

(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
08. Februar 2018 (08.02.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2018/024407 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B60L 3/00 (2006.01) H02H 3/05 (2006.01)
B60L 3/04 (2006.01) H02H 7/125 (2006.01)
B60L 9/00 (2006.01) H02H 7/12 (2006.01)
H02H 3/08 (2006.01)

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT
[DE/DE]; Werner-von-Siemens-Straße 1, 80333 München (DE).

(72) Erfinder: BAKRAN, Mark-Matthias; Josef-Felder-Str. 66, 91052 Erlangen (DE). LASKA, Bernd; Sudetenring 20, 91074 Herzogenaurach (DE). NAGEL, Andreas; Gertrude-Neumark-Weg 14, 90431 Nürnberg (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2017/065627

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Juni 2017 (26.06.2017)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

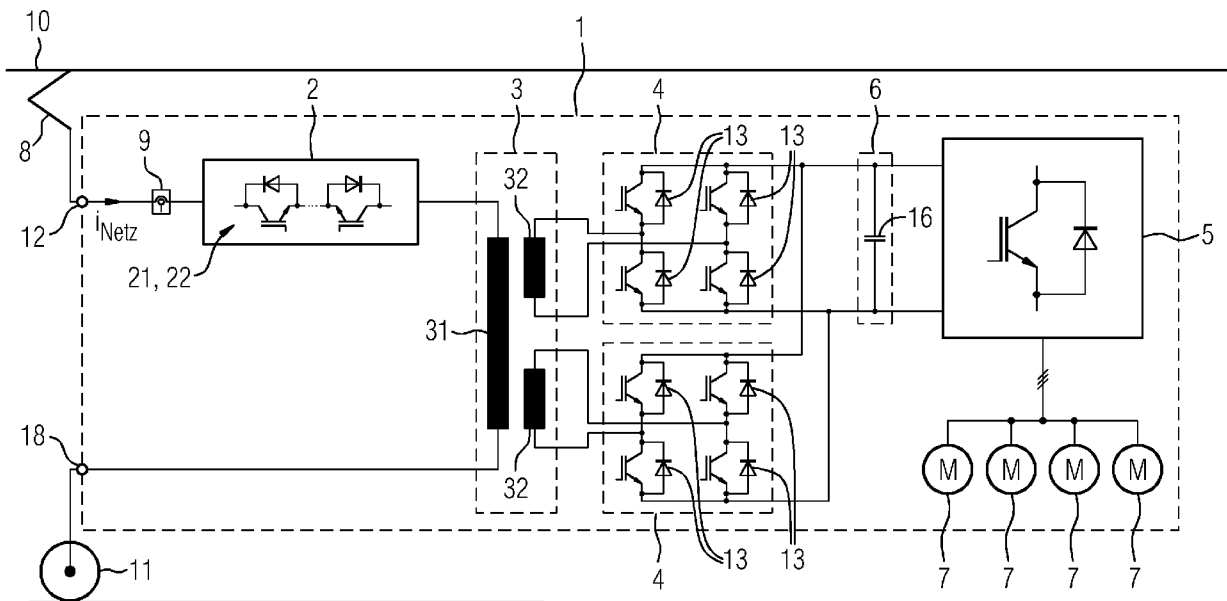
(30) Angaben zur Priorität:
16182212.7 01. August 2016 (01.08.2016) EP

(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, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, 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,

(54) Title: DRIVE SYSTEM FOR A RAIL VEHICLE

(54) Bezeichnung: ANTRIEBSSYSTEM FÜR EIN SCHIENENFAHRZEUG

FIG 1



Netz... grid

(57) Abstract: The invention relates to a drive system (1) for a rail vehicle having a transformer (3), a main switch (2) and a grid connection (12), wherein the main switch (2) is arranged between the grid connection (13) and a primary winding (31) of the transformer (3). To improve the drive system, it is proposed that the transformer (3) has a short-circuit voltage (U_k) of no more than 25%, wherein the main switch (2) has a first series circuit (25) comprising at least two power semiconductors (21, 21a, 21b), wherein a first power semiconductor (21a) from the at least two power semiconductors (21) can be used to disconnect a current ($I_{1,forward}$) through the first series circuit (25) in the direction from the grid connection (12) to the transformer (3), and a second power



WO 2018/024407 A1

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, ST, 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:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

semiconductor (21b) from the at least two power semiconductors (21) can be used to disconnect a current ($I_{1,return}$) through the first series circuit (25) in the direction from the transformer (3) to the grid connection (12). Further, the invention relates to a rail vehicle having such a drive system, wherein the grid connection (12) of the drive system (1) is electrically connected to a current collector (8), the rail vehicle being provided for operation in an AC system.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Antriebssystem (1) für ein Schienenfahrzeug mit einem Transformator (3), einem Hauptschalter (2) und einem Netzanschluss (12), wobei der Hauptschalter (2) zwischen dem Netzanschluss (13) und einer Primärwicklung (31) des Transformators (3) angeordnet ist. Zur Verbesserung des Antriebssystems wird vorgeschlagen dass der Transformator (3) eine Kurzschlussspannung (U_k) von maximal 25% aufweist, wobei der Hauptschalter (2) eine erste Reihenschaltung (25) von mindestens zwei Leistungshalbleitern (21, 21a, 21b) aufweist, wobei mittels eines ersten Leistungshalbleiters (21a) der mindestens zwei Leistungshalbleiter (21) ein Strom ($I_{1,hin}$) durch die erste Reihenschaltung (25) in Richtung vom Netzanschluss (12) zum Transformator (3) abschaltbar ist und mittels eines zweiten Leistungshalbleiters (21b) der mindestens zwei Leistungshalbleiter (21) ein Strom ($I_{1,rück}$) durch die erste Reihenschaltung (25) in Richtung vom Transformator (3) zum Netzanschluss (12) abschaltbar ist. Weiter betrifft die Erfindung ein Schienenfahrzeug mit einem solchen Antriebssystem, wobei der Netzanschluss (12) des Antriebssystems (1) mit einem Stromabnehmer (8) elektrisch verbunden ist, wobei das Schienenfahrzeug für den Betrieb in einem Wechselspannungsnetz vorgesehen ist.

Beschreibung

Antriebssystem für ein Schienenfahrzeug

5 Die Erfindung betrifft ein Antriebssystem für ein Schienen-
fahrzeug mit einem Transformator, einem Hauptschalter und ei-
nem Netzanschluss, wobei der Hauptschalter zwischen dem Netz-
anschluss und einer Primärwicklung des Transformators ange-
ordnet ist. Ferner betrifft die Erfindung ein Schienenfahr-
10 zeug mit einem solchen Antriebssystem. Die Erfindung betrifft
weiter ein Verfahren zum Betreiben eines solchen Antriebssys-
tems oder eines solchen Schienenfahrzeugs, wobei der Netzan-
schluss des Antriebssystems mittels eines Stromabnehmers mit
einem Fahrdraht oder einer Stromschiene elektrisch verbunden
15 ist. Des Weiteren betrifft die Erfindung die Verwendung eines
Hauptschalters in einem Schienenfahrzeug.

Schienenfahrzeuge weisen häufig ein elektrisches Antriebssys-
tem mit einem Transformator, einem Umrichter und Fahrmotoren
20 auf. Der Transformator dient zur Anpassung der Spannungshöhe
des Fahrdrahtes oder der Stromschiene an die Spannungen des
Antriebssystems. Im Folgenden wird die Stromschiene nicht
mehr ausdrücklich erwähnt, jedoch kann diese immer als Alter-
native zum Fahrdraht verwendet werden. Der Umrichter, auch
25 als Antriebsstromrichter oder Antriebsumrichter bezeichnet,
regelt den Strom für die Fahrmotoren, so dass sich das ge-
wünschte Drehmoment ergibt und sich damit die vorgegebene Ge-
schwindigkeit am Schienenfahrzeug einstellt. Der Antrieb-
stromrichter ist dabei häufig als Umrichter mit einem Span-
30 nungszwischenkreis ausgeführt. In einer solchen Anordnung
kann es aufgrund von diversen Ursachen immer auch zu Fehlern
kommen. Diese führen dann in einigen Fällen zum Eintreten ei-
nes Kurzschlusses im Zwischenkreis. Da sich der Kurzschluss
im Zwischenkreis vom Transformator aus betrachtet auf der Se-
35 kundärseite, d.h. auf der der Sekundärwicklung zugewandten
Seite des Transformators, befindet, wird dieser als sekundär-
seitiger Kurzschluss oder auch als Kurzschluss auf der Sekun-
därseite bezeichnet. In diesem Fall fließt ein Kurzschluss-

strom vom Fahrdrabt über den Transformator zum Ort des Kurzschlusses. Der Kurzschlussstrom führt sowohl zu einer mechanischen Belastung des Transformators als auch zu einer elektrischen Belastung des Umrichters. Um die Belastung gering zu halten und eine Beschädigung von Komponenten weitestgehend zu vermeiden, wird ein Hauptschalter vorgesehen, der den Kurzschlussstrom abschaltet. Das Öffnen des Hauptschalters, das zum Abschalten des Kurzschlussstromes führt, wird auch als Auslösen des Hauptschalters bezeichnet.

10

Dabei kommen in Schienenfahrzeugen mechanische Hauptschalter zum Einsatz, die durch eine Bewegung von stromführenden Teilen im Innern des Hauptschalters die elektrische Verbindung zwischen den Anschlüssen des Hauptschalters unterbrechen. Aus dem technischen Gebiet der Hochspannungsgleichstromübertragung (HGÜ, engl. HVDC) sind Leistungsschalter zum Schalten von Gleichstrom auf der Basis von Leistungshalbleitern bekannt. Beispiele für entsprechende Leistungsschalter sind den Veröffentlichungen „A Surgeless Solid-State DC Circuit Breaker for Voltage-Source-Converter-Based HVDC Systems“, von Kenichiro Sano und Masahiro Takasaki (IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 50, No. 4, July/August 2014) sowie „Technical Assessment of Load Commutation Switch in Hybrid HVDC Breaker“, von Arman Hassanpoor, Jürgen Häfner und Bjorn Jacobson (The 2014 International Power Electronics Conference, 2014) zu entnehmen. Diese Veröffentlichungen offenbaren Leistungsschalter mit Leistungshalbleitern zum Schalten von Gleichstrom.

15

20

25

30

Diese HGÜ-Systeme zur Übertragung von Energie mittels Gleichstrom übertragen eine Leistung von mehr als 300MW bei einer Gleichspannung von über 250kV. Aufgrund der hohen Spannungen müssen zur Erreichung einer hinreichenden Sperrfähigkeit eine Vielzahl von Leistungshalbleitern in Reihe angeordnet werden.

35

Leistungsschalter auf der Basis von Leistungshalbleitern sind bezogen auf die schaltbare Leistung deutlich teurer als mechanische Hauptschalter.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, das Antriebssystem eines Schienenfahrzeugs zu verbessern.

