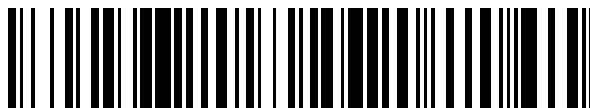


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 635 132**

21 Número de solicitud: 201630369

51 Int. Cl.:

H02H 5/04 (2006.01)

H02K 11/00 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

30.03.2016

43 Fecha de publicación de la solicitud:

02.10.2017

71 Solicitantes:

IBERDROLA GENERACIÓN NUCLEAR, S.A.U.

(100.0%)

TOMÁS REDONDO, 1

28033 MADRID ES

72 Inventor/es:

ARCHILLA MARTÍN-SANZ, Jacobo;

ROUCO RODRÍGUEZ, Luis y

GAVILÁN MORENO, Carlos Julián

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

54 Título: **SISTEMA Y MÉTODO PARA DETECTAR UNA CONDICIÓN DE FASE ABIERTA EN LA ALIMENTACIÓN A UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE ARRANQUE**

57 Resumen:

Sistema y método para detectar una condición de fase abierta en la alimentación a un transformador trifásico de arranque.

La presente invención se refiere a un sistema y método para detectar una condición de fase abierta en la alimentación a un transformador trifásico de arranque (1). Este transformador trifásico de arranque (1) es utilizado para vincular una red eléctrica (2) con al menos unos sistemas auxiliares presentes en las centrales nucleares y que deben ser alimentados eléctricamente durante diferentes etapas de operación de las centrales nucleares. En donde el transformador trifásico de arranque (1) comprende un bobinado primario (4) con tres fases (4A, 4B, 4C) conectadas en estrella y un neutro rígido (4N) conectado a tierra y vinculado con una unidad de medida de intensidad configurada para medir la intensidad para detectar una condición de fase abierta.

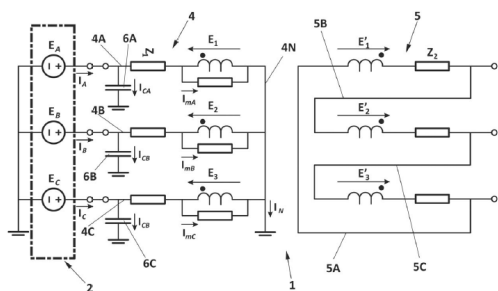


FIG. 2

**SISTEMA Y MÉTODO PARA DETECTAR UNA CONDICIÓN DE FASE ABIERTA EN
LA ALIMENTACIÓN A UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO DE ARRANQUE**

DESCRIPCIÓN

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un sistema y método para detectar una condición de fase abierta en la alimentación a un transformador trifásico de arranque.

10

Este transformador trifásico de arranque es preferentemente utilizado para vincular una red eléctrica con al menos unos sistemas auxiliares presentes en las centrales nucleares y que deben ser alimentados eléctricamente durante diferentes etapas de operación de las centrales nucleares.

15

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20

Actualmente, las centrales nucleares se desactivan periódicamente para realizar tareas de mantenimiento y recarga de combustible, debido a esto, se requiere alimentar eléctricamente los sistemas auxiliares de la central nuclear durante dichos periodos no operativos y durante la etapa de arranque de la central nuclear, así como cuando sobreviene una situación de indisponibilidad de la red principal.

25

Más concretamente, el transformador trifásico de arranque proporciona energía a los sistemas auxiliares cuando estos lo requieran.

30

Los transformadores de arranque son imprescindibles para asegurar la alimentación de los servicios auxiliares en parada caliente, parada fría o recarga, cuando la alimentación principal no está disponible.

De este modo, la disponibilidad y la fiabilidad de la fuente de alimentación alternativa deben garantizarse, incluso en los periodos en los que no se está utilizando, para asegurar el funcionamiento de la central nuclear.

La aparición de una condición de fase abierta en la alimentación no permite la alimentación eléctrica a los servicios auxiliares y, por tanto, supone un grave problema de seguridad en las centrales nucleares.

