(19) österreichisches patentamt

(10) **AT 513480 B1 2014-10-15**

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50401/2012
(22) Anmeldetag: 19.09.2012
(45) Veröffentlicht am: 15.10.2014

(51) Int. Cl.: ***H02P 9/00*** (2006.01)
H02P 9/10 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
JP S602100 A
JP 2005160258 A
JP S63294298 A
EP 2288017 A1
GB 1285875 A

(73) Patentinhaber:
SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
80333 MÜNCHEN (DE)

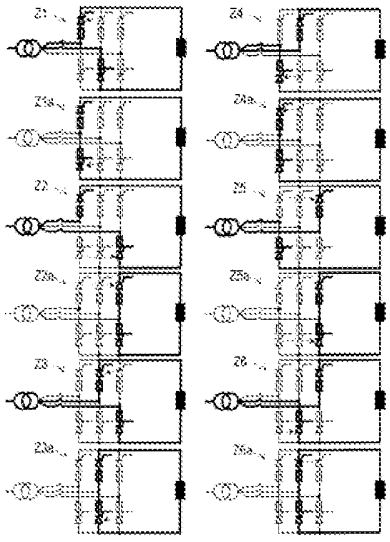
(72) Erfinder:
Damec Vladislav Dipl.Ing.
69143 Hlohovec (CZ)

(74) Vertreter:
PEHAM A. DIPL.ING.
1210 WIEN (AT)

(54) **Ansteuerungsverfahren einer Erregereinrichtung**

(57) Die Erfindung betrifft ein Ansteuerungsverfahren einer Erregereinrichtung zur Versorgung einer Feldwicklung (22) eines Synchrongenerators, wobei die Erregereinrichtung einen Gleichstromrichter mit mehreren Halbleiterventilen (5, 7, 9, 11, 13, 15) umfasst und wobei die Halbleiterventile (5, 7, 9, 11, 13, 15) in einer vorgegebenen Reihenfolge gezündet werden, um die Feldwicklung (22) in aufeinanderfolgenden Schaltzuständen (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6) an unterschiedliche Phasen eines speisenden Netzes zu schalten. Dabei wird nach jedem Schaltzustand mit angeschaltetem Netz (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6) in einem Zwischenschaltzustand (Z1a, Z2a, Z3a, Z4a, Z5a, Z6a) die Feldwicklung (22) kurzgeschlossen. Während eines Zwischenschaltzustands (Z1a, Z2a, Z3a, Z4a, Z5a, Z6a) entfallen die Verluste, die infolge eines Stromflusses in das speisende Netz verursacht werden, beispielsweise durch einen Einspeisetransformator (1).

Fig. 5



AT 513480 B1 2014-10-15

Beschreibung

ANSTEURUNGSVERFAHREN EINER ERREGEREINRICHTUNG

[0001] Die Erfindung betrifft ein Ansteuerungsverfahren einer Erregereinrichtung zur Versorgung einer Feldwicklung eines Synchrongenerators, wobei die Erregereinrichtung einen Gleichstromrichter mit mehreren Halbleiterventilen umfasst und wobei die Halbleiterventile in einer vorgegebenen Reihenfolge gezündet werden, um die Feldwicklung in aufeinanderfolgenden Schaltzuständen an unterschiedliche Phasen eines speisenden Netzes zu schalten. Darüber hinaus betrifft die Erfindung eine Erregereinrichtung mit einer Steuerung zur Ausführung des Verfahrens.

[0002] Erregereinrichtungen werden in der Regel mittels eines Drehstromnetzes gespeist. Als Leistungskreis ist beispielsweise ein Gleichstromrichter über einen Einspeisetransformator sowie über Einspeiseleistungsschalter und Strangsicherungen an das speisende Netz geschaltet (Fig. 1). Es können auch mehrere Gleichstromrichter parallel geschaltet sein, um eine Leistungserhöhung zu erzielen.

[0003] Der Gleichstromrichter umfasst im Falle eines Drehstromnetzes sechs Zweige mit jeweils einem Halbleiterventil (z.B. Thyristor). Es handelt sich um eine sogenannte 6-pulsige Schaltung. Die Halbleiterventile werden dabei mittels eines Steuersatzes in einer bestimmten Reihenfolge gezündet, wobei die Ausgangsspannung des Gleichstromrichters durch Vorgabe eines Steuerwinkels eingestellt wird. Die Ansteuerung der Halbleiterventile erfolgt dabei mit verzögerten Zündimpulsen.

[0004] Durch die Zündung eines Halbleiterventils geht ein Steuerzustand in einen nächsten Steuerzustand über. Dabei kommutiert ein Laststrom von einem bereits leitenden Halbleiterventil zum eben gezündeten Halbleiterventil. In jedem Betriebszustand fließt der Laststrom durch den Einspeiseleistungsschalter und den Einspeisetransformator zu einer Blindleistungsquelle oder mehreren Blindleistungsquellen im speisenden Netz. Dabei verursacht der elektrische Strom Leistungsverluste.