Diese Aufgabe wird durch ein Antriebssystem für ein Schienen-
5 fahrzeug mit einem Transformator, einem Hauptschalter und einem
Netzanschluss, wobei der Hauptschalter zwischen dem Netz-
anschluss und einer Primärwicklung des Transformators ange-
ordnet ist, wobei der Transformator eine Kurzschlussspannung
10 u_k von maximal 25% aufweist, wobei der Hauptschalter eine
erste Reihenschaltung von mindestens zwei Leistungshalblei-
tern aufweist, wobei mittels eines ersten Leistungshalblei-
ters der mindestens zwei Leistungshalbleiter ein Strom durch
die erste Reihenschaltung in Richtung vom Netzanschluss zum
15 Transformator abschaltbar ist und mittels eines zweiten Lei-
stungshalbleiters der mindestens zwei Leistungshalbleiter ein
Strom durch die erste Reihenschaltung in Richtung vom Trans-
formator zum Netzanschluss abschaltbar ist. Ferner wird diese
Aufgabe durch ein Schienenfahrzeug mit einem solchen An-
20 triebssystem gelöst, wobei der Netzanschluss des Antriebssys-
tems mit einem Stromabnehmer elektrisch verbunden ist, wobei
das Schienenfahrzeug für den Betrieb in einem Wechselspan-
nungsnetz vorgesehen ist. Weiter wird diese Aufgabe durch ein
Verfahren zum Betreiben eines solchen Antriebssystems oder
25 eines solchen Schienenfahrzeugs gelöst, wobei der Netzan-
schluss des Antriebssystems, insbesondere mittels eines
Stromabnehmers, mit einem Fahrdrabt oder einer Stromschiene
elektrisch verbunden ist, wobei bei Erkennen eines Kurz-
schlusses auf der Sekundärseite des Transformators die min-
30 destens zwei Leistungshalbleiter der ersten Reihenschaltung
gesperrt werden. Ferner wird die Aufgabe durch die Verwendung
eines Hauptschalters zum Abschalten eines Kurzschlussstromes
in einem mit Wechselspannung betreibbaren Schienenfahrzeug
gelöst, wobei das Schienenfahrzeug einen Stromabnehmer und
einen Transformator umfasst, wobei der Hauptschalter eine
35 erste Reihenschaltung von mindestens zwei Leistungshalblei-
tern aufweist, wobei mittels eines ersten der mindestens zwei
Leistungshalbleiter ein Strom durch die erste Reihenschaltung
in Richtung vom Stromabnehmer zum Transformator abschaltbar

ist und durch einen zweiten der mindestens zwei Leistungshalbleiter ein Strom durch die erste Reihenschaltung in Richtung vom Transformator zum Stromabnehmer abschaltbar ist.

- 5 Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass sich die Dimensionierung von Komponenten des Antriebssystems dadurch verbessern lässt, dass anstelle eines rein mechanischen
10 Hauptschalters ein Hauptschalter mit Leistungshalbleitern verwendet wird. Zum Unterbrechen des Stromflusses durch den Leistungshalbleiter werden die Leistungshalbleiter gesperrt. Es hat sich dabei als vorteilhaft erwiesen, wenn die Sperrfähigkeit der Leistungshalbleiter des Hauptschalters um den
15 Faktor 1,5 bis 2 größer ist als der Spitzenwert der Netzspannung. Man bezeichnet als Auslösen des Hauptschalters den Vorgang, dass der Hauptschalter den durch ihn fließenden Strom unterbricht. Dieser neuartige Schalter ist durch die Verwendung von Leistungshalbleitern in der Lage, den Strom zu unterbrechen, bevor er auf zu hohe Werte bzw. unzulässig hohe Werte gestiegen ist. Das heißt, es muss nicht der Stromnulldurchgang abgewartet werden, bei dem ein mechanischer Schalter seine Sperrwirkung erzielt. Bei dem Einsatz eines solchen
20 Hauptschalters in einem Antriebssystem eines Schienenfahrzeugs kann schon im Anstieg bei Erreichen eines vorgebbaren Grenzwertes, der vorteilhafterweise oberhalb des Nennstromes liegt, der Stromfluss zwischen Fahrdraht bzw. Stromschiene und Schienenfahrzeug, bzw. zwischen Netzanschluss und Transformator unterbrochen werden.
30

Bisher werden Hauptschalter mit Leistungshalbleitern nur als Gleichspannungsschalter in HGÜ Anlagen verwendet, um einen Gleichstrom zu schalten. Da der Gleichstrom keinen Nulldurchgang besitzt, muss der für Gleichstromanwendungen verwendete
35 Schalter die Fähigkeit besitzen, einen Strom auch ohne Nulldurchgang abschalten zu können. Dies ist bei einer Anwendung mit Wechselspannung und Wechselstrom nicht erforderlich. Da-

her wurde bisher insbesondere bei Bahnfahrzeugen ein konventioneller Hauptschalter eingesetzt, der im Nulldurchgang des Stroms schaltet und kostengünstig verfügbar ist.

5 Es hat sich jedoch gezeigt, dass durch die Verwendung des Hauptschalters mit Leistungshalbleiterschaltern sich der Strom derart schnell abschalten lässt, dass dieser keine hohen Werte erreicht. Gerade für ein Schienenfahrzeug bietet dies viele Vorteile. Zum einen sinkt damit die Anforderung an
10 die Strombelastbarkeit der Dioden des Eingangsstromrichters. Diese Belastung, angegeben als i^2t Wert, wird zum einen durch eine geringere Stromhöhe, die sogar quadratisch in den Wert der Belastung eingeht, und der deutlich kürzeren Einwirkdauer reduziert. Damit können kostengünstigere Dioden mit einer geringeren Belastbarkeit (i^2t -Wert) verwendet werden, die deutlich kostengünstiger verfügbar sind. Die kurze Auslösezeit
15 kann auch dazu vorteilhafterweise genutzt werden, die Streuinduktivität des Transformators zu verringern, da diese zur Verringerung des Kurzschlussstromes nicht mehr so hoch sein muss. Dieser Zusammenhang wird in einem der folgenden Absätze
20 im Zusammenhang mit der Stromanstiegsgeschwindigkeit genauer beschrieben. Eine geringere Streuinduktivität, gleichbedeutend mit einer geringeren Kurzschlussspannung u_k führt zu einer deutlichen Kostenreduzierung bei der Herstellung des Transformators.
25

Ein weiterer großer Vorteil insbesondere für mobile Anwendungen, wie beispielsweise in einem Schienenfahrzeug, liegt in der Auslegung des Transformators. Im Fehlerfall unterliegt
30 der Transformator einem Stoßstrom, da der Kurzschlussstrom über den Transformator von der Primärseite zur Sekundärseite fließt. Dieser Stoßstrom verursacht hohe mechanische Kräfte im Innern des Transformators. Um eine Beschädigung oder gar Zerstörung des Transformators zu vermeiden, muss dieser eine
35 hohe mechanische Festigkeit besitzen. Diese wird durch einen stabilen mechanischen Aufbau erreicht, der das Gewicht des Transformators je nach Höhe des anzunehmenden Stoßstroms erhöht. Durch die Reduktion der Stoßstromanforderung kann somit

das Gewicht des Transformators für Traktionsanwendungen teilweise sogar deutlich reduziert werden. Gerade bei Schienenfahrzeugen ist eine Gewichtsersparnis wichtig, da sich diese Fahrzeuge oftmals bereits an der zulässigen Gewichtsgrenze (beispielsweise zulässige Achslasten) bewegen. Darüber hinaus hilft die Reduktion von Gewicht, den Betrieb verbrauchsärmer und damit sowohl kostengünstiger als auch umweltschonender zu gestalten.

10 Das Gewicht eines Transformators für HGÜ Anlagen spielt aufgrund des zur Verfügung stehenden Gegebenheiten (Platzbedarf, Tragfähigkeit des Untergrundes) und des ohnehin schon hohen Gewichts, welches oftmals einen Spezialtransport erfordert, keine Rolle.

15

Es hat sich jedoch gezeigt, dass sich bei Wechselspannungen, wie sie im Bahnnetz vorkommen, insbesondere bei 25kV oder 15kV die Anzahl der in Reihe anzuordnenden Leistungshalbleiter deutlich geringer ist als bei einer Anwendung in einer HGÜ Anlage. Dies vereinfacht die Maßnahmen zur Aufteilung der Spannungen auf die einzelnen in Reihe angeordneten Leistungshalbleiter. Teilweise kann sogar vollständig auf eine solche Maßnahme verzichtet werden. Somit hat sich auf nicht vorhersehbarer Weise herausgestellt, dass sich das Prinzip eines Gleichspannungsschalters auf Basis von Leistungshalbleitern auf Wechselspannungen, wie sie im Bahnnetz vorherrschen, übertragen lassen und zu unerwarteten Vorteilen bei der Auslegung des Transformators (Kurzschlussspannung u_k) und Leistungshalbleitern des Antriebsstromrichters (i^2t) führen.

30

Im Falle eines Kurzschlusses wird der Kurzschlussstrom im Wesentlichen von der Impedanz des Transformators bestimmt, welche sich aus der Streuinduktivität ableitet. Der Kurzschlussstrom wird im Fehlerfall vom Hauptschalter des Systems ausgeschaltet.

35

Es erfolgt eine Auslösung des Hauptschalters, insbesondere eine automatische Auslösung, durch den Strom, wenn dieser ei-

nen zuvor festgelegten Grenzwert überschreitet. Herkömmliche mechanische Hauptschalter können jedoch prinzipbedingt erst im Nulldurchgang des Stromes abschalten. Zusammen mit der mechanischen Auslösegeschwindigkeit erfolgt typisch ein Abschalten je nach Netzfrequenz erst nach ca. 100ms. In der
5 Konsequenz muss die Transformator-Impedanz so hoch gewählt werden, einen schnellen Anstieg des Kurzschlussstromes zu verhindern. Typisch ist eine Kurzschlussspannung des Transformators von mehr als 30%, damit der Kurzschlussstrom ausreichend begrenzt wird. Das führt zu Transformatoren mit hoher Baugröße und schlechterem Wirkungsgrad, als es möglich
10 wäre, ohne diese Auslegungsgrenze.

Durch den Einsatz von Leistungshalbleitern in einem Hauptschalter kann die Auslösezeit deutlich verkürzt werden, da
15 die Leistungshalbleiter einen Strom auch ohne Nulldurchgang schnell abschalten können. Aufgrund der geringeren Auslösezeit kann eine deutlich größere Anstiegsgeschwindigkeit des Kurzschlussstromes toleriert werden. Trotz der hohen
20 Anstiegsgeschwindigkeit können hohe Ströme durch die kurze Auslösezeit verhindert werden. Dadurch ist es möglich die Streuinduktivitäten, die den Stromanstieg verringern, des Transformators zu reduziert. Dies äußert sich in einer geringeren Kurzschlussspannung u_k . Es hat sich gezeigt, dass Kurzschlussspannungen u_k von maximal 25% hinreichend sind, um bei
25 einer entsprechend schnellen Abschaltung des Kurzschlussstromes durch den Hauptschalter hinreichend zu beschränken. Gleichzeitig lässt sich darüber hinaus durch die kurze Auslösezeit des Hauptschalters der Kurzschlussstrom derart reduzieren, dass die Dioden des Eingangsstromrichters nicht mehr
30 für so große Kurzschlussströme ausgelegt sein müssen und entsprechend kostengünstiger sind. Bei dem vorgeschlagenem Antriebssystem ist die Höhe des Kurzschlussstromes nicht mehr unbedingt auslegungsbestimmend, so dass die Anforderungen an
35 die Komponenten des Antriebssystems zurückgehen und billiger beschafft werden können.

