

(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
24. September 2015 (24.09.2015)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2015/139063 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

F16H 3/72 (2006.01) H02P 5/753 (2006.01)
F04D 25/02 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/AT2015/000045

(22) Internationales Anmeldedatum:
17. März 2015 (17.03.2015)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
A 189/2014 17. März 2014 (17.03.2014) AT

(72) Erfinder; und

(71) Anmelder : HEHENBERGER, Gerald [AT/AT];
Kinkstrasse 30, 9020 Klagenfurt (AT).

(74) Anwalt: BEER & PARTNER PATENTANWÄLTE
KG; Lindengasse 8, 1070 Wien (AT).

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, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, 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, 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).

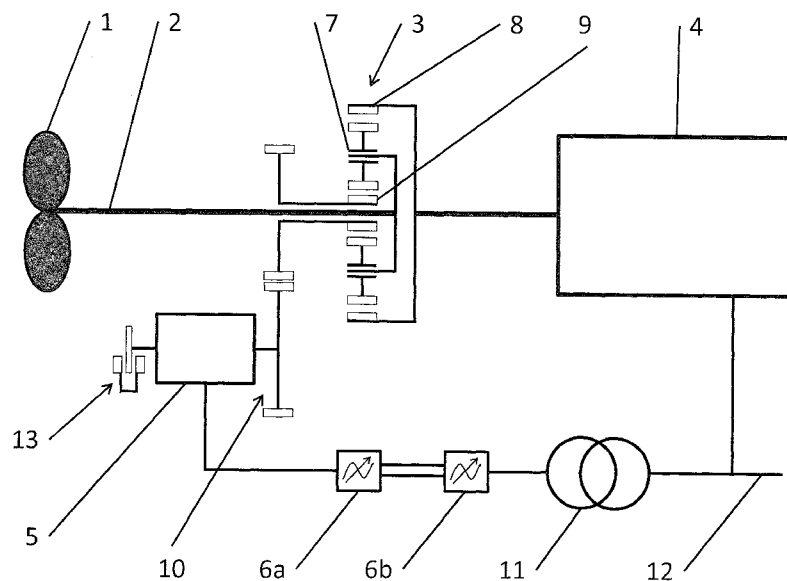
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: METHOD FOR OPERATING A POWERTRAIN, AND POWERTRAIN

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES TRIEBSTRANGES UND TRIEBSTRANG

Fig. 1



(57) Abstract: The invention relates to a method and a drive for starting-up a powertrain comprising a driveshaft 2, a drive machine 4, and a differential transmission 3 with three drives or outputs. One output is connected to the driveshaft 2, one first drive is connected to the drive machine 4, and one second drive is connected to a differential drive 5. The drive machine 4 is accelerated by the differential drive 5 and is synchronized with the grid 12 while a braking torque acts on the driveshaft 2. In an acceleration phase of the driveshaft 2, the second drive is braked.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2015/139063 A1



Bei einem Verfahren und einem Antrieb zum Anfahren eines Triebstranges mit einer Antriebswelle 2, einer Antriebsmaschine 4 und mit einem Differenzialgetriebe 3 mit drei An- bzw. Abtrieben, wobei ein Abtrieb mit der Antriebswelle 2, ein erster Antrieb mit der Antriebsmaschine 4 und ein zweiter Antrieb mit einem Differenzialantrieb 5 verbunden ist, wird die Antriebsmaschine 4 mit dem Differenzialantrieb 5 beschleunigt und mit dem Netz 12 synchronisiert, während auf die Antriebswelle 2 ein bremsendes Drehmoment wirkt. In einer Beschleunigungsphase der Antriebswelle 2 wird der zweite Antrieb gebremst.

Verfahren zum Betreiben eines Triebstranges und Triebstrang

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Starten eines Triebstranges mit einer Antriebswelle, einer Antriebsmaschine und mit einem Differenzialgetriebe mit drei An- bzw. Abtrieben, wobei ein Abtrieb mit der Antriebswelle, ein erster Antrieb mit der Antriebsmaschine und ein zweiter Antrieb mit einem Differenzialantrieb verbunden ist.

Die Erfindung betrifft des Weiteren einen Triebstrang zum Ausführen des Verfahrens mit einer Antriebswelle, einer Antriebsmaschine und mit einem Differenzialgetriebe mit drei An- bzw. Abtrieben, wobei ein Abtrieb mit der Antriebswelle, ein Antrieb mit der Antriebsmaschine und ein zweiter Antrieb mit einem Differenzialantrieb verbunden ist.