[0005] Die JP S602100 A beschreibt eine Erregereinrichtung mit einer Thyristorbrücke. Mittels eines Pulsphasenschiebers werden Impulssignale zur Zündung einzelner Thyristoren in Abhängigkeit einer Abweichung zwischen einer Generatorspannung und einem vorgegebenen Spannungswert angepasst.

[0006] Eine Erregereinrichtung mit einer Thyristorbrücke und einer Entladungsschaltung ist in der JP 2005160258 A offenbart.

[0007] Auch die JP S63294298 A zeigt eine Thyristorbrücke mit Entladungsschaltung. Diese wird aktiviert, wenn eine Spannung an einer Feldwicklung einen eingestellten Wert übersteigt.

[0008] Eine in der EP 2288017 A1 beschriebene Erregereinrichtung umfasst eine aufgeladene Kapazität, die mittels eines Schalters an einer Thyristorbrücke angeschaltet ist. Fällt eine Netzspannung, welcher zur Versorgung der Erregereinrichtung dient, unter einen vorgegebenen Spannungswert, wird die Kapazität zur Überbrückung in den Erregerkreis zugeschaltet.

[0009] Die GB 1285875 A zeigt eine Erregereinrichtung mit einer Steuerung, welche einen Generator laufend überwacht und bei einer Fehlfunktion die Zündwinkel einer Thyristorbrücke anpasst.

[0010] Erregereinrichtungen werden beispielsweise zum Betreiben von Kraftwerksgeneratoren benötigt. Dabei handelt es sich um statische Erreger, bei welchen die Energie für die Erregung des Generators über ein Gleichstromrichtersystem geführt wird. Der Gleichstromrichter wird entweder aus einer Ableitung des Generators oder aus einem Eigenbedarfsverteiler des Kraftwerkes gespeist. Die Leistung der statischen Erregereinrichtung beträgt etwa 1% der Generatorleistung für Generatoren im Bereich von ca. 100 MVA aufwärts. Gemeinsam mit dem dazugehörigen Generator befindet sich die Erregereinrichtung bis auf Wartungszeiten und derglei-

chen im Dauerbetrieb.

[0011] Solche Erregereinrichtungen sind typischerweise mit einem Deckenspannungsfaktor zwischen 1,8 bis 2, 5 ausgelegt. Dieser gibt die maximal mögliche DC-Spannung im Verhältnis zur tatsächlichen DC-Nennspannung an und kennzeichnet eine Systemreserve, welche die Regelungsdynamik des Erregersystems bestimmt.

[0012] Innerhalb der Deckenspannungsreserve ergibt sich für den Gleichstromrichter ein typischer Arbeitspunkt, bei dem der Zündwinkel unter normalen Umständen zwischen 55 Grad und 70 Grad liegt. Je größer der Deckenspannungsreserve ist, desto größer ist der typische Zündwinkel.

[0013] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, für ein Ansteuerungsverfahren der eingangs genannten Art eine Verbesserung gegenüber dem Stand der Technik anzugeben. Dabei soll auch eine Erregereinrichtung zur Durchführung des Verfahrens beschrieben werden.

[0014] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe gelöst durch ein Verfahren gemäß Anspruch 1 und eine Erregereinrichtung gemäß Anspruch 5. Abhängige Ansprüche sind auf verbesserte Ausprägungen der Erfindung gerichtet.

[0015] Dabei ist vorgesehen, dass nach jedem Schaltzustand mit angeschaltetem Netz in einem Zwischenschaltzustand die Feldwicklung kurzgeschlossen wird. In dem jeweiligen Zwischenschaltzustand fließt demnach kein Strom ins speisende Netz sondern nur über den Gleichstromrichter. Dadurch verhält sich die Schaltung als Halbgesteuerter Gleichstromrichter. Während eines Zwischenschaltzustands entfallen die Verluste, die infolge eines Stromflusses in das speisende Netz verursacht werden, beispielsweise durch einen Einspeisetransformator. Ohne konstruktiven Aufwand wird auf diese Weise der Wirkungsgrad des Systems verbessern. Vor allem im Kraftwerksbereich treten hohe Leistungen auf, die auch geringe Wirkungsgradverbesserungen erstrebenswert machen, insbesondere bei höheren Deckenspannungsfaktoren, welche bei schlechter Netzqualität erforderlich sind.

[0016] In einer Ausprägung der Erfindung ist vorgesehen, dass in einem jeweiligen Zwischenschaltzustand dasjenige Halbleiterventil gezündet wird, welches in Serie liegt mit der Feldwicklung und demjenigen Halbleiterventil, welches vor und nach dem jeweiligen Zwischenschaltzustand leitend ist. Während einer Abfolge eines Schaltzustands mit angeschaltetem Netz, eines anschließenden Zwischenschaltzustands ohne angeschaltetes Netz und eines darauffolgenden Schaltzustandes mit angeschaltetem Netz ist immer ein und dasselbe Halbleiterventil leitend. Nur das jeweils andere Halbleiterventil, durch das während dieser drei Zustände Strom fließt, ändert sich. Das zuletzt leitende Halbleiterventil bleibt dann für den nächsten Zwischenschaltzustand und den darauffolgenden Schaltzustand mit angeschaltetem Netz leitend. Diese Abfolge setzt sich fort, bis eine Arbeitsperiode beendet ist und eine neue Periode beginnt.