Neben den geringeren Kurzschlussströmen treten auch geringe Belastungen in den Dioden des Eingangsstromrichters auf. Die Strombelastbarkeit von Dioden wird dabei häufig als i^2t Wert angegeben. Um die Dioden des Eingangsstromrichters sicher vor
5 Beschädigung im Kurzschlussfall zu schützen, weisen diese einen i^2t Wert auf, bei dem der Kurzschlussstrom einen zulässigen Wert des Stoßstroms des Transformators annimmt. Mit anderen Worten besitzen die Dioden eine Strombelastbarkeit, charakterisiert durch den i^2t Wert, von mindestens einer Höhe,
10 dass sie durch den Stoßstrom welcher vom Transformator bestimmt wird, nicht zerstört werden.

Durch das schnelle Schalten des Hauptschalters kann neben dem Transformator auch der Eingangsstromrichter einfacher dimensioniert werden, da die Belastung durch den Kurzschlussstrom
15 auch für den Eingangsstromrichter abnimmt. Dies liegt darin begründet, dass der Kurzschlussstrom zeitlicher kürzer auf den Eingangsstromrichter einwirkt. Die kurzfristige Strombelastbarkeit, insbesondere der Dioden des Eingangsstromrichters,
20 wird mittels des i^2t -Wertes angegeben. Da die Belastung, insbesondere die Zeitdauer sinkt, sinkt auch der i^2t -Wert im Kurzschlussfall. Somit kann bei der Herstellung des Eingangsstromrichters auf Komponenten, insbesondere Dioden,
zurückgegriffen werden, die einen geringeren i^2t -Wert besitzen und somit kostengünstiger beschaffbar sind.
25

Reduziert man beispielsweise bei einem Schienenfahrzeug mit ca. 6 MW, insbesondere bei einer Lokomotive, die Streuinduktivität des Transformators von 30% auf 10% würde ohne Maßnahmen der Spitzenstrom in der sekundärseitigen Fehlerstelle von
30 25 kA auf 45kA ansteigen und das i^2t von $2,3 \cdot 10^7 A^2s$ auf $8,9 \cdot 10^7 A^2s$ steigen. Durch den Hauptschalter mit Leistungshalbleitern werden die Werte stattdessen auf 19kA (Spitzenstrom) bzw. $0,15 \cdot 10^7 A^2s$ (Strombelastung) reduziert. Somit ist es besonders vorteilhaft,
35 wenn die Parallelschaltung aus den Dioden des Eingangsstromrichters eine Strombelastbarkeit i^2t im Bereich von $0,15 \cdot 10^7 A^2s$ bis $2,3 \cdot 10^7 A^2s$ aufweisen, wobei die

Kurzschlussspannung u_k des Transformators maximal 10% beträgt.

Besonders vorteilhaft ist die Anwendung des Antriebssystems
5 in einem Schienenfahrzeug, wobei das Schienenfahrzeug für den
Betrieb in einem Wechselspannungsnetz vorgesehen ist. Übli-
cherweise beträgt die Spannung in einem solchen Wechselspan-
nungsnetz 15kV oder 25kV. Bei einem solchen Betrag, bzw. bei
10 einem Betrag in dieser Größenordnung, brauchen nur wenige
Leistungshalbleiter zur Erreichung einer hinreichenden Sperr-
fähigkeit in Reihe geschaltet zu werden, so dass ein entspre-
chender Hauptschalter mit Leistungshalbleitern kostengünstig
herstellbar ist. Die dafür notwendige Symmetrierung, d.h. ei-
ne Maßnahme zur gleichmäßigen Aufteilung der Sperrspannung
15 kann in diesem Fall besonders einfach und aufwandsarm erfol-
gen. Teilweise kann sie auch bei leichter Überdimensionierung
entfallen. Bei dieser Überdimensionierung werden mehr Leis-
tungshalbleiter in Reihe geschaltet als rechnerisch bei einer
gleichmäßigen Aufteilung der Sperrspannung auf die einzelnen
20 Leistungshalbleiter erforderlich sind. Damit sind die einzel-
nen Leistungshalbleiter auch bei einer nicht gleichmäßigen
Aufteilung der Sperrspannung vor einer Überlastung geschützt.

Ein besonderer Vorteil ergibt sich bei einem Schienenfahrzeug
25 dadurch, dass durch die schnelle Auslösung mittels des Haupt-
schalters mit Leistungshalbleitern auch bei geringer Streuin-
duktivität, d.h. bei geringer Kurzschlussspannung u_k , des
Transformators der Kurzschlussstrom durch den Transformator,
auch als Stoßstrom bezeichnet, reduziert wird. Durch die ge-
30 ringeren Anforderungen aus der Stoßstrombelastung an den
Transformator kann dieser mechanisch einfacher aufgebaut wer-
den. Der Stoßstrom verursacht je nach Höhe innere Kräfte im
Transformator, die diesen beschädigen oder zerstören können.
Durch die Reduzierung des Stoßstroms im Fehlerfall kann der
35 mechanische Aufbau des Transformators deutlich vereinfacht
werden. Dies führt unter anderem zu einem geringeren Gewicht
des Transformators. Gerade bei einem Schienenfahrzeug kann
durch die Gewichtsreduzierung das Fahrzeug kostengünstiger

hergestellt und betrieben werden. Durch das große Potenzial an Gewichtseinsparung kann an anderer Stelle auf Gewichtseinsparung verzichtet werden, an denen diese besonders kostentreibend sind.

5

Unter einem mit Wechselspannung betreibbaren Schienenfahrzeug versteht der Fachmann ein Schienenfahrzeug, welches mit einer an einem Fahrdraht oder an einer Stromschiene anliegenden Wechselspannung betrieben, insbesondere bewegt, werden kann.

10

Bei einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist der Transformator eine Kurzschlussspannung im Bereich zwischen 5% und 8% auf. Ein elektrisch und/oder bezüglich der Baugröße optimaler Transformator hat eine Impedanz, d.h. eine Streuinduktivität, die einer Kurzschlussspannung u_k von etwa 5% bis 8% entspricht. Dieser ist zudem leicht, was den Einsatz in einem Fahrzeug, insbesondere einem Schienenfahrzeug, begünstigt. Darüber hinaus ist der Transformator einfach fertigbar, da keine Maßnahmen zur Erhöhung der Streuinduktivität berücksichtigt werden müssen. Somit ist ein Transformator mit einer Kurzschlussspannung im Bereich zwischen 5% und 8% besonders kostengünstig herstellbar.

15

20

25

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist parallel zu der ersten Reihenschaltung von mindestens zwei Leistungshalbleitern ein spannungsbegrenzendes Element, insbesondere ein Varistor, angeordnet. Mit dem Abschalten des Stromes durch den Hauptschalter ist eine schnelle Änderung des Stromes verbunden. Aufgrund von Induktivitäten im System, insbesondere den Streuinduktivitäten des Transformators, kann je nach Höhe dieser Induktivitäten eine Spannung, teilweise sogar eine recht hohe Spannung verursacht werden, welche die Sperrspannung der Leistungshalbleiter überschreitet. Damit diese Spannung die Leistungshalbleiter nicht schädigen kann, wird in einer vorteilhaften Ausgestaltung parallel zu den mindestens zwei Leistungshalbleitern ein spannungsbegrenzendes Element angeordnet. Dazu eignet sich im Besonderen ein Varistor. Dieser kann die induktive Energie beim Schaltvor-

30

35

gang abbauen und den parallelen Leistungshalbleiter vor Zerstörung schützen. Damit kann das Antriebssystem vor Schäden durch zu hohe Spannung bewahrt werden.

5 Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist der Hauptschalter einen Trenner auf, wobei der Trenner in Reihe zu der ersten Reihenschaltung von mindestens zwei Leistungshalbleitern angeordnet ist. Dabei ist der Trenner vorzugsweise derart angeordnet, dass im geöffneten Zustand
10 des Trenners der Transformator galvanisch vom Netzanschluss getrennt ist. Ein Trenner ist ein Schalter, der nicht unter Last, d.h. bei Stromfluss geschaltet werden darf. Er ist günstig herstellbar, da dieser Trenner keine Teile enthält, die einen Strom beim Schalten gezielt reduzieren. Dieser ist
15 daher im Vergleich zu einem Schalter deutlich kostengünstiger und lässt sich mit einem Hauptschalter mit Leistungshalbleitern derart kombinieren, dass mit Öffnen des Trenners der Transformator und die daran sekundärseitig angeschlossenen Komponenten sicher vom Bahnnetz, dem Energieversorgungsnetz
20 des Schienenfahrzeugs, getrennt werden. Mittels mechanischer Verriegelungen lässt sich darüber hinaus ein unbeabsichtigtes Einschalten des Trenners auf einfache und kostengünstige Weise sicher verhindern.

25 Durch den Trenner kann eine sichere Trennung zwischen Bahnnetz und Antriebssystem hergestellt werden, wie sie unter anderem durch geltende Sicherheitsanforderungen definiert sind.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung
30 weist das Antriebssystem eine Schutzvorrichtung auf, mit der ein Netzstrom erfassbar ist, der vom Netzanschluss zum Transformator fließt, wobei die Schutzvorrichtung derart mit dem Hauptschalter verbunden ist, dass bei Überschreitung eines Grenzwertes durch den Netzstrom der Hauptschalter auslösbar
35 ist. Zur Sicherstellung einer schnellen Reaktion auf einen Kurzschluss wird keine Steuerungs- oder Regelungsvorrichtung benötigt. Eine Schutzvorrichtung zum Schutz vor Kurzschlussströmen benötigt lediglich einen Stromsensor zur Erfassung

des Netzstroms, der vom Bahnnetz, d.h. vom Fahrdraht, zum Antriebssystem des Fahrzeugs fließt. Der Vergleich mit einem Grenzwert kann dabei beispielsweise mittels Hardware oder Software vorgenommen werden. Ein Treiber sorgt dafür, dass
5 die Leistungshalbleiter mit einem Signal angesteuert werden, welches ein Abschalten der Leistungshalbleiter bewirkt, d.h. die Leistungshalbleiter in einen sperrenden Zustand versetzt.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung
10 weist der Hauptschalter eine zweite Reihenschaltung von mindestens zwei weiteren Leistungshalbleitern auf, wobei mittels eines ersten weiteren Leistungshalbleiters der mindestens zwei weiteren Leistungshalbleiter ein Strom durch die zweite Reihenschaltung in Richtung vom Netzanschluss zum Transformator
15 abschaltbar ist und durch einen zweiten weiteren Leistungshalbleiter der mindestens zwei weiteren Leistungshalbleiter ein Strom durch die zweite Reihenschaltung in Richtung vom Transformator zum Netzanschluss abschaltbar ist, wobei in Reihe zu der zweiten Reihenschaltung ein mechanischer Schalter
20 angeordnet ist, wobei die erste Reihenschaltung parallel zu der in Reihe angeordneten zweiten Reihenschaltung und dem mechanischen Schalter angeordnet ist, wobei die Sperrfähigkeit der ersten Reihenschaltung von mindestens zwei Leistungshalbleitern größer ist als die Sperrfähigkeit der zweiten Reihenschaltung von mindestens zwei weiteren Leistungs-
25 halbleitern. Diese Art von Hauptschalter wird auch als Hybridschalter bezeichnet. Dieser verfügt über die erste Reihenschaltung von Leistungshalbleitern. Parallel dazu ist in einem Hauptkreis ein mechanischer Schalter in Reihe mit einem
30 weiteren elektronischen Schalter angeordnet. Dieser weitere elektronische Schalter, der über eine zweite Reihenschaltung von Leistungshalbleitern gebildet wird, benötigt nur eine geringere Sperrfähigkeit im Vergleich zur ersten Reihenschaltung. Dies ist deshalb möglich, da die Sperrwirkung, d.h. die
35 Spannung im gesperrten Zustand dauerhaft über dem mechanischen Schalter abfällt und nicht von den dazu in Reihe angeordneten Leistungshalbleitern aufgenommen werden muss. Der Hauptkreis ist im eingeschalteten Zustand für das Führen des

Stroms zuständig, so dass dieser hinsichtlich geringer Durchlassverluste ist. Diese Optimierung kann zu Lasten der Sperrfähigkeit gehen, da die Sperrfähigkeit im geöffneten Zustand durch den mechanischen Schalter erreicht wird.