5 Debido a esto, recientemente se ha puesto de relieve la necesidad de detectar condiciones de fase abierta, especialmente en condiciones de carga cero, o próximas a cero, que pueden ocurrir en las alimentaciones a este tipo de transformadores trifásicos de arranque, a fin de asegurar el trabajo de las centrales nucleares en todos sus modos de funcionamiento.

10

Actualmente, la solicitud de patente WO2015126412A1 describe una solución para detectar la condición de fase abierta. Más concretamente, dicha solicitud de patente describe un método de detección basado en la aplicación de una tensión en el neutro del transformador trifásico de arranque y en el análisis armónico de la intensidad del neutro en condiciones normales y en condiciones de fase abierta. De este modo, sin
15 condiciones de fase abierta, la intensidad del neutro contiene el 3º armónico, pero no contiene 5º armónico. Por el contrario, en condiciones de fase abierta, la intensidad del neutro no contiene 3º armónico, pero contiene 5º armónico.

20

A pesar de esto, simplemente el análisis del contenido en armónicos de la intensidad del neutro no ofrece siempre información de la condición de fase abierta. Esto es debido a que la asimetría del circuito magnético de los transformadores trifásicos imposibilitaba la consideración del 3º armónico como elemento discriminante. Medidas realizadas en el neutro del transformador trifásico de arranque en la central nuclear de
25 Cofrentes (138kV/6,9 kV) mostraron una muy baja intensidad de neutro en condiciones normales de funcionamiento, poniendo en evidencia las carencias del método descrito en la solicitud de patente WO2015126412A1.

30

Alternativamente a este método, es conocido, comercialmente, un sistema que utiliza tres transformadores de intensidad ópticos instalados en cada uno de los “bushing” de alta tensión de un transformador trifásico para medir su intensidad. Este sistema monitoriza la intensidad de cada una de las fases del transformador trifásico. Básicamente, cuando no se produce una condición de fase abierta, la intensidad medida por el transformador de intensidad óptico es igual a la intensidad de vacío. Por

el contrario, cuando manifiesta una condición de fase abierta, la intensidad medida de una o dos fases será nula.

Más concretamente, este sistema está basado fundamentalmente en transformadores de intensidad ópticos que cuentan con una capacidad de medir intensidades muy pequeñas con una gran precisión en contraste con los transformadores de intensidad inductivos. Los transformadores de intensidad ópticos son tecnologías con más de 30 años de existencia que comienzan a irrumpir en el mercado del transporte y la distribución eléctrica hoy en día, pero cuya presencia en sistemas eléctricos de centrales nucleares es pequeña y su experiencia operativa baja.

Una importante debilidad asociada a este sistema es la manifestación de la propia condición de fase abierta. Concretamente, cuando ocurre este fenómeno, la intensidad medida por el transformador de intensidad no se convierte en nula debido a la intensidad capacitiva del “bushing” del transformador trifásico, imposibilitando la detección de la misma. Así mismo, dependiendo de en qué parte de la red eléctrica ocurra la condición de fase abierta, puede haber equipos alimentados por el transformador trifásico, tales como transformadores de tensión o las propias capacitancias de las líneas, que hacen que la intensidad medida no sea cero tras la condición de fase abierta.

Es preciso destacar que este sistema no sería de aplicación en el transformador trifásico de arranque de centrales nucleares de configuración similar a la Central Nuclear de Cofrentes. Más concretamente, estos transformadores trifásicos de arranque están alimentados por líneas de tensión a 132 kV y su alimentación proviene de fuentes de generación a varios kilómetros del emplazamiento. Cabe destacar que esto ocurre en la mayoría de centrales a nivel mundial. Debido a este motivo, en el caso de una condición fase abierta con falta de alta impedancia a tierra, habría una intensidad por el defecto de falta impedancia, por lo que el paso de intensidad no pasaría a ser nulo.

Adicionalmente, mediante cualquiera de los métodos o sistemas conocidos, hasta ahora, es difícil detectar la presencia de una condición de fase abierta para transformadores trifásicos que incorporan el bobinado primario en estrella con neutro a

tierra, ya que al monitorizar la tensión no se detecta la condición de fase abierta en estas circunstancias debido a que el transformador trifásico de arranque recrea la tensión de la fase perdida.

- 5 Además, los transformadores con condiciones de carga cero, o próximas a cero, tal como los transformadores de arranque o auxiliares, presentan serios problemas para detectar condiciones de fase abierta.