[0017] Dabei ist es von Vorteil, wenn während eines Schaltzustands mit angeschaltetem Netz ein Phasenstrom des Netzes erfasst wird und wenn das Halbleiterventil zur Einleitung eines Zwischenschaltzustands gezündet wird, sobald der erfasste Phasenstrom gegen Null geht. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass der jeweilige Zwischenschaltzustand beginnt, wenn kein Strom ins speisende Netz fließt.

[0018] Von Vorteil ist es des Weiteren, wenn jeder Schaltzustand mit angeschaltetem Netz mit einem Zündwinkel zwischen 60 Grad und 90 Grad eingeleitet wird. Bei einer Erregereinrichtung, die mit einem Zündwinkel in diesem Bereich arbeitet, können beispielsweise Kupferverluste in einem Einspeisetransformator gegenüber einer herkömmlichen Ansteuerung auf etwa 3/4 bis 2/3 reduziert werden.

[0019] Bei einer erfindungsgemäßen Erregereinrichtung zur Versorgung einer Feldwicklung eines Synchrongenerators ist der Gleichstromrichter als sechspulsige Schaltung mit sechs Halbleiterventilen ausgeführt, wobei jedes Halbleiterventil mittels einer Steuerung angesteuert ist, welche zur Durchführung eines zuvor genannten Verfahrens eingerichtet ist.

[0020] Dabei ist es von Vorteil, wenn der Gleichstromrichter über einen Einspeisetransformator

an das speisende Netz angeschaltet ist. Weil ein Stromflusses über den Einspeisetransformator ins speisende Netz während eines Zwischenschaltzustands unterbleibt, erwärmt sich der Einspeisetransformator weniger. Dies führt zu einer verlängerten Lebensdauer und besseren Verfügbarkeit des Einspeisetransformators sowie zu einer Reduktion des Kühlaufwands.

[0021] In einer Weiterbildung ist parallel zum Gleichstromrichter ein Entregungszweig angeordnet und der Entregungszweig ist mittels der Steuerung angesteuert. Günstigerweise umfasst der Entregungszweig zwei antiparallele Halbleiterventile und einen dazu in Serie geschalteten Entregungswiderstand.

[0022] Dabei kann auch vorgesehen sein, dass zwischen dem Gleichstromrichter und dem Entregungszweig zumindest ein DC- Entregungsschalter angeordnet ist, welcher mittels der Steuerung angesteuert ist.

[0023] Die Steuerung zur erfindungsgemäßen Ansteuerung des Gleichstromrichters wird somit auf einfache Weise auch für weitere Schaltvorgänge der Erregereinrichtung genutzt.

[0024] Vorteilhafterweise liegt die Leistung des Gleichstromrichters zwischen 0,5 MVA und 5 MVA. In diesem Bereich kann elektrische Energie mittels eines vollgesteuerten Gleichstromrichters am effizientesten übertragen werden.

[0025] Die Erfindung wird anhand nicht einschränkender Beispiele mit Bezug auf schematische Figuren erläutert.

[0026] Fig. 1 Leistungskreis einer Erregereinrichtung mit 6- pulsigem Gleichstromrichter

[0027] Fig. 2 Schaltzustände eines Leistungskreises gemäß Fig. 1 mit einer Ansteuerung nach dem Stand der Technik

[0028] Fig. 3 Ausgangsspannungsverlauf mit einer Ansteuerung nach dem Stand der Technik

[0029] Fig. 4 Verlauf der Netzströme mit einer Ansteuerung nach dem Stand der Technik

[0030] Fig. 5 Schaltzustände eines Leistungskreises gemäß Fig. 1 mit modifiziertem Ansteuerungsverfahren

[0031] Fig. 6 Ausgangsspannungsverlauf mit modifiziertem Ansteuerungsverfahren

[0032] Fig. 7 Verlauf der Netzströme mit modifiziertem Ansteuerungsverfahren

[0033] Der in Fig. 1 dargestellte Leistungskreis umfasst einen Gleichstromrichter mit sechs Halbleiterventilen 5, 7, 9, 11, 13, 15. Zu jedem Halbleiterventil 5, 7, 9, 11, 13, 15 ist eine optionale Zweigsicherung 4, 6, 8, 10, 12, 14 in Serie geschaltet. Die sechs Halbleiterventile 5, 7, 9, 11, 13, 15 sind in einer Brückenanordnung einerseits mit einem speisenden Drehstromnetz und andererseits mit einer Feldwicklung 22 verbunden. Die Verbindung mit dem speisenden Netz erfolgt dabei über einen Einspeisetransformator 1, einen Einspeiseleistungsschalter 2 und optional über Strangsicherungen 3.

[0034] In der Verbindung mit der Feldwicklung 22 ist ein Entregungszweig angeordnet. Dieser umfasst als DC- Überspannungsschutz zwei antiparallel geschaltete Halbleiterventile 19, 20, welche in Serie mit einem Entregungswiderstand 21 angeordnet sind. Zwischen Entregungszweig und Gleichstromrichter sind zwei DC- Entregungsschalter 17, 18 geschaltet.