5

Beim Hybridschalter vollzieht sich die Auslösung, d.h. das Öffnen, zunächst durch Öffnen des Weiteren elektronischen Schalters, der durch die zweite Reihenschaltung von mindestens zwei weiteren Leistungshalbleitern gebildet wird. Dieser wird auch als Hilfsschalters oder Load Commutation Switch bezeichnet. Da parallel dazu die erste Reihenschaltung von mindestens zwei Leistungshalbleitern leitend ist, fällt keine nennenswerte Spannung, über den Hilfsschalter ab. Anschließend wird der mechanische Schalter, auch als Ultra Fast Disconnector bezeichnet, geöffnet. Nachdem der mechanische Schalter ausreichend spannungsfest ist, was bei Einsatz eines schnellen Schalters typischerweise in weniger als 3ms gegeben ist, wird der dazu parallele elektronische Schalter der ersten Reihenschaltung geöffnet. Es hat sich gezeigt, dass die Schaltzeit im Wesentlichen davon abhängt, wie schnell der mechanische Schalter ausreichend spannungsfest ist, d.h. eine Spannung aufnehmen kann, ohne dass die Gefahr besteht dass dieser leitend werden kann. Daher hat es sich als besonders vorteilhaft erwiesen, für den mechanischen Schalter einen besonders schnell schaltenden Schalter zu verwenden.

Durch die geringere Sperrfähigkeit der Leistungshalbleiter im Hauptkreis können hier Leistungshalbleiter mit geringeren Leitendverluste zur Anwendung kommen.

30

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist die Anzahl der in Reihe angeordneten Leistungshalbleiter der ersten Reihenschaltung größer als die Anzahl der in Reihe angeordneten Leistungshalbleiter der zweiten Reihenschaltung. Auf diese Weise lässt sich insbesondere bei der Verwendung von baugleichen Leistungshalbleitern für die beiden Reihenschaltungen sowohl eine höhere Sperrspannung der ersten Reihenschaltung als auch geringe Leitendverluste, d.h. ein ge-

35

ringer Durchlasswiderstand, der zweiten Reihenschaltung erzielen. Durch die verwendeten gleichen Leistungshalbleiter sind zudem die Beschaffungskosten und Lagerhaltungskosten für Ersatzteile und Wartung vergleichsweise gering.

5

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung weist die zweite Reihenschaltung genau zwei weitere Leistungshalbleiter auf. Damit wird die zweite Reihenschaltung aus genau zwei weiteren Leistungshalbleitern gebildet. Diese beiden Leistungshalbleiter des Hauptkreises, sind dabei entgegengesetzt zueinander angeordnet, so dass diese jeweils den Strom in eine Richtung schalten können. Durch den Verzicht auf weitere, in Reihe angeordnete Leistungshalbleiter ist der Bahnwiderstand der Leistungshalbleiter besonders gering. In einer besonders vorteilhaften Anordnung können für beide Leistungshalbleiter der zweiten Reihenschaltung Leistungshalbleiter verwendet werden, die besonders geringe Durchlassverluste haben. Mit diesen ist es möglich, einen besonders verlustarmen Hauptschalter mit Leistungshalbleitern herzustellen. Darüber hinaus ist durch die geringe Anzahl der Leistungshalbleiter dieser Hauptschalter besonders preisgünstig herstellbar.

25 Im Folgenden wird die Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher beschrieben und erläutert. Es zeigen:

- FIG 1 Ein Antriebssystem eines Schienenfahrzeugs,
30 FIG 2 das Zeitverhalten bei Abschalten eines Kurzschlussstromes durch einen mechanischen Hauptschalter,
FIG 3 das Zeitverhalten bei Abschalten eines Kurzschlussstromes durch einen Hauptschalter mit
35 Leistungshalbleitern,
FIG 4 bis 6 jeweils ein Ausführungsbeispiel eines Hauptschalters mit Leistungshalbleitern und
FIG 7 ein Ausführungsbeispiel eines Hybridschalters.

FIG 1 zeigt ein Antriebssystem 1 eines Schienenfahrzeugs. Dieses weist einen Netzanschluss 12 zur Verbindung mit einem Fahrdrabt 10 auf. Alternativ zum Fahrdrabt 10 kann das Fahrzeug auch mittels einer Stromschiene mit elektrischer Energie versorgt werden. Den Kontakt zum Fahrdrabt 10 oder zu der Stromschiene stellt ein Stromabnehmer 8 her. Der Netzanschluss 12 ist mit der Primärwicklung 31 eines Transformators 3 verbunden. Zwischen Transformator 3 und Netzanschluss 12 ist ein Hauptschalter 2 angeordnet, der es erlaubt, einen Stromfluss, insbesondere während eines Kurzschlusses im Schienenfahrzeug, zu unterbrechen. Um einen unerwünschten oder unzulässig hohen Stromfluss zu erkennen hat es sich als vorteilhaft erwiesen, in diesem Stromkreis einen Stromwandler 9 vorzusehen. Um den Stromkreis durch die Primärwicklung des Transformators zu schließen, ist die Primärwicklung noch über einen Masseanschluss 18 mit dem Rad und der Schiene verbunden.

Die Sekundärwicklung 32 ist mit einem Eingangsstromrichter 4 verbunden. Dieser wird häufig auch als Vierquadrantensteller oder kurz 4QS bezeichnet. Dieser weist schaltbare Halbleiter und Dioden 13 auf, mit denen im Zwischenkreis 6 eine Gleichspannung erzeugt werden kann, die an einem Zwischenkreiskondensator 16 anliegt. Aus dieser Zwischenkreisspannung werden mittels eines Pulswechselrichters 4 Spannungen und Ströme erzeugt, die in den Fahrmotoren 7 ein gewünschtes Drehmoment bewirken. Das Schienenfahrzeug kann dabei einen oder mehrere Zwischenkreise 6 sowie einen oder mehrere Pulswechselrichter 5 aufweisen. Auch die Anzahl der Fahrmotoren 7 pro Pulswechselrichter 5 kann abhängig von der Leistungsfähigkeit des Schienenfahrzeugs gewählt werden. Dabei speist ein Pulswechselrichter 5 mindestens einen Fahrmotor 7. Ein Zwischenkreis 6 kann dabei jeweils von einem oder mehreren Eingangsstromrichtern 4 mit elektrischer Energie versorgt werden.

35

Um einen Strom, insbesondere einen Kurzschlussstrom, schnell und unabhängig von Nulldurchgängen der Wechselspannung des Energieversorgungsnetzes schalten zu können, wird als Haupt-

schalter 2 ein Hauptschalter 2 mit Leistungshalbleitern 21,22 verwendet.

Den Abschaltvorgang eines Kurzschluss mit Hilfe eines mecha-
5 nischen Schalters zeigt FIG 2. Im Nennbetrieb nimmt der Netz-
strom i_{Netz} einen maximalen Betrag (Amplitude) von I_n an.
Tritt nun zum Zeitpunkt t_F ein Fehler in Form eines Kurz-
schlusses auf der Sekundärseite des Transformators 3 auf, so
erhöht sich abhängig von der Kurzschlussspannung u_k des
10 Transformators 3 der Netzstrom i_{Netz} und nimmt dabei einen
Wert I_{KS} an, der teilweise um ein Vielfaches höher ist als
der Wert I_n im Nennbetrieb. Der mechanische Hauptschalter 2
kann diesen Strom erst nach einem oder zwei Nulldurchgängen
abschalten. Dieser Zeitpunkt ist in FIG 2 mit t_{HS} bezeichnet.
15 Dabei entsteht während des Zeitintervalls zwischen t_F und t_{HS}
insbesondere in den Dioden 13 des Eingangsstromrichters 4 ei-
ne Belastung durch den Kurzschluss, die mit Hilfe des i^2t Wer-
tes beschreibbar ist. Diese ergibt sich zu

$$20 \quad i^2t = \int_{t_F}^{t_{HS}} i_{\text{Diode}}^2 dt$$

Die Höhe des Diodenstroms i_{Diode} ist dabei aufgrund des Trafo-
übersetzungsverhältnisses proportional zum Netzstrom i_{Netz} .
Dabei teilt sich der sekundärseitige Transformatorstrom in
25 Abhängigkeit von seiner Phasenlage auf die unterschiedlichen
Dioden 13 des Eingangsstromrichters 4 auf. Bei einem mechani-
schen Hauptschalter wird die Belastung durch eine Verringe-
rung der Stromanstiegsgeschwindigkeit im Kurzschlussfall be-
schränkt, da die Zeitdauer der Abschaltung nicht beeinfluss-
30 bar ist und von den Nulldurchgängen abhängt. Die Verringerung
der Stromanstiegsgeschwindigkeit wird über
Streuinduktivitäten im Transformator 3 erreicht, die sich in
einer entsprechend hohen Kurzschlussspannung u_k ausdrückt.

35 Die FIG 3 zeigt den Verlauf des Netzstroms bei der Verwendung
eines Hauptschalters 2 mit Leistungshalbleitern. Dieser
Hauptschalter 2 ist in der Lage, den Netzstrom i_{Netz} , insbe-
sondere den Wechselstrom, unabhängig von Nulldurchgängen zu

schalten. Sobald der Netzstrom i_{Netz} einen vorgebbaren Grenzwert I_{Gr} überschreitet, wird der Strom abgeschaltet. Induktive Energie, die beispielsweise in den Streuinduktivitäten gespeichert ist, wird abgebaut und der Strom zu null gebracht.

5 In vorteilhafter Weise wird der Grenzwert I_{Gr} größer als der Nennstrom I_n , insbesondere 20% größer als der Nennstrom I_n , gewählt. Sobald der Grenzwert überschritten wird, wird der Stromfluss mittels des Hauptschalters 2 unterbrochen. Aufgrund der kurzen Ausschaltzeit kann eine deutlich größere
10 Stromanstiegsgeschwindigkeit und somit auch eine geringere Kurzschlussspannung u_k des Transformators toleriert werden. Damit kann der Transformator kostengünstiger hergestellt werden, da auf ein Einbringen bzw. Konstruktion von zusätzlicher Streuinduktivität verzichtet werden kann. Wegen der geringe-
15 ren Auslösezeit zwischen Auftreten des Fehlers t_F und Abschalten des Fehlerstroms t_{HS} sinkt auch die Belastung der Dioden 13 des Eingangsstromrichters 4 entsprechend der genannten Formel für den i^2t -Wert.