10 Por tanto, existe la necesidad de detectar condiciones de fase abierta de forma temprana y previa a las transferencias de servicios auxiliares a estas fuentes de tensión y potencia. Esto es especialmente crítico en los transformadores que recrean la tensión de la fase abierta, que son, principalmente, los que cumplen las siguientes condiciones:

- Primario en estrella y con neutro rígido a tierra.
- 15 - Algún devanado en triángulo (ya sea secundario, terciario de compensación...) y/o núcleo magnético de tres columnas.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

20 En la presente invención se describe un sistema para detectar una condición de fase abierta en un transformador trifásico de arranque que comprende un bobinado primario y un primer y/o un segundo bobinado secundario, y que se encuentra en condiciones de carga cero, o próximas a cero, en donde:

- el bobinado primario comprende tres fases conectadas en estrella y un neutro 25 rígido conectado a tierra,
- el bobinado primario comprende conectores destinados a conectar el transformador trifásico de arranque a una red eléctrica,
- el neutro rígido está vinculado con una unidad de medida de intensidad configurada para medir la intensidad del neutro rígido,
- 30 • el primer y/o el segundo bobinado secundario comprende tres fases conectadas en triángulo y/o conectadas en un paquete magnético de tres columnas, y
- el primer y/o el segundo bobinado secundario comprende conectores destinados a conectar el transformador trifásico de arranque a una red eléctrica auxiliar de una central nuclear para alimentar eléctricamente al menos unos sistemas

auxiliares.

Más concretamente, el sistema comprende:

- un banco de condensadores vinculado a bornes de conexión de cada fase del bobinado primario para incrementar la intensidad del neutro rígido hasta un valor diferenciador susceptible de ser medido cuando sucede la condición de fase abierta y diferenciado de unos incrementos transitorios de intensidad en el neutro rígido.

Adicionalmente, la unidad de medida de intensidad comprende un transformador de intensidad y un equipo de medida vinculado con una unidad de control para monitorizar la intensidad del neutro rígido.

El método para detectar la condición de fase abierta en el transformador trifásico de arranque descrito anteriormente comprende:

- medir, mediante la unidad de medida de intensidad, la intensidad del neutro rígido del bobinado primario,
- monitorizar, mediante la unidad de control, la intensidad del neutro rígido del bobinado primario,
- detectar, mediante dicha unidad de control, si el valor de la intensidad del neutro rígido es igual o mayor que el nivel diferenciador y
- notificar, mediante la unidad de control, que se ha igualado o superado dicho valor diferenciador, y por tanto que ha surgido la condición de fase abierta en el bobinado primario del transformador trifásico de arranque.

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

Figura 1.- Muestra una vista esquemática de la conexión de un transformador trifásico de

arranque con una red eléctrica y una red eléctrica auxiliar de una central nuclear.

Figura 2.- Muestra esquemáticamente el transformador trifásico de arranque sin una condición de fase abierta.

5

Figura 3.- Muestra esquemáticamente el transformador trifásico de arranque con una condición de fase abierta.

10

Figura 4.- Muestra esquemáticamente una realización preferente simplificada en el transformador trifásico de arranque de la central nuclear de Cofrentes.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

15

En una realización preferente de la invención, tal y como se muestra en la figura 1, el sistema comprende un transformador trifásico de arranque (1) situado entre la conexión de una red eléctrica (2) y una red eléctrica auxiliar (3) de una central nuclear para alimentar al menos unos sistemas auxiliares de esta central nuclear.

20

Más concretamente, este transformador trifásico de arranque (1), tal y como se muestra esquemáticamente en la figura 2, comprende:

25

30

- un bobinado primario (4) que comprende tres fases (4A, 4B, 4C) conectadas en estrella,
- un primer bobinado secundario (5) que comprende tres fases (5A, 5B, 5C) conectadas en triangulo,
- conectores, en el bobinado primario (4), destinados a conectar el transformador trifásico de arranque (1) a la red eléctrica (2),
- un neutro rígido (4N) conectado a tierra, en el bobinado primario (4), con una unidad de medida de intensidad configurada para medir la intensidad del neutro rígido (4N),
- un banco de condensadores (6A, 6B, 6C) en cada fase (4A, 4B, 4C) del bobinado primario (4) para incrementar la intensidad del neutro rígido (4N) hasta un valor diferenciador cuando sucede la condición de fase abierta, y
- una unidad de control, vinculada con la unidad de medida de intensidad, para detectar y monitorizar dicho valor diferenciador.

