

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
5. Juni 2014 (05.06.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2014/082766 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
*H02P 29/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/068385

(22) Internationales Anmeldedatum:  
5. September 2013 (05.09.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2012 221 989.7  
30. November 2012 (30.11.2012) DE

(71) Anmelder: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**  
[DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: **HILLER, Martin**; Hinter dem Dorfe 4, 99102 Rohda am Haarberg (DE). **MICHELSSON, Olaf**; Fasanengarten 2, 99310 Arnstadt (DE).

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,

DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

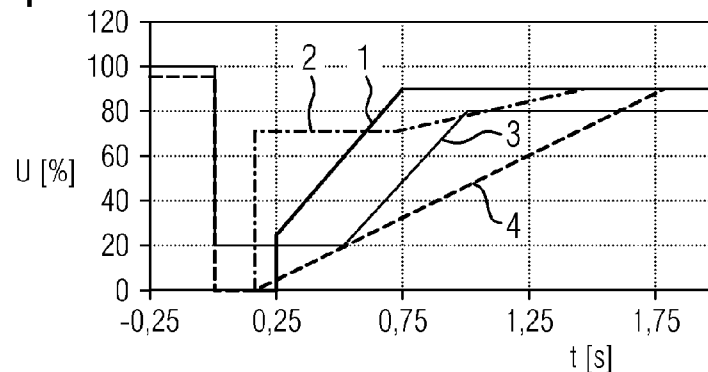
**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) **Title:** DEVICE AND METHOD FOR INCREASING FAULT CLEARING TIME

(54) **Bezeichnung:** VORRICHTUNG UND VERFAHREN ZUR VERLÄNGERUNG DER FEHLERKLÄRUNGSZEIT

FIG 1



(57) **Abstract:** The invention relates to a device for increasing fault clearing time, with load resistors (14, 18, 21) connectable in the event of a fault, the turbine power transmitted to the shaft being electrically absorbed by the generator (5) and converted into heat until the grid comes back online.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Verlängerung der Fehlerklärungszeit, wobei im Fehlerfall zuschaltbare Belastungswiderstände (14, 18, 21), die in die Welle eingepreßte Turbinenleistung bis zur Netzurückkehr vom Generator (5) elektrisch abgenommen wird und in Wärme umgesetzt wird.

WO 2014/082766 A2

Beschreibung

Vorrichtung und Verfahren zur Verlängerung der Fehlerklärungszeit

5

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Verlängerung der Fehlerklärungszeit sowie ein Verfahren zur Verlängerung der Fehlerklärungszeit.

10

Durch den starken Zuwachs regenerativer Energieerzeuger in den Versorgungsnetzen gibt es stetig steigende Minimalanforderungen der Netzbetreiber an alle Einspeiseeinheiten hinsichtlich der Stabilität und Versorgungssicherheit. Dazu gibt es Grid-Codes, die ein einheitliches Vorgehen fordern. So werden beispielsweise im finnischen Grid-Code „Fin-Grid“ Fehlerklärungszeiten von 250ms bei Null p.u. Restspannungen gefordert, die für einige Generatoren, insbesondere Synchron-Generatoren, ohne Zusatzmaßnahmen zum Fall in Asynchronität und damit zu einer bedingten Neusynchronisation nach Netzspannungswiederkehr zur Folge hat. Die Abbildung 1 zeigt mehrere Grid-Code-Forderungen. So ist die vorgenannte „Fin-Grid“ mit dem Bezugszeichen 1 versehen. Weitere Grid-Code-Forderungen sind hier beispielhaft dargestellt für E.on 2, REE Spanien 3 sowie WECC Nordamerika 4.

25

Der Vorgang der Neusynchronisation nach Netzspannungswiederkehr kann einige Minuten in Anspruch nehmen, während derer die Kraftwerksleistung für das Netz nicht verfügbar ist. Dies kann vor allem bei Ausfall von größeren Kraftwerken zur Netzinstabilität und im schlimmsten Fall zu einem großflächigen Spannungsausfall führen.

30

Während des Kurzschlusses wird die durch die Turbine in den Wellenstrang eingeprägte mechanische Leistung am Generator nicht mehr abgenommen und führt somit zu einer Beschleunigung des Turbosatzes.

35

Überschreitet der Polradwinkel des Synchrongenerators einen kritischen Transientenwert, fällt dieser in Asynchronität und muss neu synchronisiert werden. In den Grid-Codes wird gefordert, dass ein Kraftwerk eine vordefinierte Fehlerklärungszeit bei einer bestimmten Restspannung auf der Transformator-  
5 oberspannseite ohne Netztrennung durchfahren können muss. Liegt diese geforderte Fehlerklärungszeit oberhalb der für den Turbosatz erzielbaren Fehlerklärungszeit, müssen Zusatzvorkehrungen getroffen werden.