20 Ein Ausführungsbeispiel für einen entsprechenden Hauptschalter 2 mit Leistungshalbleitern 21, 22, 21a, 21b, 22a, 22b zeigt FIG 4. Um einen Strom in beiden Richtungen, d.h. einen Hinstrom $I_{1,\text{hin}}$ und einen Rückstrom $I_{1,\text{rück}}$ abschalten zu können, müssen mindestens zwei Leistungshalbleiter 21, 22, 21a, 21b,
25 22a, 22b in einer Reihenschaltung 25 angeordnet sein. Dabei ist ein erster Leistungshalbleiter 21a zum Abschalten des Hinstroms $I_{1,\text{hin}}$ angeordnet und ein zweiter Leistungshalbleiter 21b bezüglich seiner Sperrwirkung entgegengesetzt zum
30 erster Leistungshalbleiter 21a angeordnet. Zum Abbau von induktiver Energie, beispielsweise durch die Streuinduktivitäten des Transformators 3 oder der Leitungen kann ein spannungsbegrenzendes Element 26, insbesondere ein Varistor, parallel zu der Reihenschaltung 25 angeordnet werden.

35

Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, wenn in Reihe zu der Reihenschaltung ein Trenner 41 vorgesehen wird, dieser erlaubt das Schienenfahrzeug sicher vom Fahrdraht oder Strom-

5 schiene zu isolieren und spannungsfrei zu schalten. Dabei kann der Trenner 41 sowohl zwischen Hauptschalter 2 und Netzanschluss 12 als auch zwischen Hauptschalter 2 und Transformator 3 angeordnet werden. Bei der Anordnung zwischen Hauptschalter 2 und Netzanschluss 12 ergibt sich darüber hinaus der Vorteil, dass im abgeschalteten Zustand des Trenners 41 auch der Hauptschalter 2 potentialmäßig vom Fahrdraht sicher getrennt ist und dieser somit bei geöffnetem Trenner für Wartungsarbeiten zugänglich ist.

10

Die Ausrichtung der ersten und zweiten Leistungshalbleiter 21a, 21b der ersten Reihenschaltung 25 zum Abschalten von Hinstrom $I_{1,\text{hin}}$ und Rückstrom $I_{1,\text{rück}}$ kann auf die Ausrichtung der weiteren Leistungshalbleiter 22, 22a, 22b der zweiten Reihenschaltung 27, beispielsweise gemäß FIG 7, zum Schalten von Hinstrom $I_{2,\text{hin}}$ und Rückstrom $I_{2,\text{rück}}$ übertragen werden.

15

Um die Sperrwirkung zu erhöhen oder um einzelne Leistungshalbleiter 21, 22, 21a, 21b, 22a, 22b mit geringerer Sperrspannung einsetzen zu können, hat es sich als vorteilhaft erwiesen mehrere erste Leistungshalbleiter 21a, 22a und mehrere zweite Leistungshalbleiter 21b, 22b in einer Reihenschaltung anzuordnen, da damit eine für das Bahnnetz hinreichenden Sperrspannung realisiert werden kann. Ein Ausführungsbeispiel dafür zeigt FIG 6. Insbesondere bei einer Anordnung von gleichartigen ersten Leistungshalbleitern 21a, 22a und zweiten Leistungshalbleitern 21b, 22b ergeben sich dann bei der Reihenschaltung kaum Unterschiede in der Aufteilung der Sperrspannung auf die einzelnen Leistungshalbleiter. Eine entsprechende Fehlauflage kann durch zusätzliche in Reihe angeordnete Leistungshalbleiter 21, 22 berücksichtigt werden. Um eine zu große anliegende Sperrspannung zu vermeiden, können auch Teile der Reihenschaltung 25 mit entsprechenden weiteren spannungsbegrenzenden Elementen 26 gesichert werden.

25

30

35

ter 22a aufweist, ein spannungsbegrenzendes Element 26 angeordnet werden.

Zur Vermeidung von Wiederholungen wurde in den Figuren 5 und 6 auf die Darstellung eines Trenners 41 verzichtet. Die sichere Trennung kann allerdings auch hier, genauso wie in der FIG 7 mit einem solchen Trenner 41, wie bereits beschrieben, vorgenommen werden.

10 FIG 7 zeigt einen Hybridschalter als Hauptschalter 2. Der unten dargestellte Zweig kann dabei alternativ nach einem der Figuren 4 bis 6 oder einer Kombination dieser Ausführungen ausgebildet sein. Erweitert wurde dieser Hauptschalter um einen oben dargestellten Hauptzweig. Dieser weist eine zweite
15 Reihenschaltung 27 von mindestens zwei weiteren Leistungshalbleitern 22, 22a, 22b auf. Im Nennbetrieb führt der Hauptzweig den Netzstrom i_{Netz} . Zum Abschalten des Stroms werden die weiteren Leistungshalbleiter 22, 22a, 22b gesperrt und der Strom fließt über den unteren Zweig. Da der untere Zweig
20 leitend ist, fällt keine nennenswerte Sperrspannung über der zweiten Reihenschaltung 27 ab. Gleichzeitig mit dem Sperren der weiteren Leistungshalbleiter oder kurz danach wird der mechanische Schalter 28 geöffnet. Sobald dieser eine hinreichende Spannungsfestigkeit erreicht hat, d.h. eine Sperrspannung aufnehmen kann, die der Netzspannung des Bahnnetzes entspricht, werden die Leistungshalbleiter 21 der ersten Reihenschaltung 25 gesperrt. Als besonders vorteilhaft hat es sich erwiesen, nach dem Öffnen des mechanischen Schalters 28 maximal 3ms zu warten bis die Leistungshalbleiter 21 der ersten
30 Reihenschaltung 25 gesperrt werden.

Der Hybridschalter hat den Vorteil, dass er im Betrieb deutlich verlustärmer ist, da die elektrischen Verluste in der zweiten Reihenschaltung 27 deutlich kleiner gestaltbar sind
35 als die Verluste der ersten Reihenschaltung, weil diese keine so große Sperrspannung realisieren muss.

Zusammenfassend betrifft die Erfindung ein Antriebssystem für ein Schienenfahrzeug mit einem Transformator, einem Hauptschalter und einem Netzanschluss, wobei der Hauptschalter zwischen dem Netzanschluss und einer Primärwicklung des Transformators angeordnet ist. Zur Verbesserung des Antriebssystems wird vorgeschlagen dass der Transformator eine Kurzschlussspannung u_k von maximal 25% aufweist, wobei der Hauptschalter eine erste Reihenschaltung von mindestens zwei Leistungshalbleitern aufweist, wobei mittels eines ersten Leistungshalbleiters der mindestens zwei Leistungshalbleiter ein Strom durch die erste Reihenschaltung in Richtung vom Netzanschluss zum Transformator abschaltbar ist und mittels eines zweiten Leistungshalbleiters der mindestens zwei Leistungshalbleiter ein Strom durch die erste Reihenschaltung in Richtung vom Transformator zum Netzanschluss abschaltbar ist. Weiter betrifft die Erfindung ein Schienenfahrzeug mit einem solchen Antriebssystem, wobei der Netzanschluss des Antriebssystems mit einem Stromabnehmer elektrisch verbunden ist, wobei das Schienenfahrzeug für den Betrieb in einem Wechselspannungsnetz vorgesehen ist.

Patentansprüche

1. Antriebssystem (1) für ein Schienenfahrzeug aufweisend

- einen Transformator (3),

5 - einen Hauptschalter (2) und

- einen Netzanschluss (12),

wobei der Hauptschalter (2) zwischen dem Netzanschluss (12) und einer Primärwicklung (31) des Transformators (3) angeordnet ist,

10 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t , d a s s
der Transformator (3) eine Kurzschlussspannung (u_k) von maximal 25% aufweist, wobei der Hauptschalter (2) eine erste Reihenschaltung (25) von mindestens zwei Leistungshalbleitern (21,21a,21b) aufweist, wobei mittels eines ersten Leistungs-
15 halbleiters (21a) der mindestens zwei Leistungshalbleiter (21) ein Strom ($I_{1,hin}$) durch die erste Reihenschaltung (25) in Richtung vom Netzanschluss (12) zum Transformator (3) abschaltbar ist und mittels eines zweiten Leistungshalbleiters (21b) der mindestens zwei Leistungshalbleiter (21) ein Strom
20 ($I_{1,rück}$) durch die erste Reihenschaltung (25) in Richtung vom Transformator (3) zum Netzanschluss (12) abschaltbar ist.

2. Antriebssystem (1) nach Anspruch 1, wobei der Transformator (3) eine Kurzschlussspannung (u_k) im Bereich zwischen 5%
25 und 8% aufweist.

3. Antriebssystem (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, wobei parallel zu der ersten Reihenschaltung (25) von mindestens zwei Leistungshalbleitern (21,21a,21b) ein spannungsbegrenzendes Element (26), insbesondere ein Varistor, angeordnet
30 ist.

4. Antriebssystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Hauptschalter (2) einen Trenner (41) aufweist, wobei der
35 Trenner (41) in Reihe zu der ersten Reihenschaltung (25) von mindestens zwei Leistungshalbleitern (21,21a,21b) angeordnet ist.

5. Antriebssystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Antriebssystem (1) eine Schutzvorrichtung aufweist, mit der ein Netzstrom (i_{Netz}) erfassbar ist, der vom Netzanschluss (12) zum Transformator (3) fließt, wobei die Schutzvorrichtung derart mit dem Hauptschalter (2) verbunden ist, dass bei Überschreitung eines Grenzwertes (I_{Gr}) durch den Netzstrom (i_{Netz}) der Hauptschalter (2) auslösbar ist.

6. Antriebssystem (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Hauptschalter (2) eine zweite Reihenschaltung (27) von mindestens zwei weiteren Leistungshalbleitern (22, 22a, 22b) aufweist, wobei mittels eines ersten weiteren Leistungshalbleiters (22a) der mindestens zwei weiteren Leistungshalbleiter (22) ein Strom ($I_{2,\text{hin}}$) durch die zweite Reihenschaltung (27) in Richtung vom Netzanschluss (12) zum Transformator (3) abschaltbar ist und durch einen zweiten weiteren Leistungshalbleiter (22b) der mindestens zwei weiteren Leistungshalbleiter (22) ein Strom ($I_{2,\text{rück}}$) durch die zweite Reihenschaltung (27) in Richtung vom Transformator (3) zum Netzanschluss (12) abschaltbar ist, wobei in Reihe zu der zweiten Reihenschaltung (27) ein mechanischer Schalter (28) angeordnet ist, wobei die erste Reihenschaltung (25) parallel zu der in Reihe angeordneten zweiten Reihenschaltung (27) und dem mechanischen Schalter (28) angeordnet ist, wobei die Sperrfähigkeit der ersten Reihenschaltung (25) von mindestens zwei Leistungshalbleitern (21) größer ist als die Sperrfähigkeit der zweiten Reihenschaltung (27) von mindestens zwei weiteren Leistungshalbleitern (22).

7. Antriebssystem (1) nach Anspruch 6, wobei die Anzahl der in Reihe angeordneten Leistungshalbleiter (21) der ersten Reihenschaltung (25) größer ist als die Anzahl der in Reihe angeordneten Leistungshalbleiter (22) der zweiten Reihenschaltung (27).

8. Antriebssystem (1) nach einem der Ansprüche 6 oder 7, wobei die zweite Reihenschaltung (27) genau zwei weitere Leistungshalbleiter (22a, 22b) aufweist.