Más concretamente, los bancos de condensadores (6A, 6B, 6C) de cada fase (4A, 4B, 4C) se encuentran conectados en bornes de cada fase (4A, 4B, 4C), y la unidad de medida de intensidad comprende un transformador de intensidad y un equipo de medida vinculado con una unidad de control para monitorizar la intensidad del neutro rígido (4N).

Preferente, este valor diferenciador viene determinado por los siguientes cálculos y condiciones.

La figura 3 esquemáticamente muestra el transformador trifásico de arranque (1) en donde el bobinado primario (4) presenta una única condición de fase abierta, en la fase (4A).

Cuando la simetría de las tres fases (4A, 4B, 4C) del transformador trifásico de arranque (1) y del banco de condensadores (6A, 6B, 6C) es exacta la intensidad del neutro rígido (4N) es igual a cero.

Cuando las condiciones de carga del transformador trifásico de arranque (1) son cero, la intensidad de cada fase (4A, 4B, 4C) es la suma de la intensidad del banco de condensadores (6A, 6B, 6C) y de la intensidad de magnetización para cada fase (4A, 4B, 4C):

$$I_A = I_{CA} + I_{mA} [1]$$

$$I_B = I_{CB} + I_{mB} [2]$$

$$I_C = I_{CC} + I_{mC} [3]$$

En caso de condición de fase abierta en la fase (4A) del bobinado primario (4), la intensidad del bobinado primario (4) y secundario (5) resultaría:

$$I_{TA} = I_{CA} + I_{mA} [4]$$

$$I'_{TA} = I'_{TA} = I'_{TC} = (I_{CA} + I_{mA})/K [5]$$

$$I_{TB} = I_{CB} + I_{mB} [6]$$

$$I_{TC} = I_{CC} + I_{mC} [7]$$

Por lo tanto, las intensidades de cada fase conductora (4A, 4B, 4C) del bobinado primario

(4) del transformador trifásico de arranque (1) y la intensidad de neutro rígido (4N) se convierten en:

$$I_B = (I_{CB} + I_{mB}) - (I_{CA} + I_{mA}) \quad [8]$$

$$I_C = (I_{CC} + I_{mC}) - (I_{CA} + I_{mA}) \quad [9]$$

$$I_N = I_B + I_C = -3I_{CA} - 3I_{mA} \quad [10]$$

Suponiendo que la intensidad de cada banco de condensadores (6A, 6B, 6C) es mucho mayor entre 10 y 20 veces mayor (preferentemente 17 veces mayor) que la intensidad de magnetización, la intensidad del neutro rígido (4N) se convierte en aproximadamente:

$$I_N = -3I_{CA} \quad [11]$$

De este modo, el valor diferenciador de la intensidad es al menos tres veces el valor intensidad del banco de condensadores (6A, 6B, 6C).

Un ejemplo de este sistema aplicado en la central nuclear de Cofrentes, se muestra en la figura 4, donde se ha instalado el banco de condensadores (6A, 6B, 6C) en el bobinado primario (4) con fases conectadas (4A, 4B, 4C) en estrella y neutro rígido (4N) conectado a tierra del transformador trifásico de arranque (1).

Adicionalmente, este transformador trifásico de arranque (1) comprende el primer bobinado secundario (5) y un segundo bobinado secundario (5') para alimentar eléctricamente los sistemas auxiliares de la central nuclear de Cofrentes que lo requieran.

Más concretamente, este banco de condensadores (6A, 6B, 6C) ha sido calculado de forma que la intensidad de una fase cualquiera (4A, 4B, 4C) del bobinado primario (4) es igual a:

$$I = \frac{Q}{\sqrt{3}U} \quad [12]$$

En donde:

I, es la intensidad de un condensador del banco de condensadores (6A, 6B, 6C) en Amperios.