[0035] Fig. 2 zeigt die bekannten Schaltzustände Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6, die bei einem herkömmlichen Ansteuerungsverfahren auftreten. Die Reihenfolge der Schaltzustände Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6 ist umkehrbar, um die Drehfeldrichtung zu ändern. Der Übergang zwischen zwei Schaltzuständen Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6 wird durch Zündung eines Halbleiterventils 5, 7, 9, 11, 13, 15 hervorgerufen. In der Fig. 2 ist die Kommutierung von einem Halbleiterventil 5, 7, 9, 11, 13, 15 zum nächsten mittels eines Pfeils dargestellt. In allen Schaltzuständen Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6 fließt Strom in das speisende Netz. Diese Schaltzustände Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6 werden deshalb als Schaltzustände Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6 mit angeschaltetem Netz bezeichnet. Der Stromfluss ist mittels einer dicken Linie dargestellt.

[0036] In Fig. 3 ist die Ausgangsspannung Ua des Gleichstromrichters über der Zeit t dargestellt. Pro Arbeitsperiode sind sechs Zündimpulse vorgesehen. Jeder Zündimpuls bewirkt, dass ein Halbleiterventil 5, 7, 9, 11, 13, 15 leitend wird und der Spannungsverlauf auf die nächstliegende Phase der Netzspannung übergeht. Somit gliedert sich der Verlauf der Ausgangsspannung Ua pro Arbeitsperiode in sechs Kommutierungen mit dazwischen liegenden Abschnittesverläufen UZ1, UZ2, UZ3, UZ4, UZ5, UZ6 entsprechend den jeweils angeschalteten Phasen des speisenden Netzes. Die Spannungsverläufe der Netzphasen sind dabei mit dünnen Hilfslinien dargestellt.

[0037] Einen entsprechenden Verlauf der Netzströme zeigt Fig. 4. In jedem Schaltzustand Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6 fließt durch zwei Phasen des eingangseitigen Netzes ein Phasenstrom Iu, Iv, Iw und verursacht Verluste im Einspeisetransformator 1 und sonstigen netzseitige Komponenten.

[0038] Um diese Verluste zu reduzieren wird der Gleichstromrichter erfindungsgemäß mit einem modifizierten Verfahren angesteuert. Eine solche Ansteuerung für eine beispielhafte Anordnung gemäß Fig. 1 wird anhand der Figuren 5-7 erläutert.

[0039] In Fig. 5 beginnt eine Arbeitsperiode wieder mit einem Schaltzustand Z1 mit angeschaltetem Netz. Während dieses Schaltzustands Z1 fließt Strom über die leitenden Halbleiterventile 5, 13 ins speisende Netz. Bevor der Strom auf die nächste Phase des Netzes kommutiert, wird erfindungsgemäß ein Zwischenschaltzustand Z1a hervorgerufen. Dabei wird das Halbleiterventil 10 gezündet, welches gemeinsam mit einem bereits leitenden Halbleiterventil 4 in Serie mit der Feldwicklung 22 liegt. Auf diese Weise wird die Feldwicklung 22 kurzgeschlossen und der Stromfluss ins Netz unterbrochen. Vorteilhafterweise ist die Zündreihenfolge so vorgegeben, dass dasselbe Halbleiterventil 5 über drei aufeinanderfolgende Schaltzustände Z1, Z1a, Z2 hinweg leitend bleibt. Im letzten Schaltzustand Z2 dieser Dreierabfolge übernimmt dann jenes Halbleiterventil 15 diese Rolle, welches ebenfalls gerade leitend ist. In der gleichen Weise geschieht die Abfolge der weiteren Schaltzustände mit angeschaltetem Netz Z3, Z4, Z5, Z6 und der dazwischen auftretenden Zwischenschaltzustände Z2a, Z3a, Z4a, Z5a, Z6a durch Zündung des jeweiligen Halbleiterventils 5, 7, 9, 11, 13, 15. Die Kommutierung von einem Halbeiterventil 5, 7, 9, 11, 13, 15 zum nächsten ist in Fig. 5 wieder mit Pfeilen dargestellt.

[0040] Die Zwischenschaltzustände Z1a, Z2a, Z3a, Z4a, Z5a, Z6a bewirken im Verlauf der Ausgangsspannung Ua vor jeder Kommutierung einen jeweiligen Abschnitt UZ1a, UZ2a, UZ3a, UZ4a, UZ5a, UZ6a mit einer Ausgangsspannung Ua gleich Null (Fig. 6). Während dieser Abschnitte UZ1a, UZ2a, UZ3a, UZ4a, UZ5a, UZ6a fließt kein Strom ins speisende Netz. Das Netz ist also nicht angeschaltet.

[0041] Auch im Verlauf der Netzströme in Fig. 7 zeigt sich, dass während der Zwischenschaltzustände Z1a, Z2a, Z3a, Z4a, Z5a, Z6a alle Phasenströme Iu, Iv, Iw gleich Null ist. In diesen Zwischenschaltzuständen Z1a, Z2a, Z3a, Z4a, Z5a, Z6a entfallen somit die Verluste, die ansonsten netzseitig entstehen.