9. Schienenfahrzeug mit einem Antriebssystem nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei der Netzanschluss (12) des Antriebssystems (1) mit einem Stromabnehmer (8) elektrisch verbunden ist, wobei das Schienenfahrzeug für den Betrieb in einem Wechsellspannungsnetz vorgesehen ist.

10. Verfahren zum Betreiben eines Antriebssystems (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8 oder eines Schienenfahrzeugs nach Anspruch 9, wobei der Netzanschluss (12) des Antriebssystems (1) mit einem Fahrdraht (10) oder einer Stromschiene elektrisch verbunden ist, wobei bei Erkennen eines Kurzschlusses auf der Sekundärseite des Transformators (3) die mindestens zwei Leistungshalbleiter (21,21a,21b) der ersten Reihenschaltung (25) gesperrt werden.

11. Verfahren nach Anspruch 10 für ein Antriebssystem (1) gemäß einem der Ansprüche 7 bis 8, wobei vor dem Sperren der mindestens zwei Leistungshalbleiter (21,21a,21b) der ersten Reihenschaltung (25) die mindestens zwei weiteren Leistungshalbleiter (22,22a,22b) der zweiten Reihenschaltung (27) gesperrt werden und der mechanische Schalter (28) geöffnet wird, wobei eine Zeitspanne zwischen dem Öffnen des mechanischen Schalters (28) und dem Sperren der mindestens zwei Leistungshalbleiter (21,21a,21b) der ersten Reihenschaltung (25) derart groß gewählt wird, dass der Schalter eine Spannungsfestigkeit erreicht, die den Wert der Spannung des Fahrdrahtes (10) übersteigt.

12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei die Zeitspanne weniger als 3ms beträgt.

13. Verwendung eines Hauptschalters (2) zum Abschalten eines Kurzschlussstromes in einem mit Wechselspannung betreibbaren Schienenfahrzeug, wobei das Schienenfahrzeug einen Stromabnehmer (8) und einen Transformator (3) umfasst, wobei der Hauptschalter (2) eine erste Reihenschaltung (25) von mindestens zwei Leistungshalbleitern (21,21a,21b) aufweist, wobei mittels eines ersten (21a) der mindestens zwei Leistungshal-

leiter (21) ein Strom ($I_{1,\text{hin}}$) durch die erste Reihenschaltung (25) in Richtung vom Stromabnehmer (8) zum Transformator (3) abschaltbar ist und durch einen zweiten (22a) der mindestens zwei Leistungshalbleiter (22) ein Strom ($I_{1,\text{rück}}$) durch die
5 erste Reihenschaltung (25) in Richtung vom Transformator (3) zum Stromabnehmer (8) abschaltbar ist.

14. Verwendung eines Hauptschalters (2) nach Anspruch 13, wobei der Hauptschalter (2) eine zweite Reihenschaltung (27)
10 von mindestens zwei weiteren Leistungshalbleitern (22, 22a, 22b) aufweist, wobei mittels eines ersten weiteren Leistungshalbleiters (22a) der mindestens zwei weiteren Leistungshalbleiter (22) ein Strom ($I_{2,\text{hin}}$) durch die zweite Reihenschaltung (27) in Richtung vom Stromabnehmer (8) zum Transformator
15 (3) abschaltbar ist und durch einen zweiten weiteren Leistungshalbleiter (22b) der mindestens zwei weiteren Leistungshalbleiter (22) ein Strom ($I_{2,\text{rück}}$) durch die zweite Reihenschaltung (27) in Richtung vom Transformator (3) zum Stromabnehmer (8) abschaltbar ist, wobei in Reihe zu der zweiten
20 Reihenschaltung (27) ein mechanischer Schalter (28) angeordnet ist, wobei die erste Reihenschaltung (25) parallel zu der in Reihe angeordneten zweiten Reihenschaltung (25) und dem mechanischen Schalter (28) angeordnet ist, wobei die Sperrfähigkeit der ersten Reihenschaltung (25) größer ist als die
25 Sperrfähigkeit der zweiten Reihenschaltung (27).

