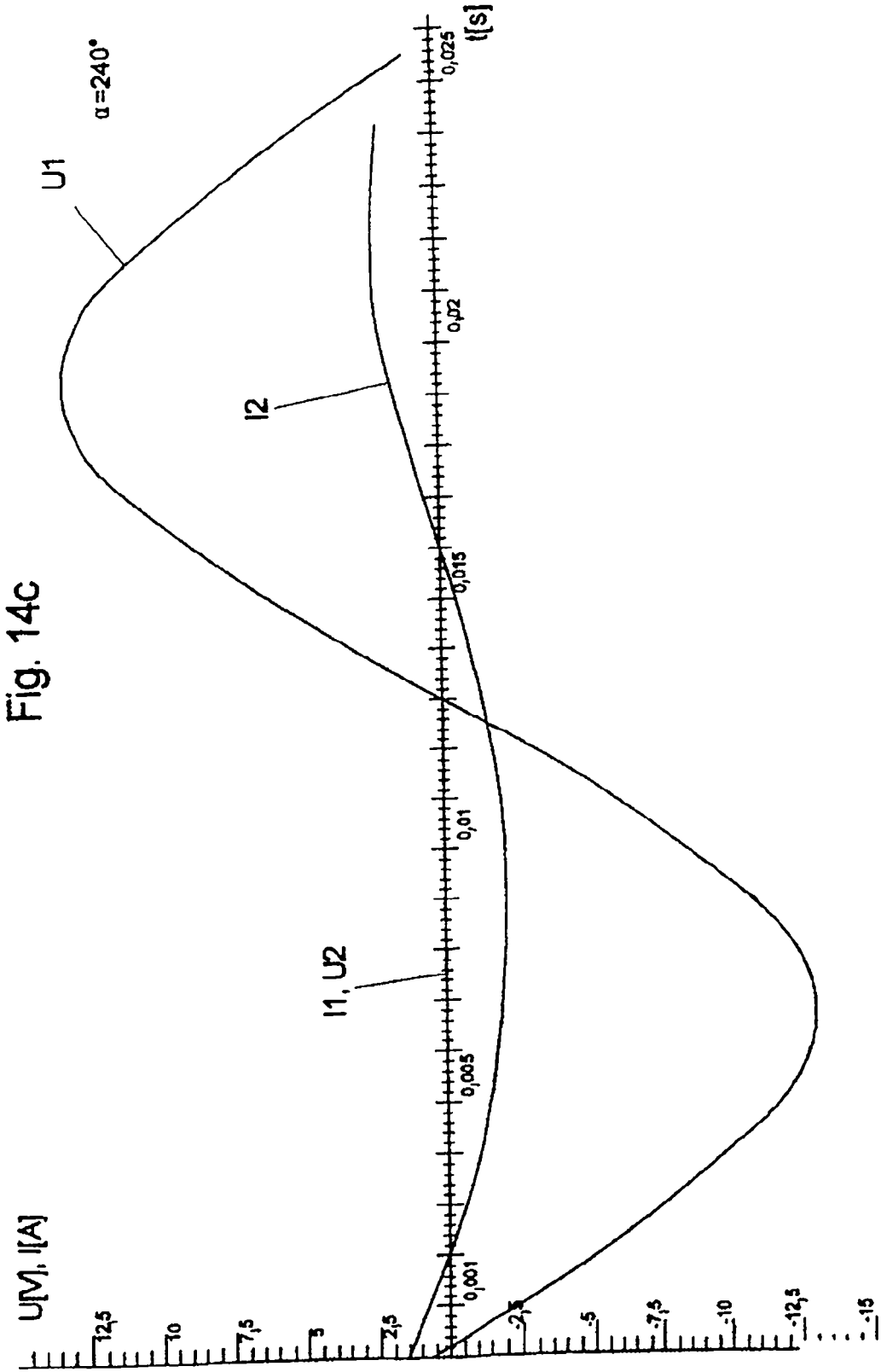


Fig. 13c







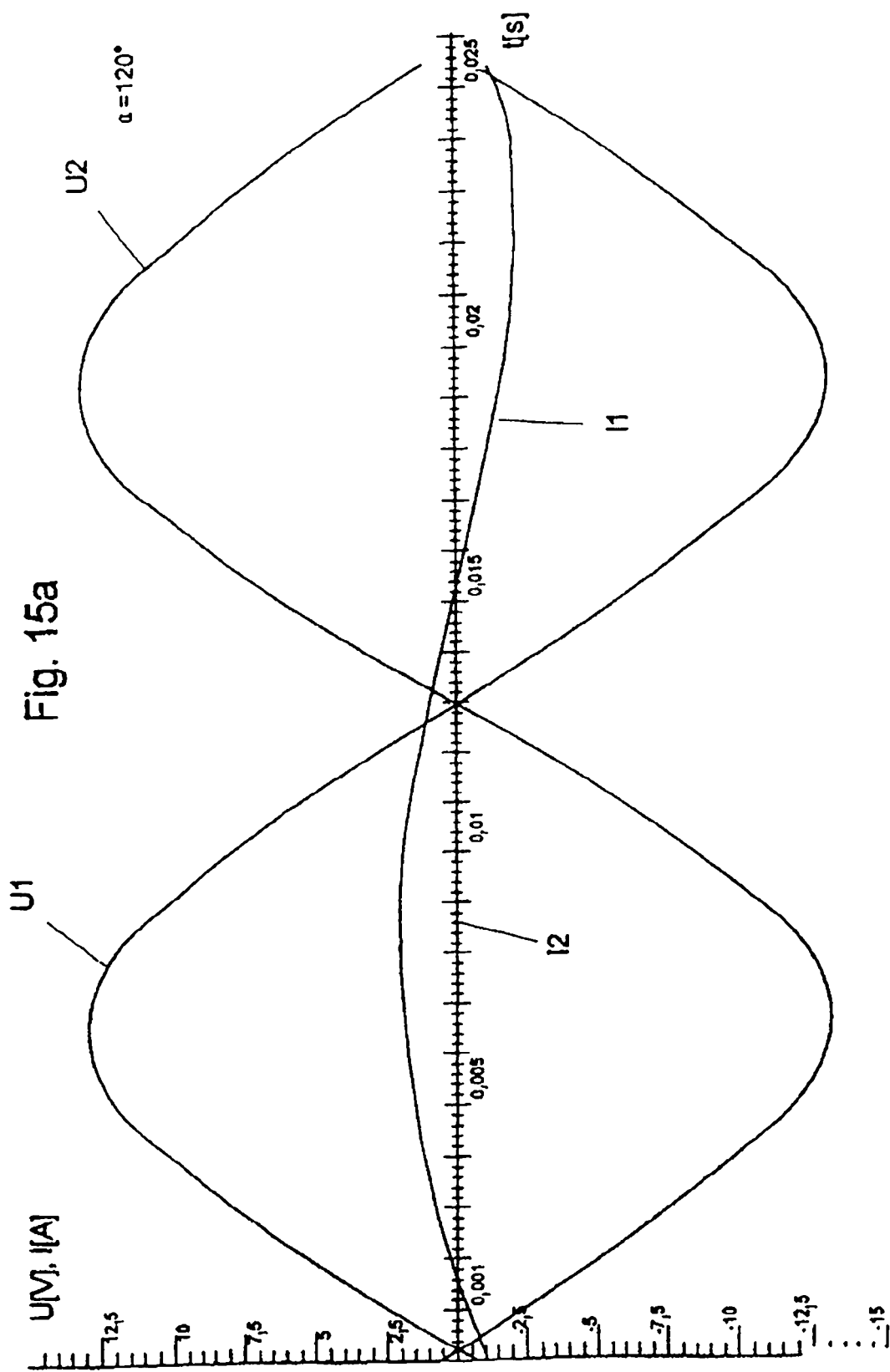