Q, es la potencia de un condensador del banco de condensadores (6A, 6B, 6C) kVar (4.000 kVar)

U, es el voltaje entre dos fases (4A, 4B, 4C) cualquiera en kV (132 kV).

5

De este modo, la intensidad del neutro rígido (4N) en caso de condición de fase abierta de las fases (4A, 4B, 4C) se incrementa hasta 52,54 A y se corresponde con el valor medible.

REIVINDICACIONES

1. Sistema para detectar una condición de fase abierta en un transformador trifásico de arranque (1) que comprende un bobinado primario (4) y un primer y/o un segundo bobinado secundario (5, 5'), y que se encuentra en condiciones de carga cero, o próximas a cero, en donde:

- el bobinado primario (4) comprende tres fases (4A, 4B, 4C) conectadas en estrella y un neutro rígido (4N) conectado a tierra,
- el bobinado primario (4) comprende conectores destinados a conectar el transformador trifásico de arranque (1) a una red eléctrica (2),
- el neutro rígido (4N) está vinculado con una unidad de medida de intensidad configurada para medir la intensidad del neutro rígido (4N),
- el primer y/o el segundo bobinado secundario (5, 5') comprende tres fases conectadas en triángulo y/o conectadas en un paquete magnético de tres columnas, y
- el primer y/o el segundo bobinado secundario (5, 5') comprende conectores destinados a conectar el transformador trifásico de arranque (1) a una red eléctrica auxiliar (3) de una central nuclear para alimentar eléctricamente al menos unos sistemas auxiliares,

en donde el sistema está caracterizado por que comprende:

- un banco de condensadores (6A, 6B, 6C) que está vinculado en bornes de conexión de cada fase (4A, 4B, 4C) del bobinado primario (4) para incrementar la intensidad del neutro rígido (4N) hasta un valor diferenciador, susceptible de ser medido por la unidad de medida de la intensidad, cuando sucede la condición de fase abierta.

2. Sistema según la reivindicación 1, caracterizado por que la unidad de medida de intensidad comprende un transformador de intensidad y un equipo de medida vinculado con una unidad de control para monitorizar la intensidad del neutro rígido (4N) y diferenciarla de incrementos transitorios de intensidad en el neutro rígido (4N) no causados por la condición de fase abierta.

3. Método para detectar una condición de fase abierta en un transformador trifásico de arranque (1) descrito en una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que comprende:

- 5 • medir, mediante la unidad de medida de intensidad, la intensidad del neutro rígido (4N) del bobinado primario (4),
- monitorizar, mediante la unidad de control, la intensidad del neutro rígido (4N) del bobinado primario (4),
- detectar, mediante dicha unidad de control, si el valor de la intensidad del neutro
- 10 rígido (4N) es igual o mayor que el nivel diferenciador, y
- notificar, mediante la unidad de control, que se ha igualado o superado dicho valor diferenciador, y por tanto que ha surgido la condición de fase abierta en el bobinado primario (4) del transformador trifásico de arranque (1).

15 4. Método según la reivindicación 3, caracterizado porque el valor diferenciador de la intensidad es al menos tres veces el valor de intensidad del banco de condensadores (6A, 6B, 6C).