Eine immer häufiger gestellte Forderung an den Antrieb von Arbeitsmaschinen, wie Fördereinrichtungen, z.B. Pumpen, Kompressoren, Ventilatoren usw., ist ein effizienter drehzahlvariabler Betrieb. Im Weiteren werden elektrische Maschinen als Beispiel für entsprechende Antriebsmaschinen herangezogen, das Prinzip gilt aber für alle möglichen Arten von Antriebsmaschinen, so wie z.B. auch für Verbrennungskraftmaschinen.

Die am häufigsten verwendeten elektrischen Antriebe sind heutzutage Drehstrommaschinen wie z.B. Asynchronmotoren und Synchronmotoren. Diese Drehstrommaschinen sind zwar robust und kostengünstig, können jedoch keinen Betrieb mit variabler Drehzahl realisieren. Gleichzeitig entspricht die Stromaufnahme einer Drehstrommaschine beim Start von Drehzahl Null aus typischerweise dem etwa 10-fachen Nennstrom, was während des Startvorganges eine entsprechend hohe elektrische Last für das Netz verursacht.

Elektrische Maschinen werden daher aus diesen Gründen, anstatt direkt an ein Netz angeschlossen zu werden, häufig in Kombination mit einem Frequenzumrichter als drehzahlvariablem Antrieb ausgeführt. Damit kann man einerseits ein Anfahren von Drehzahl Null realisieren, ohne das Netz zu belasten, und andererseits die Arbeitsmaschine mit optimaler Drehzahl antreiben. Die Lösung ist jedoch teuer und mit wesentlichen Wirkungsgradeinbußen verbunden. Eine im Vergleich dazu

kostengünstigere und auch bezüglich Wirkungsgrad bessere Alternative ist der Einsatz von Differenzialsystemen, beispielsweise gemäß AT 507394 A. Grundsätzliche Einschränkung bei bekannten Ausführungen hierbei ist jedoch, dass abhängig vom Übersetzungsverhältnis der Differenzialstufe nur ein relativ kleiner Arbeitsdrehzahlbereich bzw. praktisch keine niedrigen Drehzahlen an der Antriebswelle einer Arbeitsmaschine erreicht werden können.

Um dies zu realisieren gibt es verschiedene Möglichkeiten. Gemäß deutschem Gebrauchsmuster DE 20 2012 101 708 U beispielsweise kann man das Übersetzungsverhältnis des Differenzialgetriebes auf 1 festlegen. Damit kann man mit dem Differenzialantrieb den kompletten Triebstrang antreiben bzw. die Antriebsmaschine auf Synchrondrehzahl bringen und diese in weiterer Folge mit dem Netz synchronisieren.

Nachteil dieser Lösung ist, dass der Differenzialantrieb bzw. dessen Frequenzumrichter wesentlich kleiner dimensioniert ist als die Antriebsmaschine und daher auch nur ein entsprechend kleines Drehmoment liefern kann.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Lösung zu finden, mit der man Antriebsmaschinen mit dem Netz im Wesentlichen stoßfrei synchronisieren und zusätzlich die Arbeitsmaschine von Drehzahl Null weg starten kann.

Gelöst wird diese Aufgabe bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch, dass die Antriebsmaschine mit dem Differenzialantrieb beschleunigt und mit dem Netz synchronisiert wird, während auf die Antriebswelle ein bremsendes Drehmoment wirkt, und dass in einer Beschleunigungsphase der Antriebswelle der zweite Antrieb gebremst wird.

Gelöst wird diese Aufgabe des Weiteren mit einem Triebstrang durch eine Bremse oder Rücklaufsperre, die auf den Abtrieb wirkt.

Der Kern eines Differenzialsystems ist ein Differenzialgetriebe, das in einer einfachen Ausführung eine einfache Planetengetriebestufe mit drei An- bzw. Abtrieben sein kann, wobei ein Abtrieb mit der

Antriebswelle einer Arbeitsmaschine, ein erster Antrieb mit der Antriebsmaschine und ein zweiter Antrieb mit einem Differenzialantrieb verbunden ist. Damit kann die Arbeitsmaschine bei konstanter Drehzahl der Antriebsmaschine drehzahlvariabel betrieben werden, indem der Differenzialantrieb die Drehzahldifferenz ausgleicht.

Um eine Antriebsmaschine vom Stillstand aus vorzugsweise auf Synchrondrehzahl zu bringen und zusätzlich eine Arbeitsmaschine von Drehzahl Null anfahren zu können, kann das Starten des Systems erfindungsgemäß z.B. wie folgt in 2 Phasen stattfinden:

Phase 1: Die Antriebsmaschine wird vorzugsweise zuerst mit einem Differenzialantrieb auf (zumindest näherungsweise) Synchrondrehzahl gebracht und dann mit dem Netz synchronisiert. Dabei bleibt das Differenzialgetriebe während dieses Startvorganges, abgesehen von den zu überwindenden massenträgheitsmomentbedingten Reaktionskräften vom ersten Antrieb bzw. der damit verbundenen Antriebsmaschine, weitgehend frei von äußeren mechanischen Lasten. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass, bis die Antriebsmaschine ihre Nenndrehzahl erreicht hat, auf die Antriebswelle der Arbeitsmaschine ein entsprechend kleines antreibendes Drehmoment wirkt, wodurch die Arbeitsmaschine im Wesentlichen stehen bleibt. Der Differenzialantrieb erreicht während dieser Phase ein dem Übersetzungsverhältnis des Differenzialgetriebes entsprechendes Mehrfaches seiner Synchrondrehzahl.