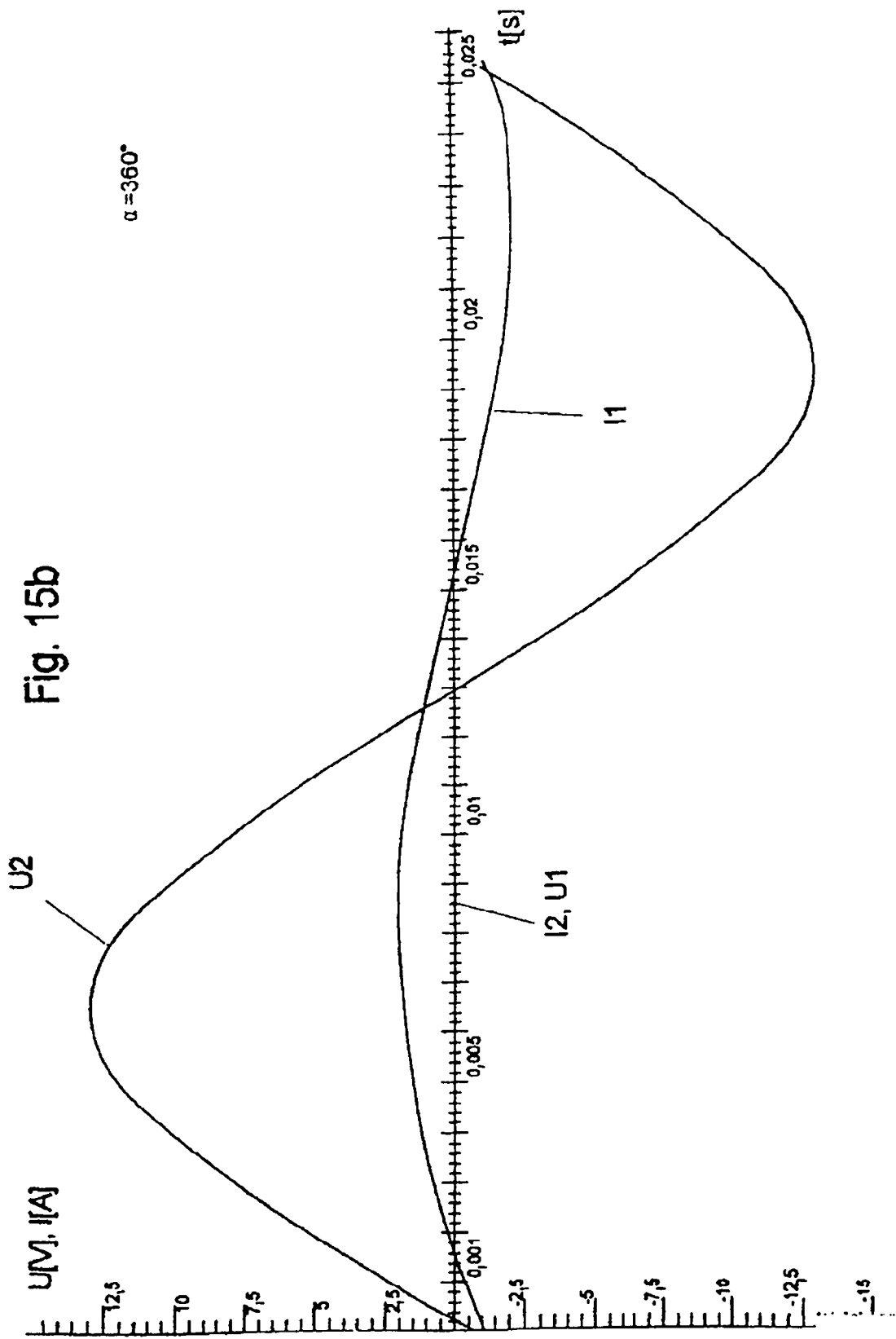
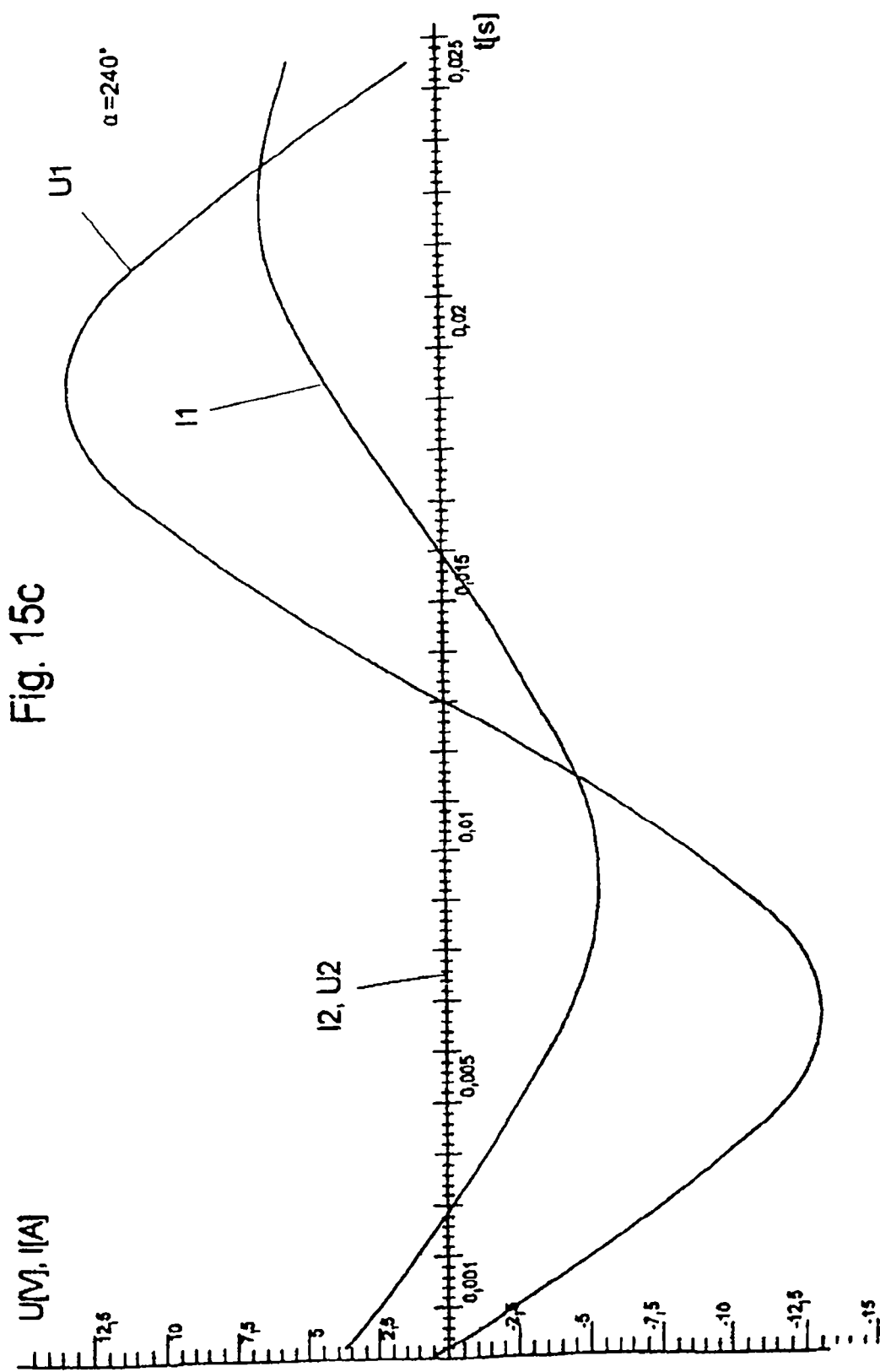