10

Im Stand der Technik sind mehrere Möglichkeiten bekannt diesen Umstand zu berücksichtigen. So wird beispielsweise in der EP 1 805 887 B1 eine aktive Boost-Schaltung im Fehlerfall über Schleifringe auf einen aufgeladenen Kondensator in Reihe  
15 zur Generatorfeldwicklung geschaltet, wodurch die Feldspannung sprunghaft angehoben wird. Somit befindet sich der Generator bei Netzzurückkehr im übererregtem Bereich, wodurch sich die Stabilität des Systems Turbosatz-Netz erhöht.

20

Eine weitere Möglichkeit, die kritische Fehlerklärungszeit zu verlängern, besteht darin, dass Massenträgheitsmoment des Stranges zu erhöhen, um die Wellenbeschleunigung im Kurzschlussfall zu reduzieren.

25

Weiterhin gibt es für manche Turbinentypen die Möglichkeit, an der Dampfturbine Änderungen durchzuführen, um ein noch schnelleres Wegschalten des Wasserdampfes von den Turbinenschaufeln zu realisieren, was als Fast-Valving bezeichnet wird. Somit soll eine schnellere Reduzierung der in den Wellenstrang eingepprägten Turbinenleistung erreicht werden.  
30

35

Ebenfalls ist es bekannt bei Offshore-Windkraftanlagen ähnliche Konzepte mit Belastungswiderständen auszubilden. Jedoch werden Windparks beispielsweise über High-Voltage DC Verbindungen mit einer Onshore-Umrichteranlage verbunden, die bei einem landseitigem Kurzschluss die überschüssige Energie des Windparks in Belastungswiderstände ableiten.

Wünschenswert wäre es, eine einfache Möglichkeit für einen Turbosatz zu haben, um die Fehlerklärungszeiten im Kurzschlussfall zu verlängern.

5 An dieser Stelle setzt die Erfindung an, deren Aufgabe es ist, eine Vorrichtung und ein Verfahren zur Verlängerung der Fehlerklärungszeit anzugeben.

10 Gelöst wird dies durch eine Vorrichtung zur Verlängerung der Fehlerklärungszeit, umfassend einen elektrischen Generator, insbesondere Synchron-Generator und elektrische Lasten und einem Bauteil ausgebildet zum Erkennen eines Kurzschlussfalls, wobei die Vorrichtung derart ausgebildet ist, dass im Kurzschlussfall die elektrischen Lasten mit dem elektrischen  
15 Generator verbunden sind.

Vorteilhafterweise wird dies erfindungsgemäß erreicht, ohne mechanische Eingriffe Veränderungen am gegebenen Wellenstrang bzw. dessen Komponenten vorzunehmen.

20

In einer ersten vorteilhaften Weiterbildung sind die elektrischen Lasten als Widerstände ausgebildet. Somit wird der Gedanke verfolgt, Widerstände anzuordnen, die im Kurzschlussfall als elektrische Lasten mit dem elektrischen Generator  
25 verbunden sind und so als zuschaltbare Belastungswiderstände, die im Fehlerfall zur Wellenbeschleunigung beitragende Turbinenleistung abführen ohne den Generator vom Netz zu trennen. Dadurch wird die kritische Fehlerklärungszeit erheblich verlängert.

30

Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben. So ist in einer vorteilhaften Weiterbildung die Vorrichtung mit einem Transformator, der mit dem elektrischen Generator verbunden ist, ausgebildet, wobei die elektrischen  
35 Lasten während des Kurzschlusses parallel zum Transformator angeordnet sind.

In einer alternativen Ausführungsform ist die Vorrichtung mit elektrischen Lasten ausgebildet, wobei die elektrischen Lasten seriell zum Kurzschlusspfad im Transformatorsternpunkt auf der Hochspannungsseite angeordnet sind.

5

Ebenso ist als weitere potentielle Anwendung der zuvor benannten schaltbaren Widerstände eine deutliche Entlastung des Generatorleistungsschalters realisierbar.

10 Für die Auslegung eines Generatorleistungsschalters besteht häufig die Forderung im Falle eines Kurzschlusses denselben sobald wie möglich abzuschalten.