Phase 2: Nachdem die Antriebsmaschine mit dem Netz verbunden ist, beginnt in der zweiten Phase das eigentliche Beschleunigen bzw. Starten der Arbeitsmaschine unter Last, indem der zweite Antrieb der Differenzialgetriebestufe mittels eines Differenzialantriebes verzögert wird. Für diese zweite Phase ist der Differenzialantrieb entsprechend dimensioniert (insbesondere in Hinblick auf die hohen Drehzahlen) und kann mittels des Frequenzumrichters bei maximal erforderlicher Drehzahl das für die Beschleunigung der Arbeitsmaschine erforderliche Bremsmoment erzeugen.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung mit Bezug auf die angeschlossenen Zeichnungen erläutert. Es zeigt:

- Fig. 1 das Prinzip eines erfindungsgemäßen Differenzialsystems für einen Antrieb einer Pumpe,
- Fig. 2 eine Drehmomentkennlinie einer Drehstrommaschine,
- Fig. 3 die im sogenannten Feldschwächebereich erzielbaren Drehmomente eines erfindungsgemäßen drehzahlvariablen Antriebs,
- Fig. 4 den Vergleich der Drehmomentkennlinien für eine Pumpe und einen drehzahlvariablen Antrieb beim Starten des Differenzialantriebes und
- Fig. 5 den Ablauf eines Startvorganges gemäß vorliegender Erfindung.

Fig. 1 zeigt den erfindungsgemäßen Aufbau eines Antriebs bzw. Differenzialsystems für einen Triebstrang am Beispiel einer Pumpe. Dabei ist die Arbeitsmaschine 1 der Rotor einer Pumpe, welcher über eine Antriebswelle 2 und ein Differenzialgetriebe 3 von einer Antriebsmaschine 4 angetrieben wird. Die Antriebsmaschine 4 ist in diesem Ausführungsbeispiel vorzugsweise eine Mittelspannungs-Drehstrommaschine, welche an ein Netz 12, das im gezeigten Beispiel aufgrund einer Mittelspannungs-Drehstrommaschine ein Mittelspannungsnetz ist, angeschlossen wird. Das gewählte Spannungsniveau hängt jedoch vom Einsatzfall und vor allem vom Leistungsniveau der Antriebsmaschine 4 ab und kann ohne Einfluss auf die Grundfunktion des erfindungsgemäßen Systems jedes gewünschte Spannungsniveau haben. Ein Planetenträger 7 ist mit der Antriebswelle 2 verbunden, die Antriebsmaschine 4 mit einem Hohlrad 8 und ein Sonnenrad 9 des Differenzialgetriebes 3 mit einem Differenzialantrieb 5. Der Kern des Differenzialsystems ist in dieser Ausführungsform somit eine einfache Planetengetriebestufe mit drei An- bzw. Abtrieben, wobei ein Abtrieb mit der Antriebswelle 2 der Arbeitsmaschine 1, ein erster Antrieb mit der Antriebsmaschine 4 und ein zweiter Antrieb mit dem Differenzialantrieb 5 verbunden ist.

Um den Drehzahlbereich des Differenzialantriebs 5 optimal anpassen zu können, wird optional ein Anpassungsgetriebe 10 zwischen dem Sonnenrad 9 und dem Differenzialantrieb 5 implementiert. Alternativ zur gezeigten Stirnradstufe kann das Anpassungsgetriebe 10 beispielsweise