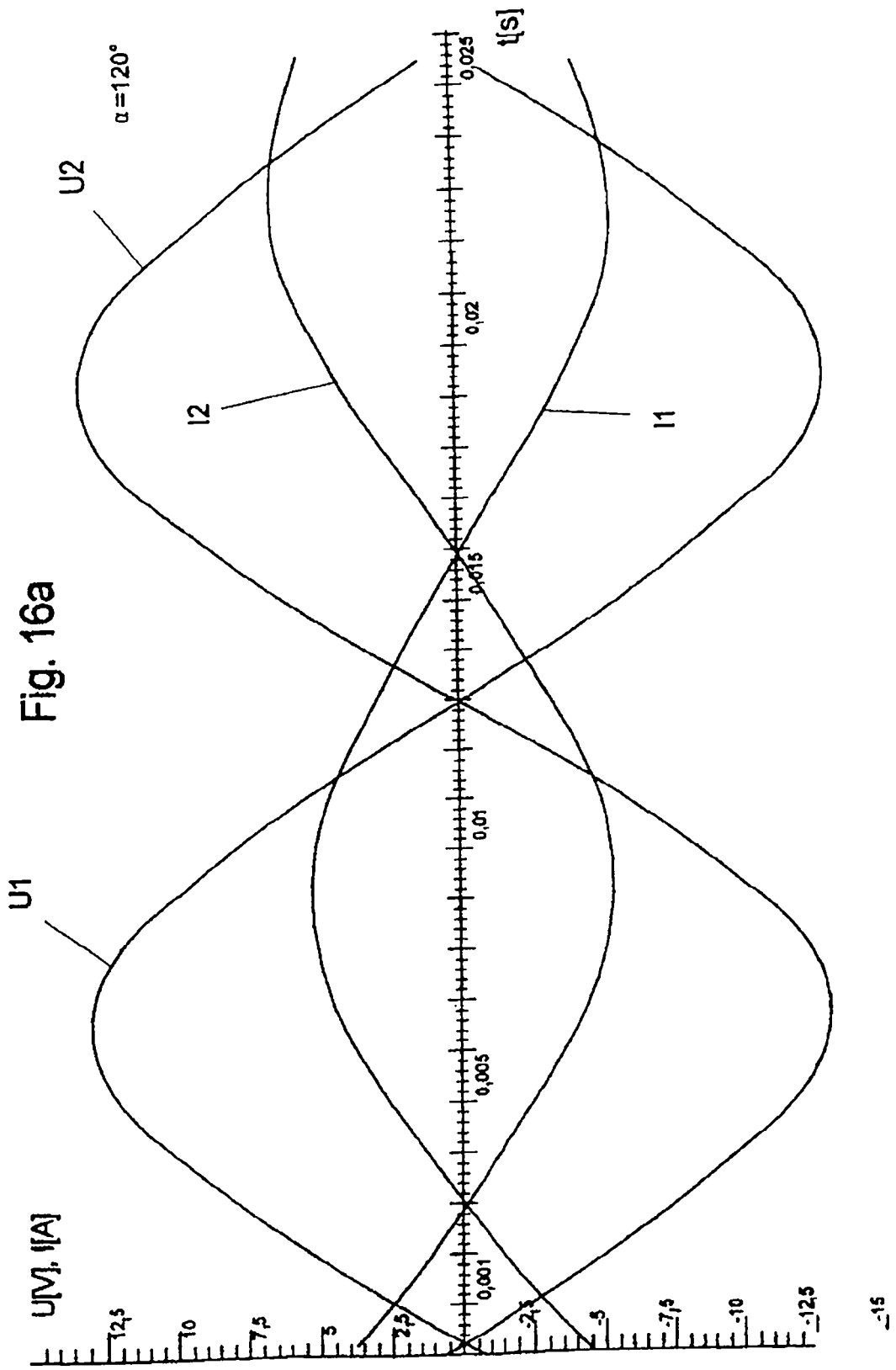
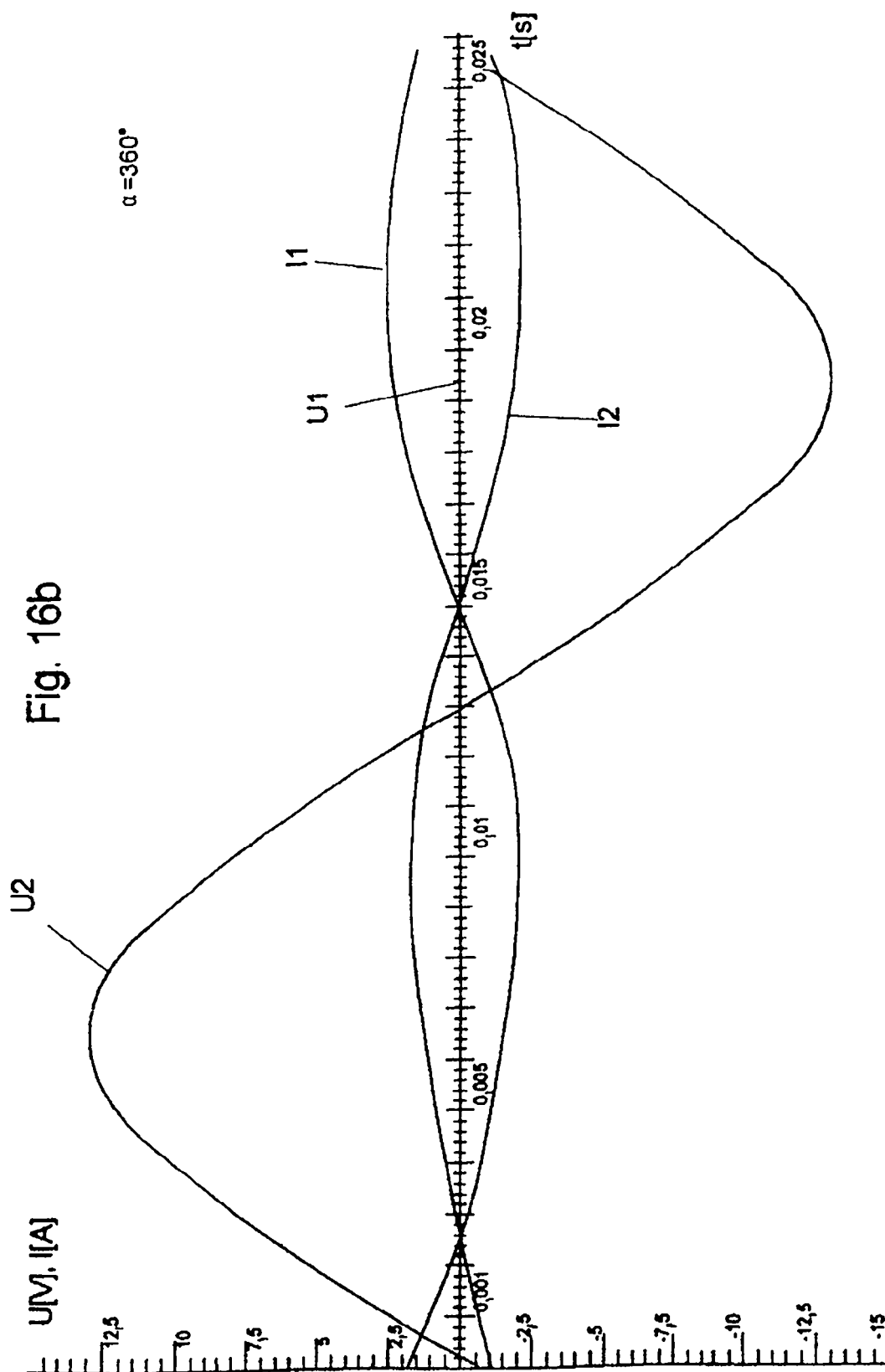


Fig. 15a