FIG 1

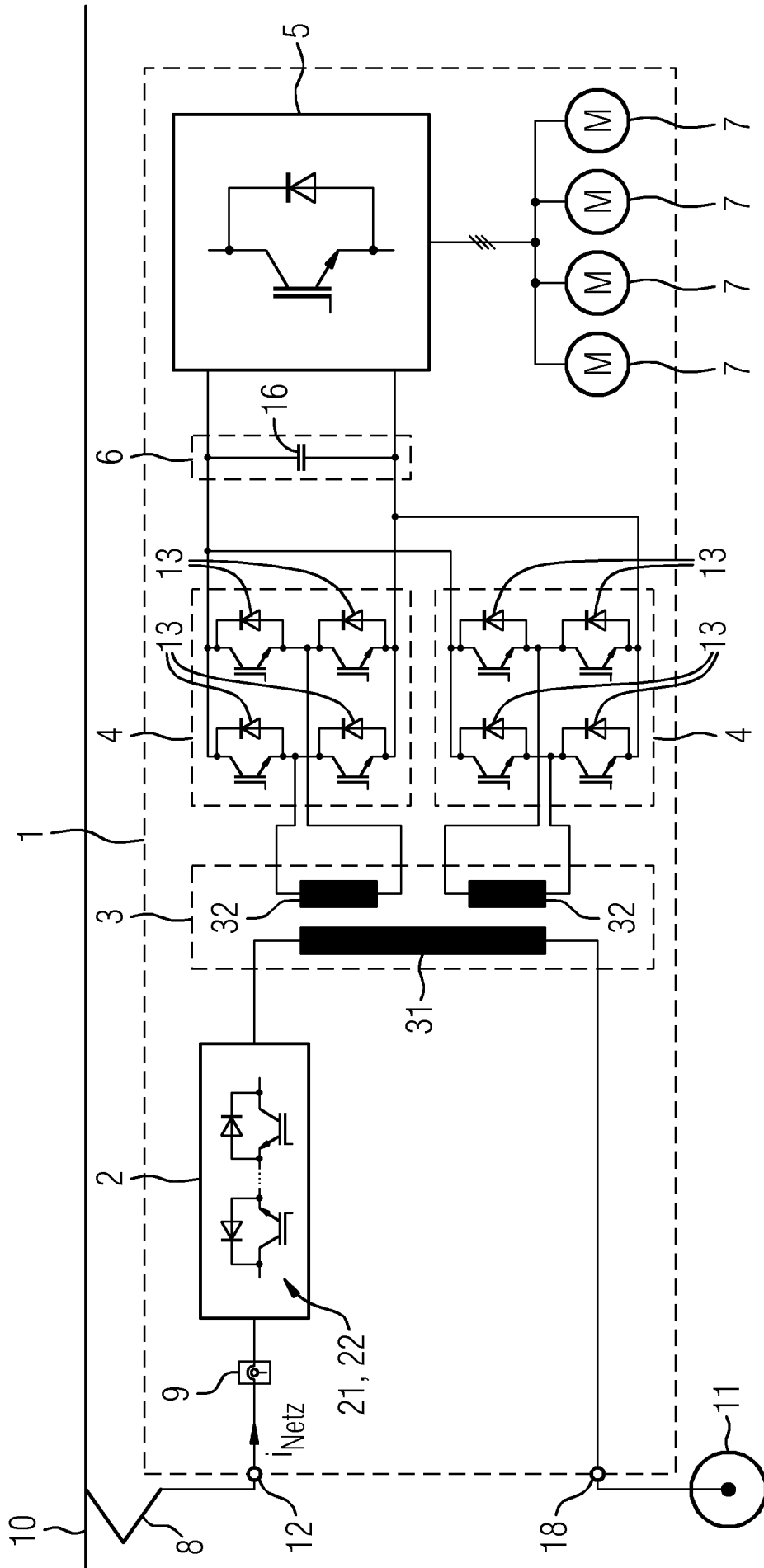


FIG 2

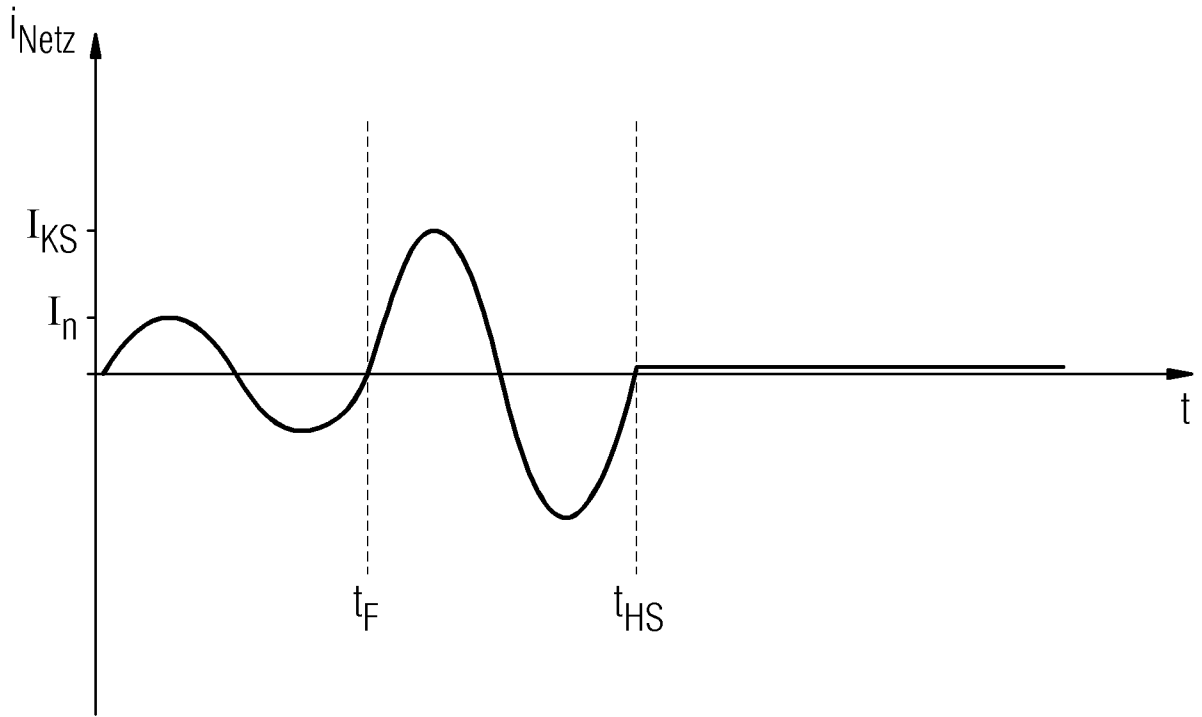


FIG 3

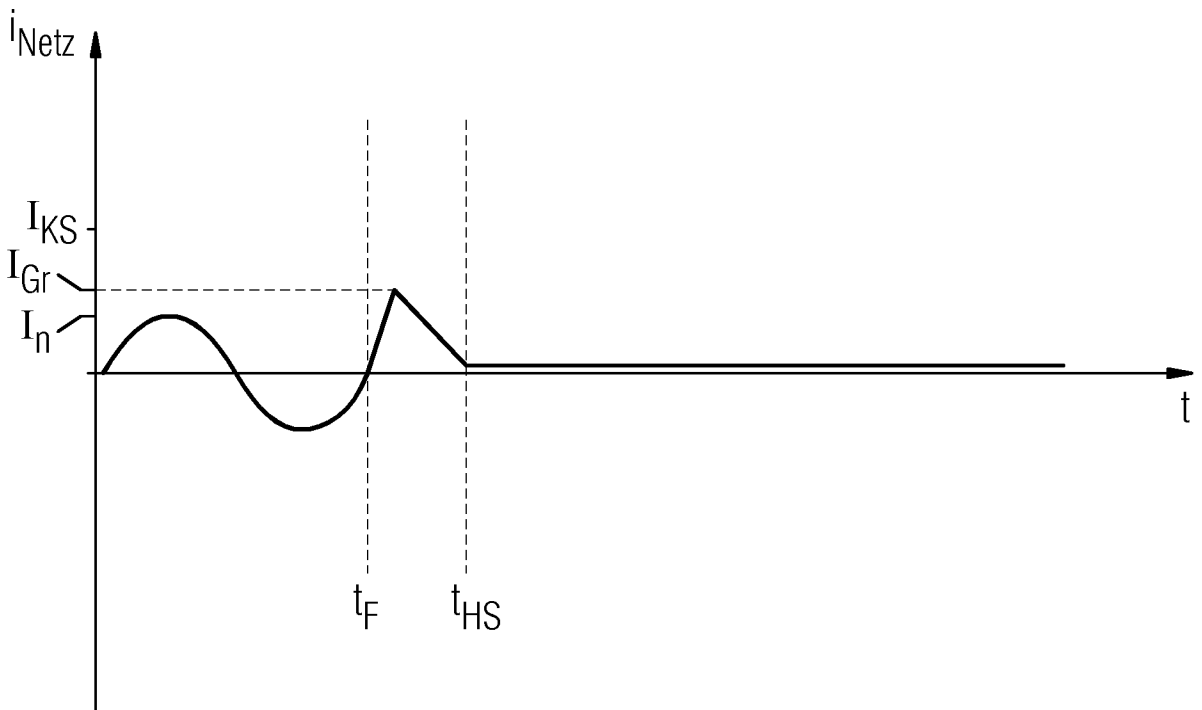


FIG 4

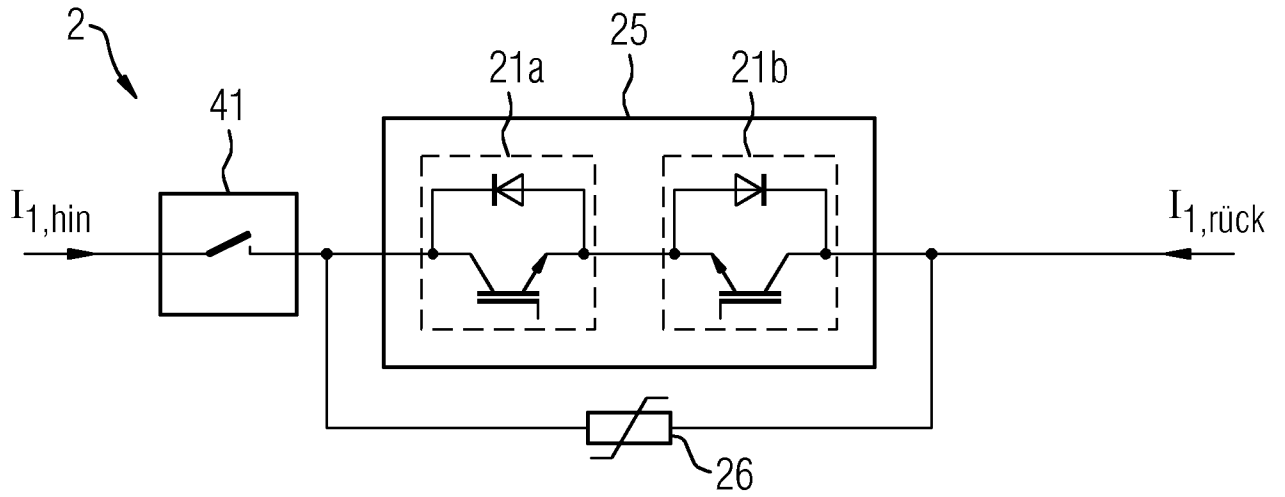


FIG 5

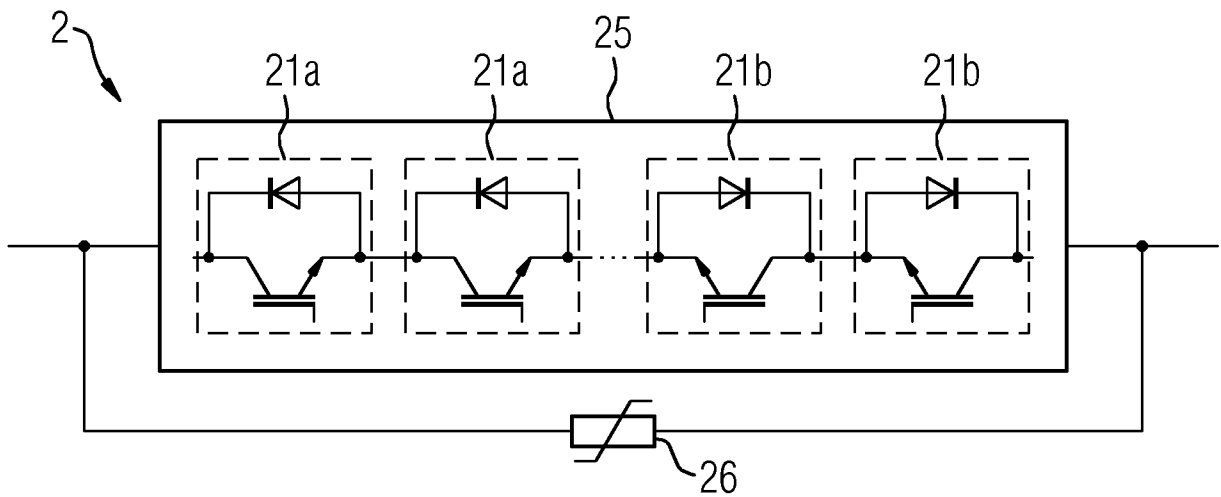


FIG 6

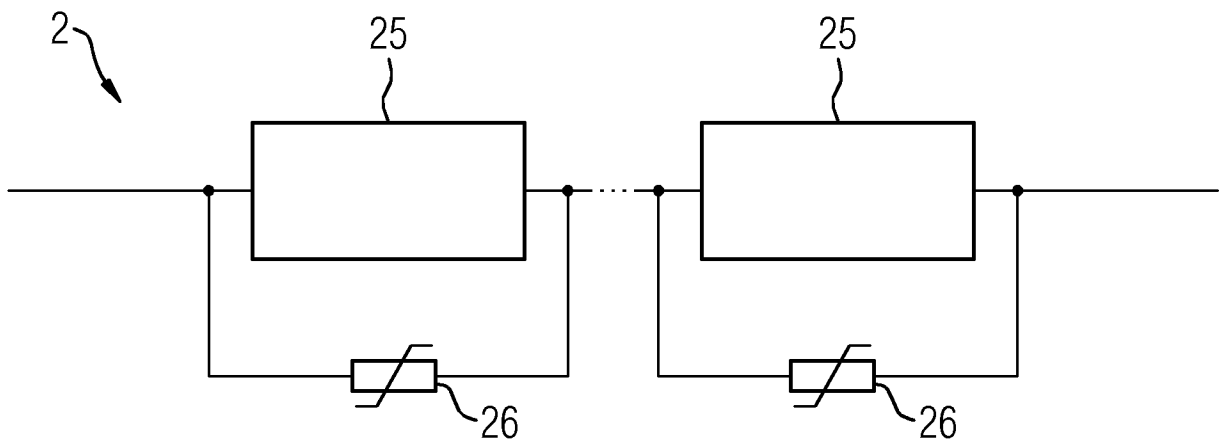
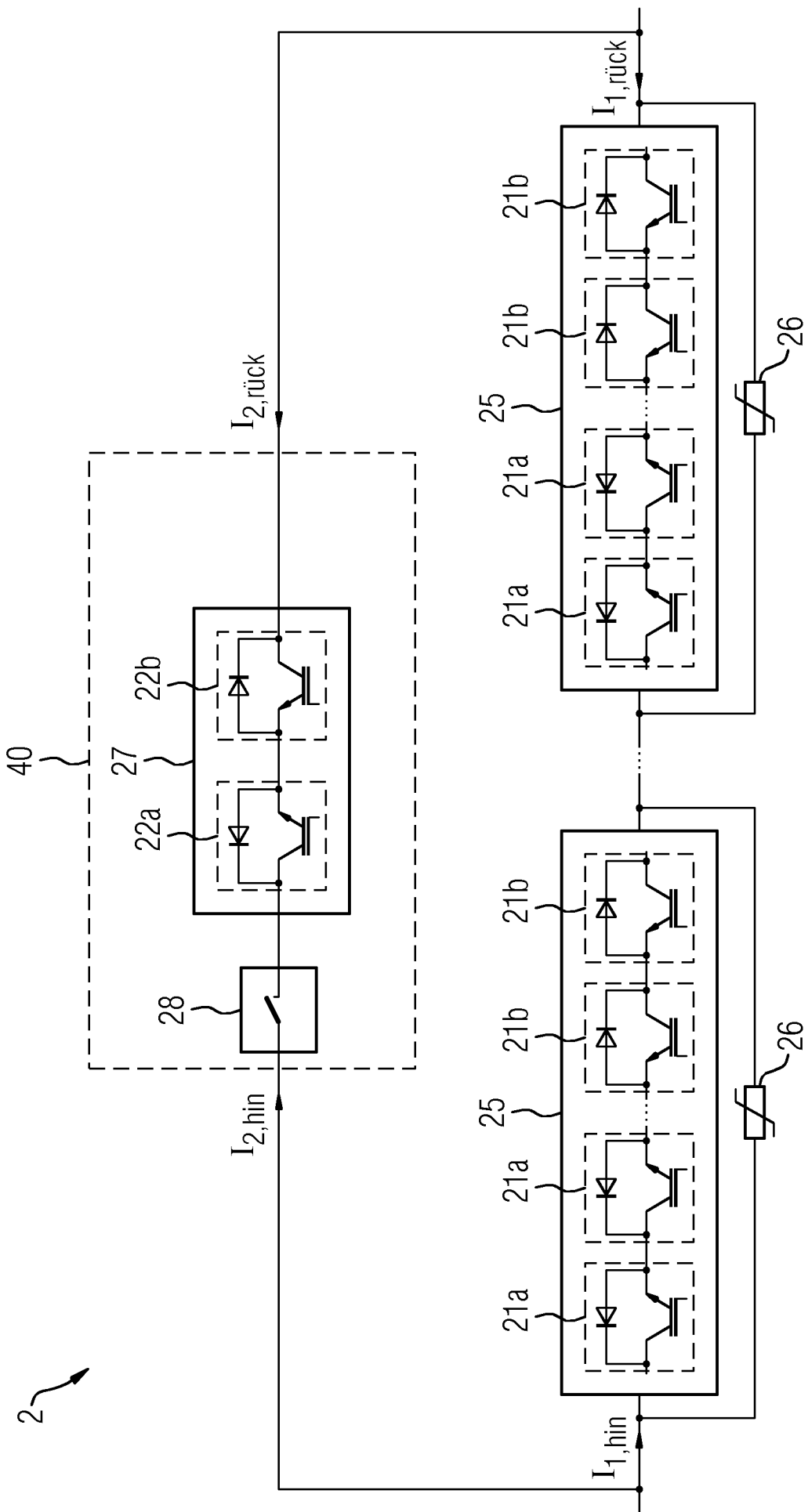