[0042] Das dargestellte Beispiel ist in keiner Weise limitierend.

[0043] Die erfinderische Maßnahme, nach jedem Schaltzustand mit angeschaltetem Netz Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6 einen Zwischenschaltzustand Z2a, Z3a, Z4a, Z5a, Z6a ohne Stromfluss ins speisende Netz vorzusehen, ist auch auf anders aufgebaute Erregereinrichtungen anwendbar.

Patentansprüche

1. Ansteuerungsverfahren einer Erregereinrichtung zur Versorgung einer Feldwicklung (22) eines Synchrongenerators, wobei die Erregereinrichtung einen Gleichstromrichter mit mehreren Halbleiterventilen (5, 7, 9, 11, 13, 15) umfasst und wobei die Halbleiterventile (5, 7, 9, 11, 13, 15) in einer vorgegebenen Reihenfolge gezündet werden, um die Feldwicklung (22) in aufeinanderfolgenden Schaltzuständen (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6) an unterschiedliche Phasen eines speisenden Netzes zu schalten, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach jedem Schaltzustand mit angeschaltetem Netz (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6) in einem Zwischenschaltzustand (Z1a, Z2a, Z3a, Z4a, Z5a, Z6a) die Feldwicklung (22) kurzgeschlossen wird.

2. Ansteuerungsverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einem jeweiligen Zwischenschaltzustand (Z1a, Z2a, Z3a, Z4a, Z5a, Z6a) dasjenige Halbleiterventil (5, 7, 9, 11, 13, 15) gezündet wird, welches in Serie liegt mit der Feldwicklung (22) und demjenigen Halbleiterventil (5, 7, 9, 11, 13, 15), welches vor und nach dem Zwischenschaltzustand (Z1a, Z2a, Z3a, Z4a, Z5a, Z6a) leitend ist.

3. Ansteuerverfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass während eines Schaltzustands mit angeschaltetem Netz (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6) ein Phasenstrom (Iu, Iv, Iw) des Netzes erfasst wird und dass das Halbleiterventil (5, 7, 9, 11, 13, 15) zur Einleitung eines Zwischenschaltzustands (Z1a, Z2a, Z3a, Z4a, Z5a, Z6a) gezündet wird, wenn der Phasenstrom (Iu, Iv, Iw) gegen Null geht.

4. Ansteuerverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass jeder Schaltzustand mit angeschaltetem Netz (Z1, Z2, Z3, Z4, Z5, Z6) mit einem Zündwinkel zwischen 60 Grad und 90 Grad eingeleitet wird.

5. Erregereinrichtung zur Versorgung einer Feldwicklung (22) eines Synchrongenerators, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gleichstromrichter als sechspulsige Schaltung mit sechs Halbleiterventilen (5, 7, 9, 11, 13, 15) ausgeführt ist und dass jedes Halbleiterventil (5, 7, 9, 11, 13, 15) mittels einer Steuerung angesteuert ist, welche zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4 eingerichtet ist.

6. Erregereinrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gleichstromrichter über einen Einspeisetransformator (1) an das speisende Netz angeschaltet ist.

7. Erregereinrichtung nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass parallel zum Gleichstromrichter ein Entregungszweig angeordnet ist und dass der Entregungszweig mittels der Steuerung angesteuert ist.

8. Erregereinrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Entregungszweig zwei antiparallele Halbleiterventile (19, 20) und einen dazu in Serie geschalteten Entregungswiderstand (21) umfasst.

9. Erregereinrichtung nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass zwischen dem Gleichstromrichter und dem Entregungszweig zumindest ein DC-Entregungsschalter (16, 17) angeordnet ist, welcher mittels der Steuerung angesteuert ist.

10. Erregereinrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Leistung des Gleichstromrichters zwischen 0,5 MVA und 5 MVA liegt.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

Fig. 1
(Stand der Technik)

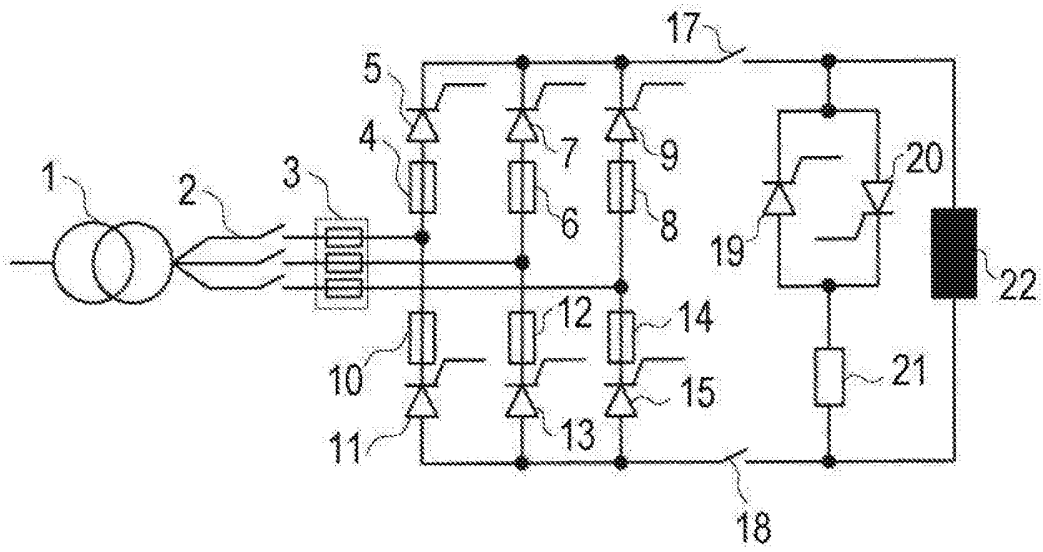


Fig. 2
(Stand der Technik)