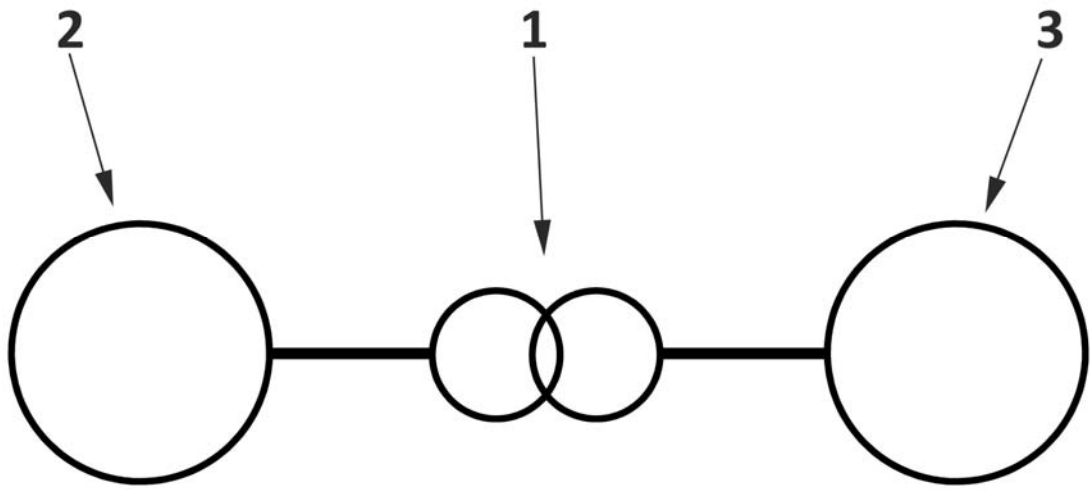


FIG. 1