FIG 7



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/065627

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
 INV. B60L3/00 B60L3/04 B60L9/00 H02H3/08 H02H3/05
 H02H7/125 H02H7/12
 ADD.
 According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED
 Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
 B60L H02H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
 EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 199 31 199 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 18 January 2001 (2001-01-18) figure 1	1-14
Y	WO 2015/058813 A1 (SIEMENS AG [DE]) 30 April 2015 (2015-04-30) claim 1; figures 4,5 pages 1,14-16; figure 4	1-14
X	DE 198 39 617 A1 (SIEMENS AG [DE]) 9 March 2000 (2000-03-09) page 2; claim 4s; figure 1	1,10,13
Y	DE 10 2011 006118 A1 (SIEMENS AG [DE]) 27 September 2012 (2012-09-27) paragraph [0018]	2
	----- -/--	

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

<p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&" document member of the same patent family</p>
---	---

Date of the actual completion of the international search 6 September 2017	Date of mailing of the international search report 16/10/2017
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer Schury, Dominik
--	---

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2017/065627

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 10 2010 052136 A1 (SIEMENS AG [DE]) 24 May 2012 (2012-05-24) paragraphs [0053] - [0055]; figure 18 -----	3
Y	EP 2 075 907 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 1 July 2009 (2009-07-01) paragraphs [0051], [0088], [0096]; claims 34,35 -----	1
Y	SANO KENICHIRO ET AL: "A Surgeless Solid-State DC Circuit Breaker for Voltage-Source-Converter-Based HVDC Systems", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, vol. 50, no. 4, 2 July 2014 (2014-07-02), pages 2690-2699, XP011553336, ISSN: 0093-9994, DOI: 10.1109/TIA.2013.2293819 [retrieved on 2014-07-15] figure 6 -----	1,10,13
A	US 2016/142004 A1 (OTANI HIROAKI [JP] ET AL) 19 May 2016 (2016-05-19) figure 6 -----	1-14
Y	DE 196 53 727 A1 (SIEMENS AG [DE]) 18 June 1998 (1998-06-18) claim 1; figure 1 -----	1,10
A	EP 2 843 836 A1 (AIRBUS OPERATIONS GMBH [DE]) 4 March 2015 (2015-03-04) paragraph [0027]; figure 3 -----	1-14
A	GB 2 517 742 A (EATON IND NETHERLANDS BV [NL]) 4 March 2015 (2015-03-04) claim 1 -----	1-14
A	GB 2 221 794 A (ASS ELECT IND [GB]) 14 February 1990 (1990-02-14) claim 1; figure 1 -----	1-14
Y	US 2001/012207 A1 (NOMURA YOSHIHITO [JP]) 9 August 2001 (2001-08-09) paragraphs [0024], [0036]; figure 1 -----	1,10,13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/065627

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19931199	A1	18-01-2001	AT 406282 T 15-09-2008
			CA 2343247 A1 18-01-2001
			CZ 20011061 A3 16-01-2002
			DE 19931199 A1 18-01-2001
			EP 1112196 A1 04-07-2001
			ES 2312353 T3 01-03-2009
			JP 2003505002 A 04-02-2003
			PL 346468 A1 11-02-2002
			RU 2183570 C1 20-06-2002
			US 6538412 B1 25-03-2003
			WO 0103965 A1 18-01-2001

WO 2015058813	A1	30-04-2015	CN 105706204 A 22-06-2016
			EP 3044799 A1 20-07-2016
			KR 20160074673 A 28-06-2016
			US 2016268082 A1 15-09-2016
			WO 2015058813 A1 30-04-2015

DE 19839617	A1	09-03-2000	CN 1317167 A 10-10-2001
			CN 1848578 A 18-10-2006
			DE 19839617 A1 09-03-2000
			EP 1110286 A1 27-06-2001
			EP 1213813 A2 12-06-2002
			US 6665591 B1 16-12-2003
			WO 0013280 A1 09-03-2000

DE 102011006118	A1	27-09-2012	NONE

DE 102010052136	A1	24-05-2012	CN 103299544 A 11-09-2013
			DE 102010052136 A1 24-05-2012
			EP 2643930 A2 02-10-2013
			KR 20130132489 A 04-12-2013
			RU 2013128531 A 27-12-2014
			US 2013256109 A1 03-10-2013
			WO 2012069468 A2 31-05-2012

EP 2075907	A1	01-07-2009	CA 2666250 A1 24-04-2008
			CN 101529715 A 09-09-2009
			EP 2075907 A1 01-07-2009
			HK 1134592 A1 19-04-2013
			JP 4120708 B2 16-07-2008
			JP W02008047439 A1 18-02-2010
			KR 20090052897 A 26-05-2009
			US 2010079093 A1 01-04-2010
			WO 2008047439 A1 24-04-2008

US 2016142004	A1	19-05-2016	CN 105493395 A 13-04-2016
			JP W02015020009 A1 02-03-2017
			US 2016142004 A1 19-05-2016
			WO 2015020009 A1 12-02-2015

DE 19653727	A1	18-06-1998	NONE

EP 2843836	A1	04-03-2015	NONE

GB 2517742	A	04-03-2015	NONE

GB 2221794	A	14-02-1990	NONE

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/065627

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
US 2001012207	A1	09-08-2001	JP 3361047 B2	07-01-2003
			JP H11215841 A	06-08-1999
			KR 19990068197 A	25-08-1999
			US 2001012207 A1	09-08-2001

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2017/065627

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES INV. B60L3/00 B60L3/04 B60L9/00 H02H3/08 H02H3/05 H02H7/125 H02H7/12		
ADD. Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) B60L H02H		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 199 31 199 A1 (DAIMLER CHRYSLER AG [DE]) 18. Januar 2001 (2001-01-18) Abbildung 1 -----	1-14
Y	WO 2015/058813 A1 (SIEMENS AG [DE]) 30. April 2015 (2015-04-30) Anspruch 1; Abbildungen 4,5 Seiten 1,14-16; Abbildung 4 -----	1-14
X	DE 198 39 617 A1 (SIEMENS AG [DE]) 9. März 2000 (2000-03-09) Seite 2; Anspruch 4s; Abbildung 1 -----	1,10,13
Y	DE 10 2011 006118 A1 (SIEMENS AG [DE]) 27. September 2012 (2012-09-27) Absatz [0018] -----	2
----- -/--		
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts	
6. September 2017	16/10/2017	
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Schury, Dominik	

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 10 2010 052136 A1 (SIEMENS AG [DE]) 24. Mai 2012 (2012-05-24) Absätze [0053] - [0055]; Abbildung 18 -----	3
Y	EP 2 075 907 A1 (MITSUBISHI ELECTRIC CORP [JP]) 1. Juli 2009 (2009-07-01) Absätze [0051], [0088], [0096]; Ansprüche 34,35 -----	1
Y	SANO KENICHIRO ET AL: "A Surgeless Solid-State DC Circuit Breaker for Voltage-Source-Converter-Based HVDC Systems", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, IEEE SERVICE CENTER, PISCATAWAY, NJ, US, Bd. 50, Nr. 4, 2. Juli 2014 (2014-07-02), Seiten 2690-2699, XP011553336, ISSN: 0093-9994, DOI: 10.1109/TIA.2013.2293819 [gefunden am 2014-07-15] Abbildung 6 -----	1,10,13
A	US 2016/142004 A1 (OTANI HIROAKI [JP] ET AL) 19. Mai 2016 (2016-05-19) Abbildung 6 -----	1-14
Y	DE 196 53 727 A1 (SIEMENS AG [DE]) 18. Juni 1998 (1998-06-18) Anspruch 1; Abbildung 1 -----	1,10
A	EP 2 843 836 A1 (AIRBUS OPERATIONS GMBH [DE]) 4. März 2015 (2015-03-04) Absatz [0027]; Abbildung 3 -----	1-14
A	GB 2 517 742 A (EATON IND NETHERLANDS BV [NL]) 4. März 2015 (2015-03-04) Anspruch 1 -----	1-14
A	GB 2 221 794 A (ASS ELECT IND [GB]) 14. Februar 1990 (1990-02-14) Anspruch 1; Abbildung 1 -----	1-14
Y	US 2001/012207 A1 (NOMURA YOSHIHITO [JP]) 9. August 2001 (2001-08-09) Absätze [0024], [0036]; Abbildung 1 -----	1,10,13

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/065627

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19931199	A1	18-01-2001	AT 406282 T 15-09-2008
			CA 2343247 A1 18-01-2001
			CZ 20011061 A3 16-01-2002
			DE 19931199 A1 18-01-2001
			EP 1112196 A1 04-07-2001
			ES 2312353 T3 01-03-2009
			JP 2003505002 A 04-02-2003
			PL 346468 A1 11-02-2002
			RU 2183570 C1 20-06-2002
			US 6538412 B1 25-03-2003
			WO 0103965 A1 18-01-2001
WO 2015058813	A1	30-04-2015	CN 105706204 A 22-06-2016
			EP 3044799 A1 20-07-2016
			KR 20160074673 A 28-06-2016
			US 2016268082 A1 15-09-2016
			WO 2015058813 A1 30-04-2015
DE 19839617	A1	09-03-2000	CN 1317167 A 10-10-2001
			CN 1848578 A 18-10-2006
			DE 19839617 A1 09-03-2000
			EP 1110286 A1 27-06-2001
			EP 1213813 A2 12-06-2002
			US 6665591 B1 16-12-2003
			WO 0013280 A1 09-03-2000
DE 102011006118	A1	27-09-2012	KEINE
DE 102010052136	A1	24-05-2012	CN 103299544 A 11-09-2013
			DE 102010052136 A1 24-05-2012
			EP 2643930 A2 02-10-2013
			KR 20130132489 A 04-12-2013
			RU 2013128531 A 27-12-2014
			US 2013256109 A1 03-10-2013
			WO 2012069468 A2 31-05-2012
EP 2075907	A1	01-07-2009	CA 2666250 A1 24-04-2008
			CN 101529715 A 09-09-2009
			EP 2075907 A1 01-07-2009
			HK 1134592 A1 19-04-2013
			JP 4120708 B2 16-07-2008
			JP WO2008047439 A1 18-02-2010
			KR 20090052897 A 26-05-2009
			US 2010079093 A1 01-04-2010
			WO 2008047439 A1 24-04-2008
US 2016142004	A1	19-05-2016	CN 105493395 A 13-04-2016
			JP WO2015020009 A1 02-03-2017
			US 2016142004 A1 19-05-2016
			WO 2015020009 A1 12-02-2015
DE 19653727	A1	18-06-1998	KEINE
EP 2843836	A1	04-03-2015	KEINE
GB 2517742	A	04-03-2015	KEINE
GB 2221794	A	14-02-1990	KEINE

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2017/065627

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
<hr/>			
US 2001012207 A1	09-08-2001	JP 3361047 B2	07-01-2003
		JP H11215841 A	06-08-1999
		KR 19990068197 A	25-08-1999
		US 2001012207 A1	09-08-2001
<hr/>			