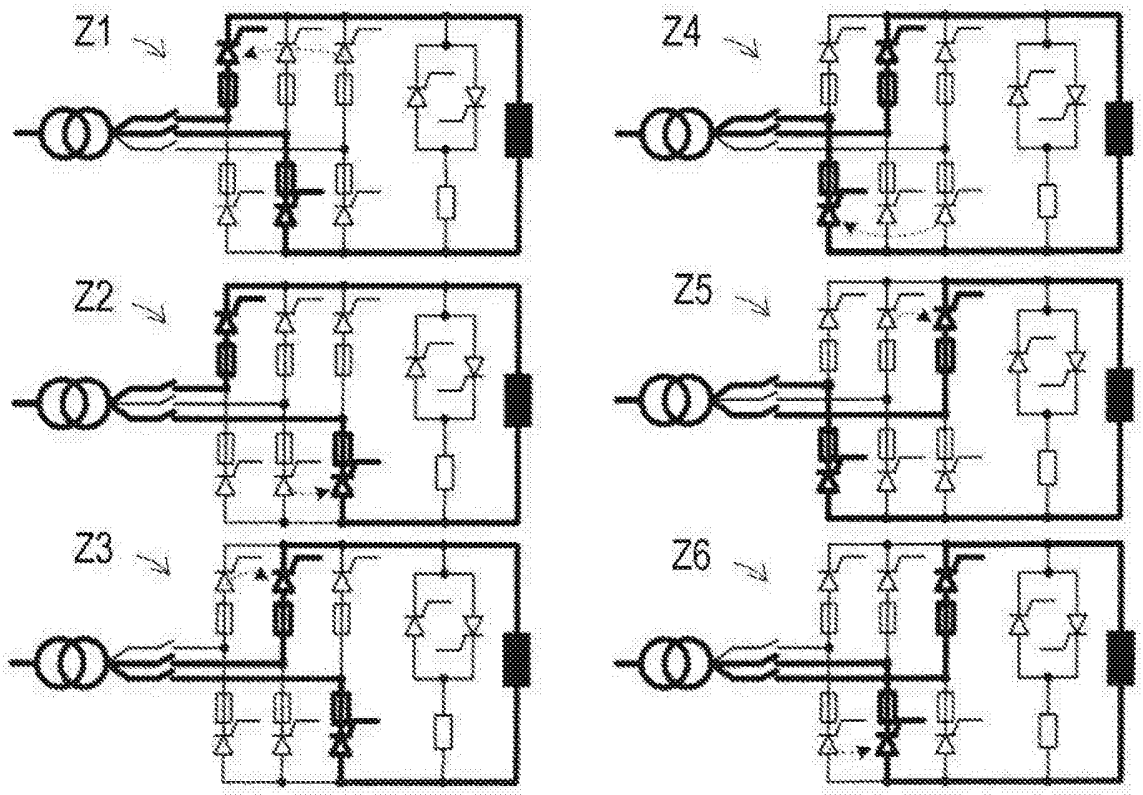


Fig. 3
(Stand der Technik)

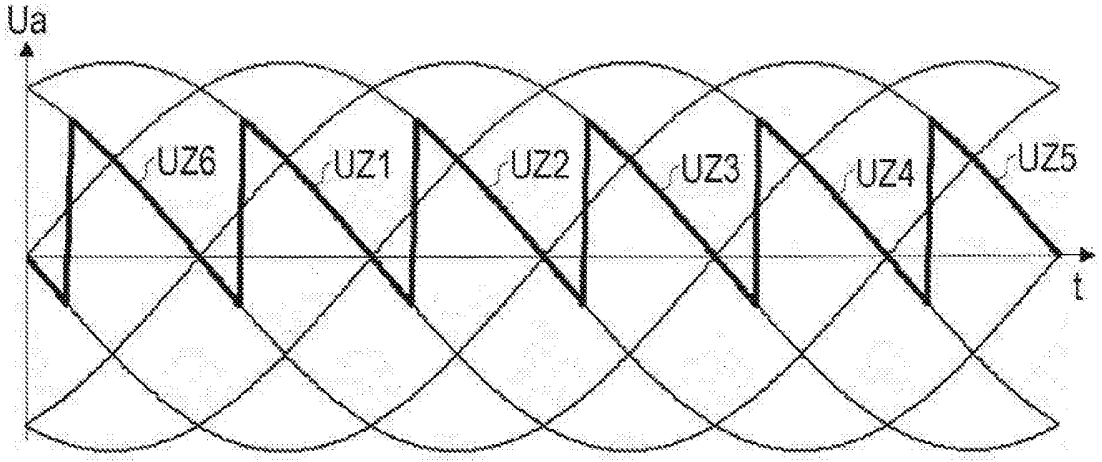


Fig. 4
(Stand der Technik)