Der sich einstellende plötzliche Generatorkurzschluss setzt sich zusammen aus einer AC sowie einer DC Stromkomponente, die entsprechend ihrer Zeitkonstanten unterschiedlich schnell auf den stationären Kurzschlussstrom abklingen. Insbesondere die DC Komponente des Kurzschlussstromes ist dafür verantwortlich, dass der Stromverlauf erst nach einigen Millisekunden einen Stromnulldurchgang erfährt. Nach Öffnen des Leistungsschalters brennt der Schaltlichtbogen so lange, bis dieser erste Stromnulldurchgang stattfindet und der Lichtbogen erlöschen kann. In dieser Zeit kommt es im Schalter auf Grund des extrem heißen Lichtbogenplasmas zu einer erheblichen Kontaktbeanspruchung sowie thermischen Wärmeentwicklung. Es ist daher erwünscht, dass die DC Komponente des Kurzschlussstromes so schnell wie möglich abklingt.

Die Zeitkonstante (T) wird prinzipiell beschrieben über das Verhältnis der im Kurzschlusspfad liegenden Induktivität (L) sowie des im Kurzschlusspfad wirksamen Widerstandes (R). Über die Formel  $T=L/R$  wird deutlich, dass mit größer werdendem wirksamem Widerstand die Zeitkonstante herabgesetzt werden kann. Dies lässt sich wirkungsvoll durch die Einschaltung der hier beschriebenen Lastwiderstände nach Eintritt des Fehlers beschleunigen.

35

Die Aufgabe wird ebenfalls durch ein Verfahren zum Verlängern der Fehlerklärungszeit gelöst, wobei der an ein elektrisches Verbrauchernetz angeschlossene elektrische Generator im Kurz-

schlussfall mit zusätzlichen elektrischen Lasten verschaltet wird.

Die Erfindung wird nun anhand eines Ausführungsbeispiels  
5 näher erläutert. Die Figuren 2 und 3 zeigen in schematischer Weise:

- Figur 2            eine erste Ausführungsform der erfindungsgemä-  
                      ßen Vorrichtung;  
10 Figur 3            eine zweite Ausführungsform der erfindungsgemä-  
                      ßen Vorrichtung.

Die Figur 2 zeigt einen dreiphasigen elektrischen Generator 5, insbesondere Synchron-Generator, wobei am Ausgang eine  
15 erste Phase 6, eine zweite Phase 7 und eine dritte Phase 8 ausgebildet ist. Die erste 6, zweite 7 und dritte Phase 8 werden an einen Transformator 9 angeschlossen. Die Sekundär-  
seite 10 des Transformators 9 wird mit einem elektrischen  
Netz 11 verbunden. In der ersten Phase 6 ist eine erste Ab-  
20 leitung 12 vorgesehen, an die ein erster Schalter 13 und elektrischer Lasten 14 mit Erde 15 verbunden ist. Die zweite  
Phase 7 umfasst eine zweite Ableitung 16 und eine an die  
zweite Ableitung 16 angeschlossenen zweiten Schalter 17 und  
einen mit Erde 15 verbundene Last 18. Die dritte Phase 8 um-  
25 fasst eine dritte Abzweigung 19 und entsprechend einen drit-  
ten Schalter 20 und einen Last 21, der wiederum mit Erde 15  
verbunden ist.

Die Phasen 6, 7 und 8 werden dabei über den Generatorschalter  
30 25 mit dem Transformator 9 verbunden.

Die Figur 3 zeigt eine alternative Ausführungsform der Erfin-  
dung. Der Unterschied zur Figur 2 besteht darin, dass die  
Lasten 14, 18 und 21 sich seriell zum Kurzschlusspfad im  
35 Transformatorsternpunkt auf der Hochspannungsseite befinden.  
Parallel zu den Lasten 14, 18 und 21 ist jeweils ein Schalter  
22, 23 und 24 angeordnet.

Der elektrische Generator 5 wird über eine Turbine (nicht dargestellt) angetrieben. Im Fehlerfall wird die in die Welle eingeprägte Turbinenleistung bis zur Netzurückkehr vom Generator 5 über zuschaltbare Lasten 14, 18, 21 zugeschaltet und in Wärme umgesetzt. Mit anderen Worten: im Fehlerfall wird über zuschaltbare Lasten 14, 18 und 21 die in die Welle eingeprägte Turbinenleistung bis zur Netzurückkehr vom Generator 5 elektrisch abgenommen und in Wärme umgesetzt. Während der Fehlerzeit bleibt der elektrische Generator 5 mit dem elektrischen Netz 11 verbunden. Eine Netzneusynchronisierung entfällt somit und es kann eine höhere Kraftwerksverfügbarkeit erzielt werden. Die für den jeweiligen Strang kritische Fehlerklärungszeit  $T_{Ku}$  ohne zusätzliche Lasten lässt sich allgemein entsprechen folgender Formel analytisch bestimmen:

15

$$T_{Ku} = \sqrt{\frac{2 \cdot \omega_0 \cdot J}{P_T} \cdot (\delta'_{Ku} - \delta'_0)}$$

Dabei bedeuten

- 20  $\omega_0$  Nennkreisfrequenz  
 $J$  Massenträgheitsmoment des Gesamtstranges  
 $\delta'_{Ku}$  maximaler transienter Spannungswinkel zum Erhalt der Stabilität des Turbosatzes  
 $\delta'_0$  transienter Spannungswinkel vor Kurzschlusseintritt  
 25  $P_T$  Turbinenleistung

Die Lasten 14, 18 und 21, die als elektrische Widerstände ausgebildet sein können, führen die im Fehlerfall zur Wellenbeschleunigung beitragende Turbinenleistung ab, wodurch die kritische Fehlerklärungszeit erheblich verlängert und dadurch zu einer Vergrößerung der Transientenstabilität des elektrischen Generators 5, insbesondere Synchron-Generators über im Kurzschlussfall zuschaltbare Belastungswiderstände 14, 18 und 21. Die in Figur 2 dargestellten Lastwiderstände 14, 18 und 21 liegen parallel zum Transformator 9 auf der Transformator-Unterspannungsseite, um die im Kurzschlussfall vorhandene Kurzschlussrestspannung über der Transformatorlängsimpedanz

zu nutzen. Die zusätzliche Verwendung von einstellbaren Reaktanzen kann die Reaktivität der Schaltung sogar noch verbessern.

5 Die Figur 2 zeigt die Topologie zu dieser ersten Ausführungsform der Erfindung.

Die Topologie der zweiten Ausführungsform wird in der Figur 3  
10 gezeigt. Die Lastwiderstände 14, 18 und 21 befinden sich seriell zum Kurzschlusspfad im Transformatorsternpunkt auf der Hochspannungsseite. Sie werden durch Öffnen der parallelen Schalter 22, 23, 24 in den Kurzschluss geschaltet.

Somit wird vorteilhafter Weise die kritische Fehlerklärungszeit für elektrische Generatoren 5 im Fehlerfall erhöht und  
15 zwar sowohl auf der Transformatorunterspannungs- sowie der Transformatoroberspannungsseite. Eine Erweiterung der Schaltungstopologie mit schaltbaren bzw. einstellbaren Reaktanzen kann die Fehlerklärungszeit noch weiter erhöhen.

20

Erfindungsgemäß kann somit die kritische Fehlerklärungszeit erheblich gesteigert werden ohne konstruktionstechnische Änderungen an Turbine und Generator 5 vornehmen zu müssen, was  
25 zu einer kostengünstigen Maßnahme der hier dargestellten Erfindung führt. Außerdem ist keine Netztrennung während des zeitlich begrenzten Kurzschlusses erforderlich, so dass eine permanente Verfügbarkeit des elektrischen Generators 5 ohne Neusynchronisation realisierbar ist.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Verlängerung der Fehlerklärungszeit um-  
5 fassend  
einen elektrischen Generator (5), insbesondere Synchron-  
Generator und  
elektrische Lasten (14, 18, 21) und  
einem Bauteil ausgebildet zum Erkennen eines Kurzschluss-  
10 falls,  
wobei die Vorrichtung derart ausgebildet ist, dass im Kurz-  
schlussfall die elektrischen Lasten (14, 18, 21) mit dem  
elektrischen Generator (5) verbunden sind.
- 15 2. Vorrichtung nach Anspruch 1,  
wobei die elektrischen Lasten als Lastwiderstände ausgebil-  
det sind.
3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,  
20 mit einem Transformator (9), der mit dem elektrischen Gene-  
rator (5) verbunden ist,  
wobei die elektrischen Lasten (14, 18, 21) parallel zum  
Transformator (9) geschaltet sind.
- 25 4. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2,  
mit einem Transformator (9), der mit dem elektrischen Gene-  
rator (5) verbunden ist,  
wobei die elektrischen Lasten (14, 18, 21) seriell zum  
Kurzschlusspfad im Transformatorsternpunkt auf der Hoch-  
30 spannungsseite angeordnet sind.
5. Vorrichtung nach Anspruch 4,  
wobei die elektrischen Lasten (14, 18, 21) mit parallel an-  
geordneten Schaltern (22, 23, 24) ausgebildet sind und im  
35 Kurzschlussfall die Schalter geöffnet werden.