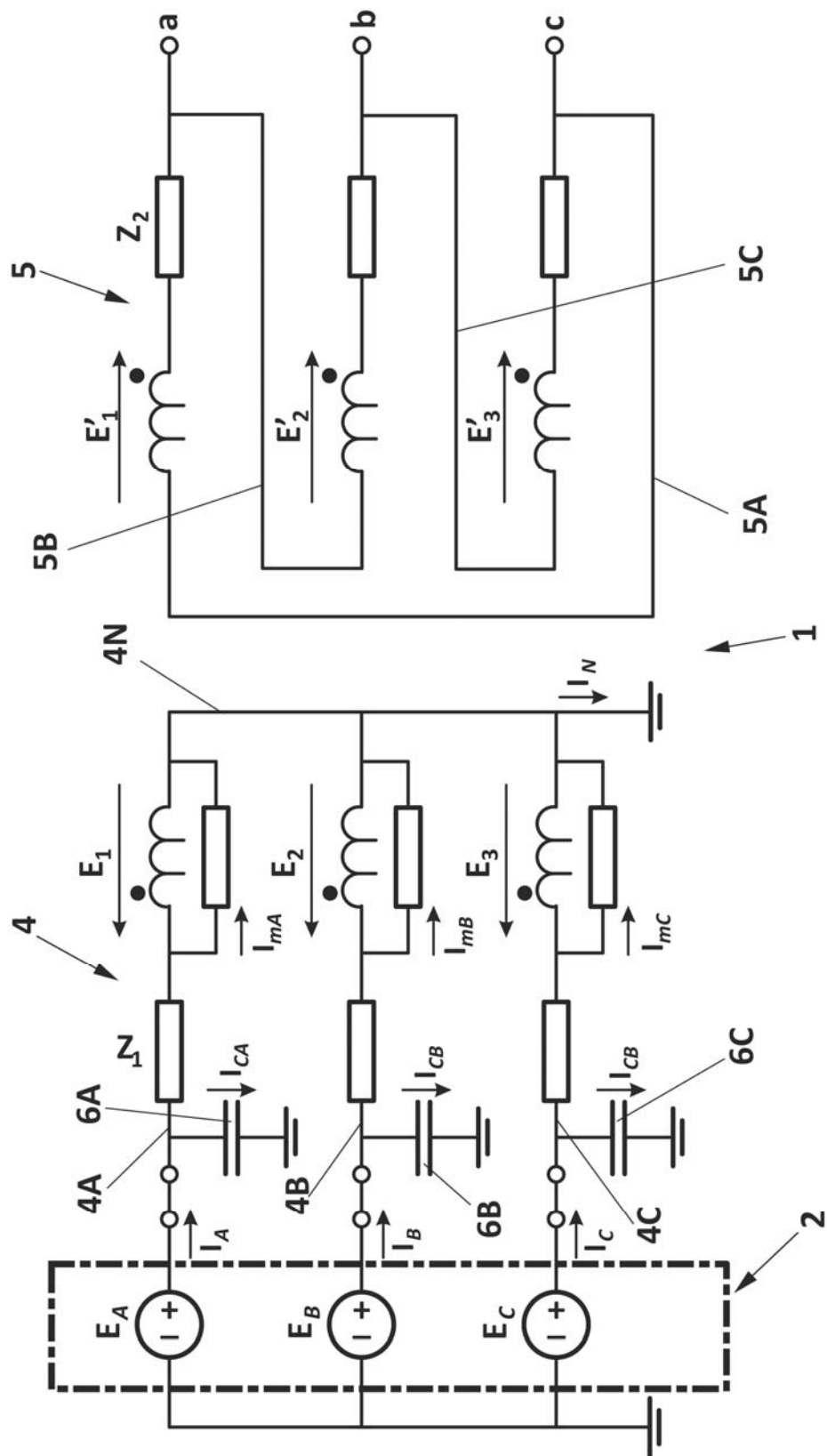


FIG. 2

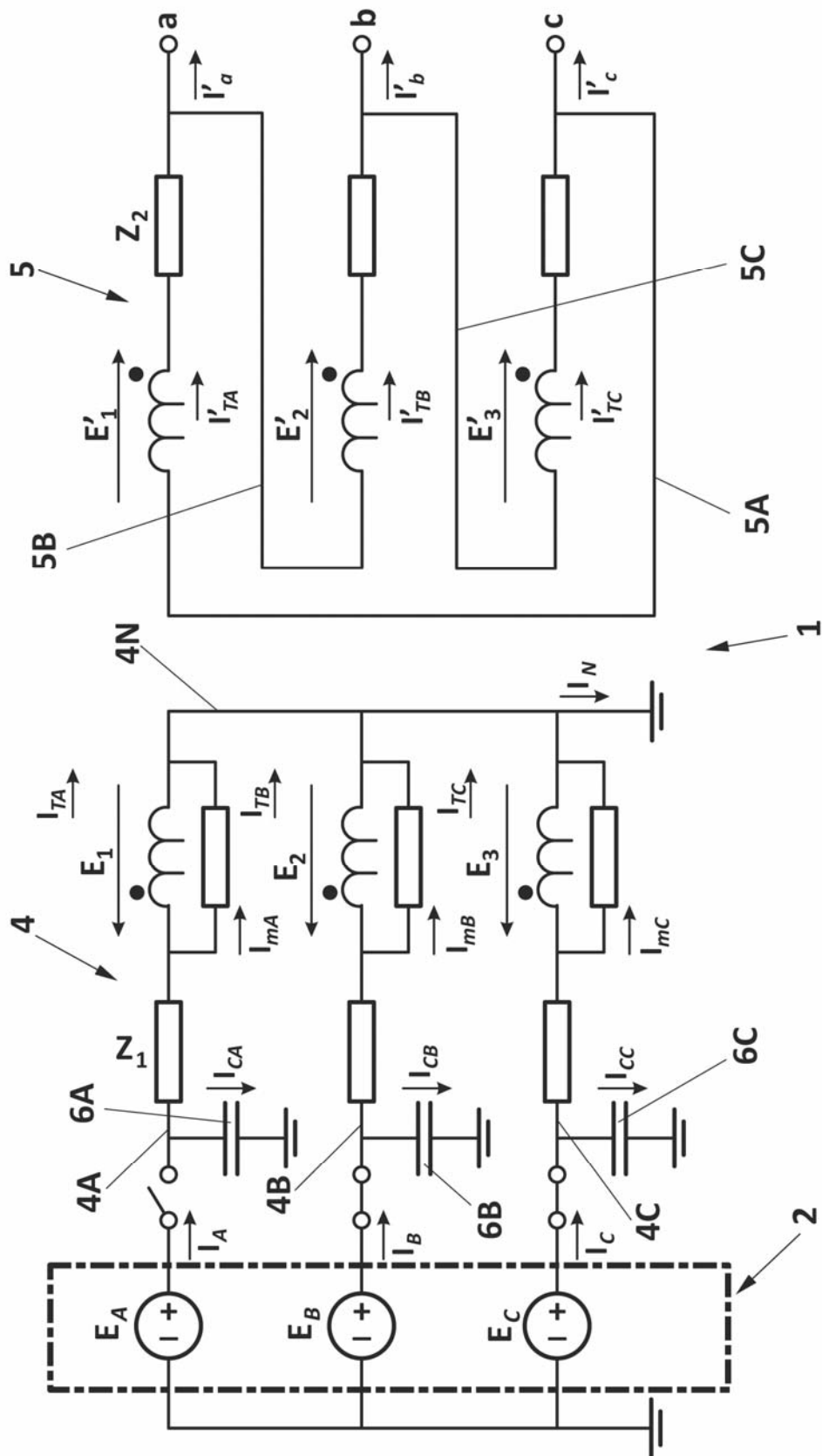