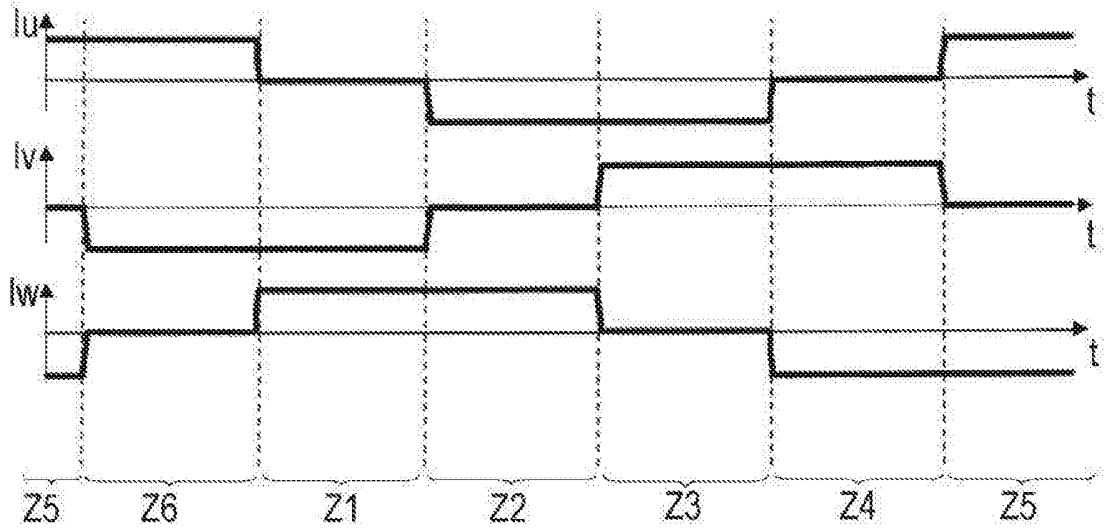


Fig. 5

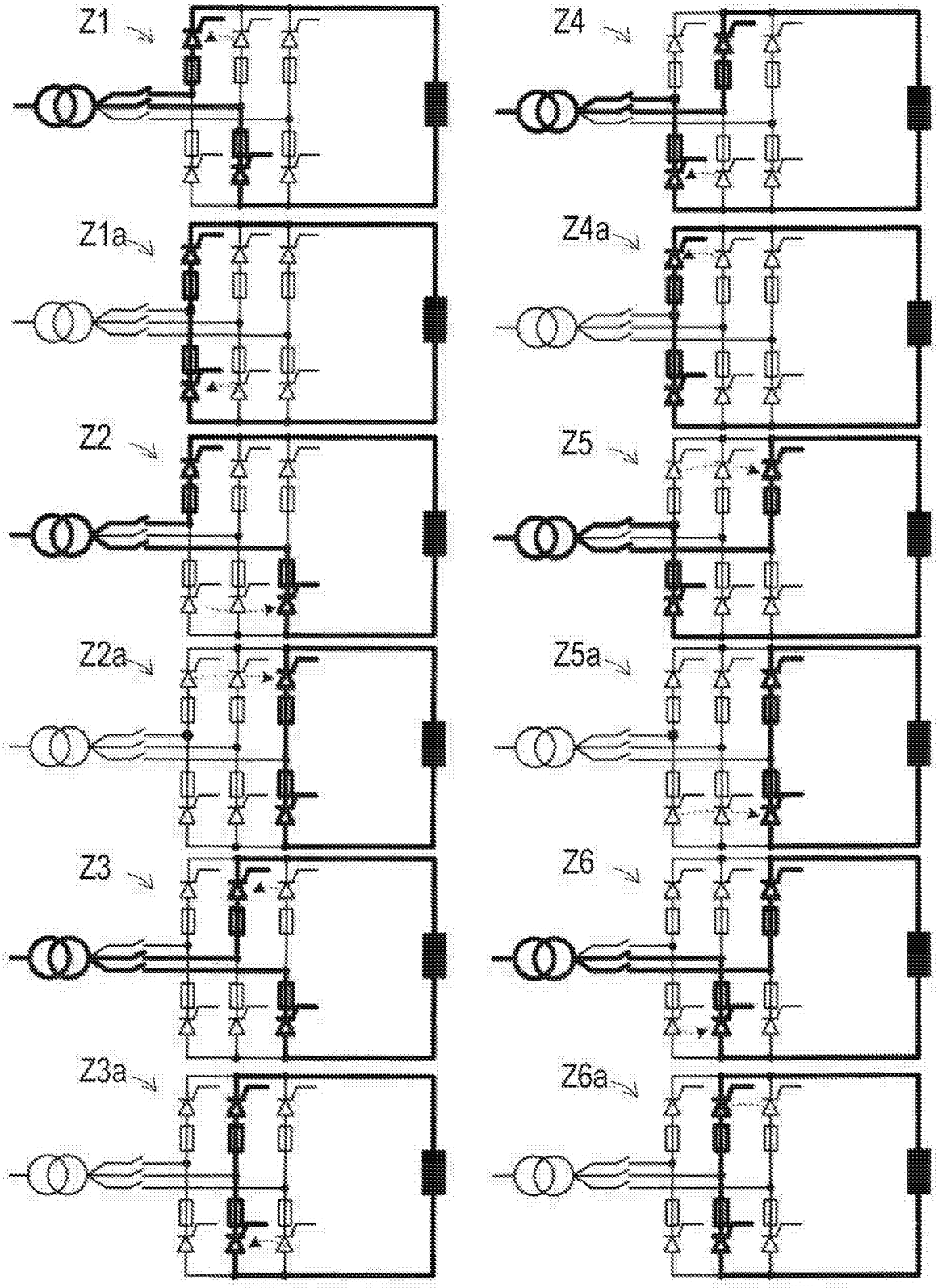


Fig. 6

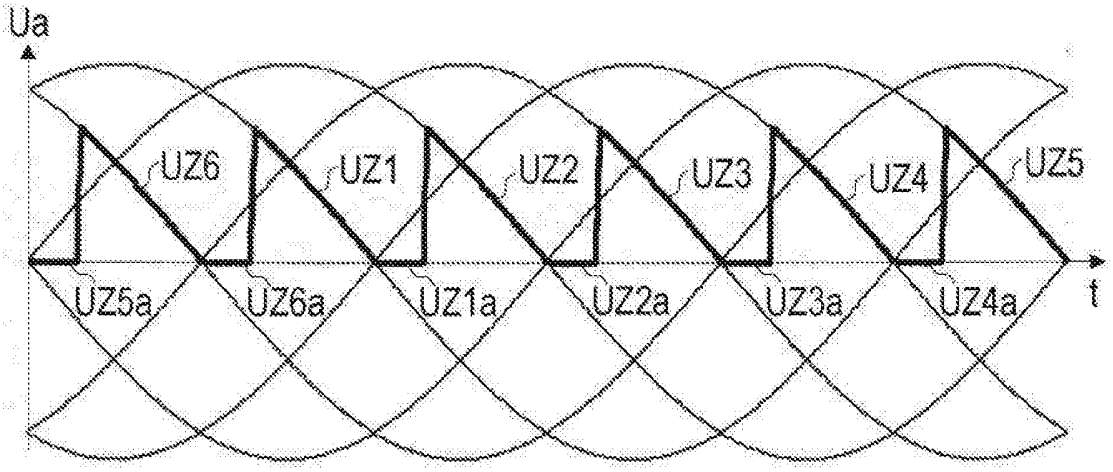