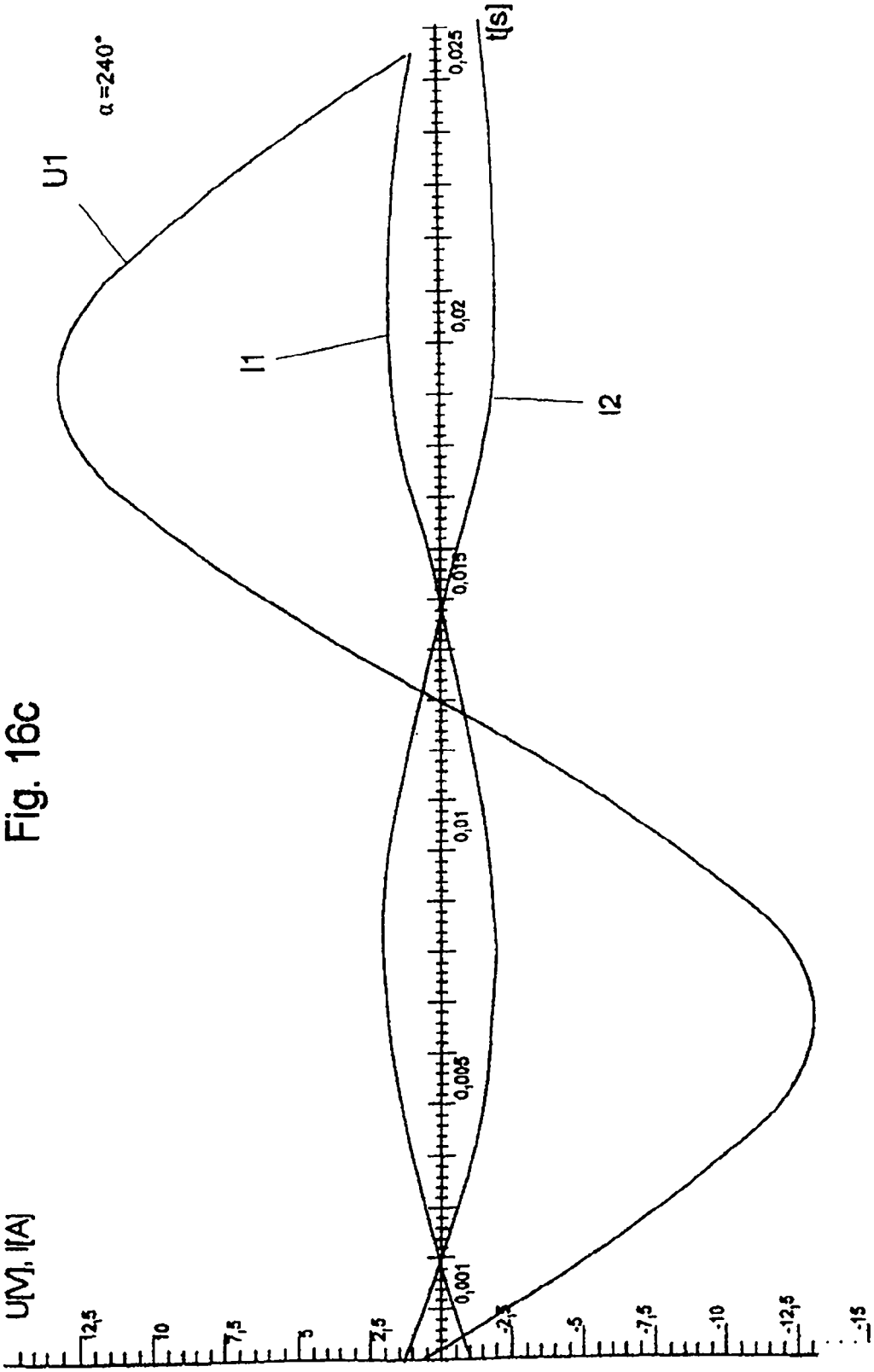


Fig. 16c

Fig. 17

	Etapa de medición 1	Etapa de medición 2	Etapa de medición 3	Resultado
U1	U	-U/2	-U/2	
U2	-U/2	U	-U/2	
U3	-U/2	-U/2	U	
-ERR	1	1	1	Ningún cortocircuito
	0	0	1	Cortocircuito Fase 11-12
	0	1	0	Cortocircuito Fase 11-13
	1	0	0	Cortocircuito Fase 12-13
	0	0	0	Realizar ensayo con respecto a toma a tierra

Fig. 18