FIG. 3

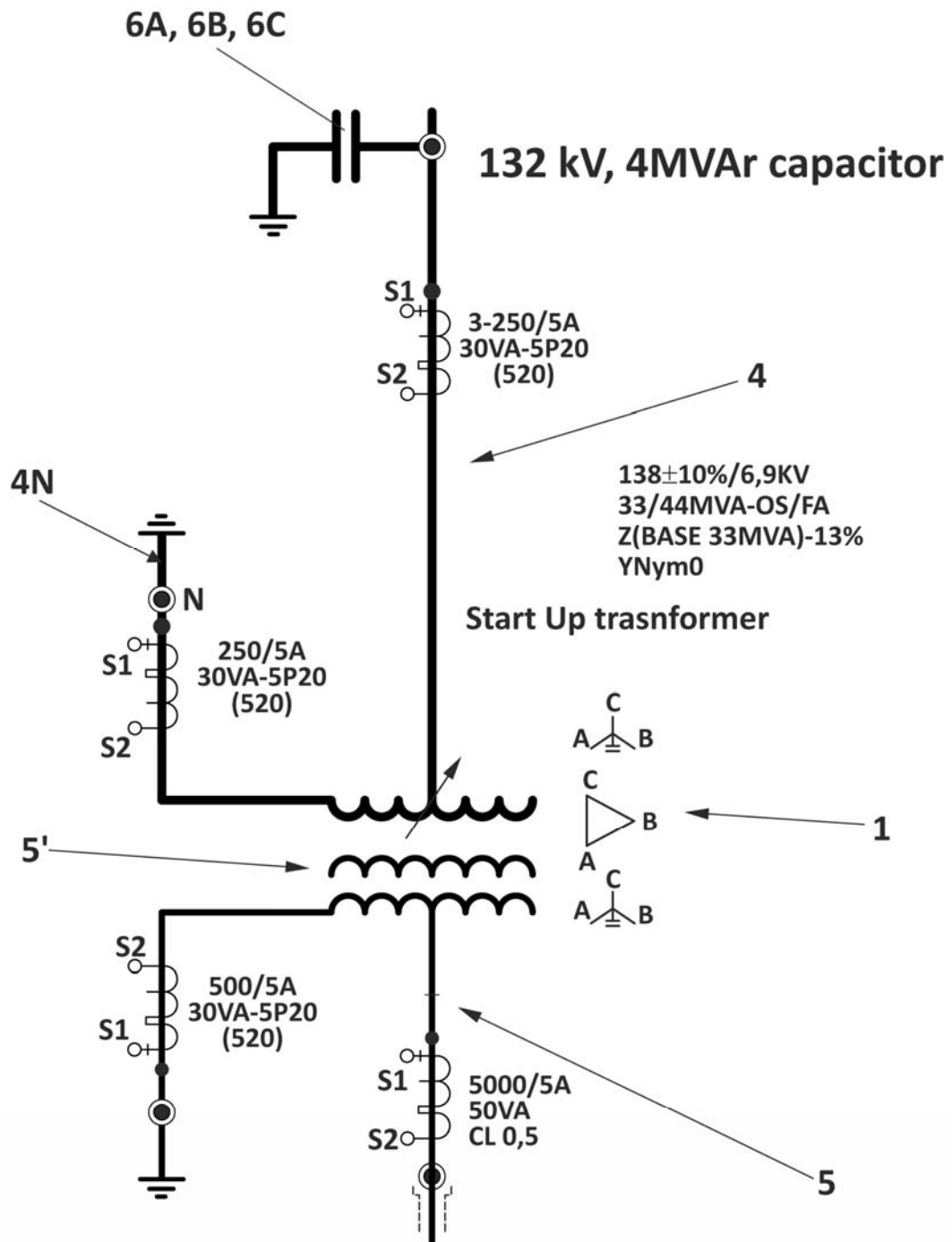


FIG. 4