6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei der elektrische Generator (5), insbesondere Synchron-Generator dreiphasig ausgebildet ist.
- 5 7. Verfahren zum Verlängern der Fehlerklärungszeit bei einem elektrischen Generator (5), insbesondere Synchron-Generator der an ein elektrisches Verbrauchernetz (11) angeschlossen ist, wobei im Kurzschlussfall zusätzliche elektrische Lasten  
10 (14, 18, 21) zugeschaltet werden.
8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die elektrischen Lasten (14, 18, 21) als Lastwiderstände ausgebildet werden.  
15
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei die elektrische Lasten (14, 18, 21) parallel zu einem an den elektrischen Generator (5), insbesondere Synchron-Generator angeschlossenen Transformator (9) liegen.  
20
10. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, wobei die elektrischen Lasten (14, 18, 21) seriell zum Kurzschlusspfad im Transformatorsternpunkt angeordnet werden und im Kurzschlussfall parallel zu den elektrischen  
25 Lasten (14, 18, 21) angeordnete Schalter geöffnet werden.

FIG 1

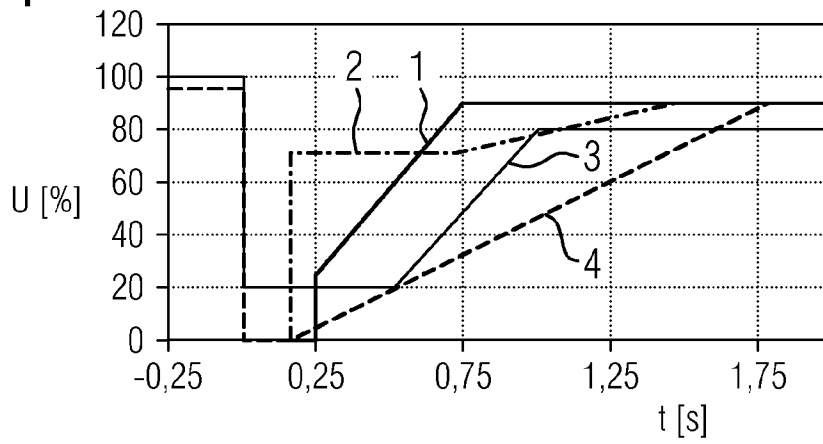


FIG 2

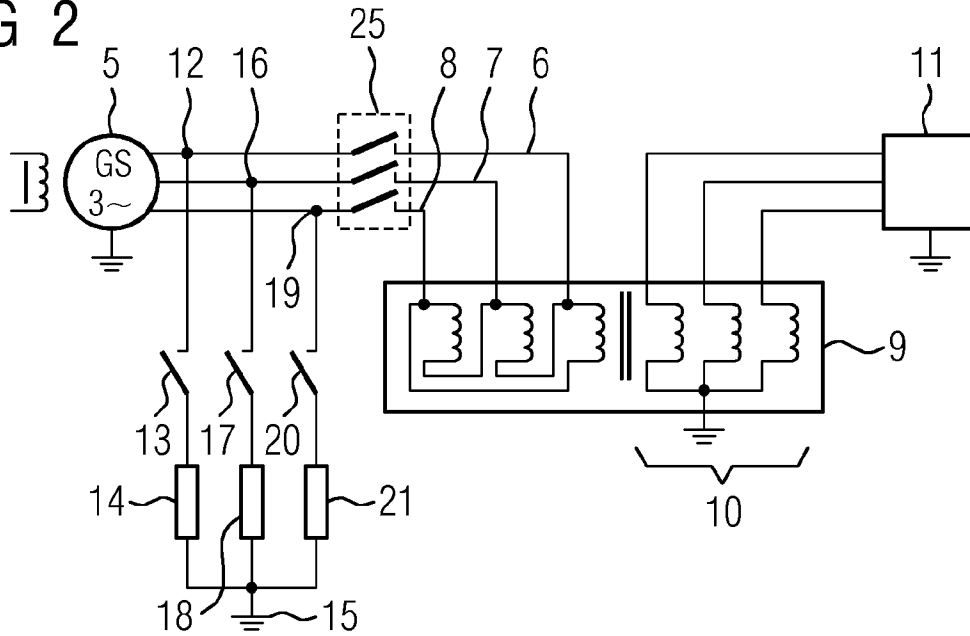


FIG 3