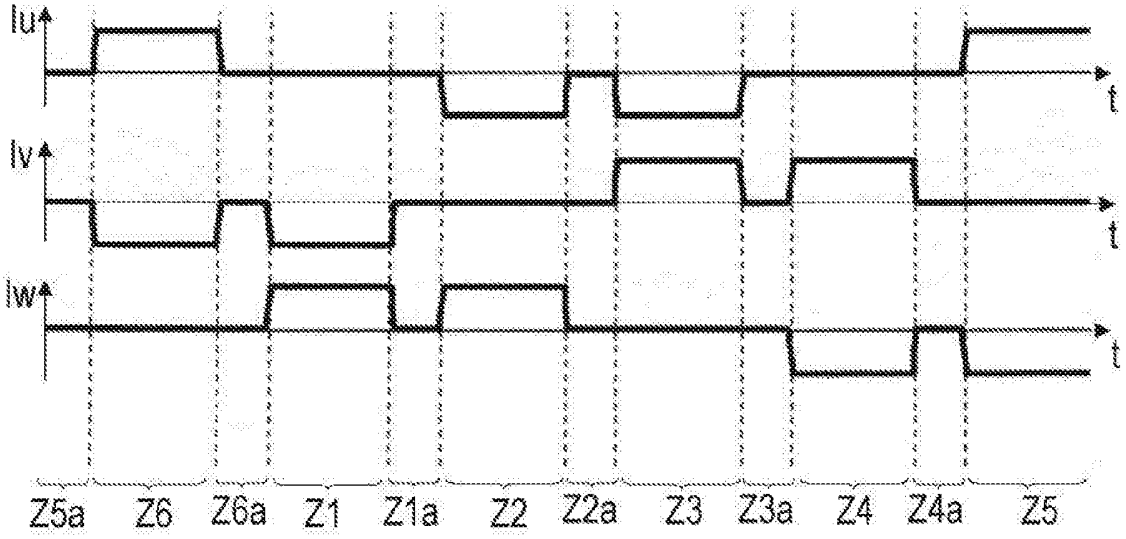

Ua
UZ6
UZ1
UZ2
UZ3
UZ4
UZ5
UZ5a
UZ6a
UZ1a
UZ2a
UZ3a
UZ4a
t

Fig. 7


Iu
Iv
Iw
t
t
t
Z5a
Z6
Z6a
Z1
Z1a
Z2
Z2a
Z3
Z3a
Z4
Z4a
Z5