auch mehrstufig sein bzw. als Zahnriemen oder Kettentrieb ausgeführt und/oder mit einer Planetengetriebestufe kombiniert bzw. als eine Planetengetriebestufe ausgeführt werden. Mit dem Anpassungsgetriebe 10 kann man darüber hinaus einen Achsversatz für den Differenzialantrieb 5 realisieren, der aufgrund der beispielhaft dargestellten, coaxialen Anordnung der Arbeitsmaschine 1 und der Antriebsmaschine 4 eine einfache Ausführung des Differenzialantriebes 5 ermöglicht. Mit dem Differenzialantrieb 5 ist eine Motorbremse 13 verbunden, welche den Differenzialantrieb 5 bei Bedarf bremst. Elektrisch ist der Differenzialantrieb 5 mittels vorzugsweise eines Niederspannungs-Frequenzumrichters, bestehend aus einem motorseitigen Wechselrichter 6a und einem netzseitigen Wechselrichter 6b, und eines Transformators 11 an das Netz 12 angebunden. Der Transformator gleicht allfällige vorhandene Spannungsdifferenzen zwischen dem Netz 12 und dem netzseitigen Wechselrichter 6b aus und kann bei Spannungsgleichheit zwischen der Antriebsmaschine 4, dem netzseitigen Wechselrichter 6b und dem Netz 12 entfallen. Die Wechselrichter 6a und 6b sind durch einen Gleichstromzwischenkreis verbunden. Wesentlicher Vorteil dieses Konzeptes ist, dass die die Hauptlast führende Antriebsmaschine 4 direkt, das heißt ohne aufwändige Leistungselektronik, an ein Netz 12 angebunden werden kann. Der Ausgleich zwischen variabler Rotordrehzahl und fixer Drehzahl der netzgebundenen Antriebsmaschine 4 wird durch den drehzahlvariablen Differenzialantrieb 5 realisiert.

Die Drehmomentgleichung für das Differenzialsystem lautet:

$$\text{Drehmoment}_{\text{Differenzialantrieb}} = \text{Drehmoment}_{\text{Antriebswelle}} \cdot y/x,$$

wobei der Größenfaktor y/x ein Maß für die Übersetzungsverhältnisse im Differenzialgetriebe 3 und im Anpassungsgetriebe 10 ist. Die Leistung des Differenzialantriebs 5 ist im Wesentlichen proportional dem Produkt aus prozentueller Abweichung der Pumpendrehzahl von deren Grunddrehzahl x Antriebswellenleistung. Dementsprechend erfordert ein großer Drehzahlbereich grundsätzlich eine entsprechend große Dimensionierung des Differenzialantriebs 5. Darin ist auch der Grund zu sehen, warum Differenzialsysteme für kleine Drehzahlbereiche besonders gut geeignet sind, wobei aber grundsätzlich jeder Drehzahlbereich realisierbar ist.

Ein Differenzialantrieb 5 für eine Pumpe als Arbeitsmaschine 1 hat beispielsweise eine Leistung von rund 15% der System-Gesamtleistung. Das wiederum bedeutet, dass mit dem Differenzialsystem keine niedrigen Drehzahlen (nahe Drehzahl Null) an der Arbeitsmaschine 1 realisiert werden können, ohne den Differenzialantrieb 5 bis zum rund 4-fachen seiner Synchrondrehzahl zu beschleunigen.

So kann im Stand der Technik beispielsweise die Arbeitsmaschine 1 von Drehzahl Null in ihren Arbeitsdrehzahlbereich (dies ist der Drehzahlbereich, in dem die Arbeitsmaschine 1 im Wesentlichen arbeitet = Arbeitsbetrieb) gebracht werden, indem der Differenzialantrieb 5 eingebremst (entweder elektrisch oder mittels Motorbremse 13) und die Antriebsmaschine 4 an das Netz geschaltet wird. Die Arbeitsmaschine 4 wiederum zieht dabei aber einen bis zu 10-fachen Nennstrom, um auf ihre Synchrondrehzahl zu beschleunigen. Durch Einsatz einer sogenannten Stern/Dreieck-Schaltung kann man den Anfahrstrom reduzieren, reduziert damit jedoch auch das realisierbare Anfahrmoment.

Erfindungsgemäß erzielt man eine Verbesserung des Problems eines hohen Anfahrstromes, indem der Differenzialantrieb 5 zu Beginn des Startvorganges auf eine über den Regeldrehzahlbereich (Regeldrehzahlbereich ist der Drehzahlbereich, in dem der Differenzialantrieb 5 arbeitet, um den Arbeitsdrehzahlbereich der Arbeitsmaschine 1 realisieren zu können) hinausgehende Betriebsdrehzahl gebracht wird. Durch Einsatz moderner Frequenzumrichter-Technologien kann dies ein Mehrfaches der Synchrondrehzahl des Differenzialantriebes 5 sein, sofern der Differenzialantrieb 5 für diese Drehzahlen ausgelegt ist. Aufgrund äußerer Lasten verbleibt währenddessen die Arbeitsmaschine 1 in einem Bereich sehr kleiner Drehzahl bzw. kann die Arbeitsmaschine 1 im Bedarfsfall auch eingebremst bzw. mittels Rücklaufsperre eine Drehbewegung entgegen deren Arbeitsdrehrichtung verhindert werden. Dadurch wird die Antriebsmaschine 4 auf eine (zumindest näherungsweise) netzsynchrone Drehzahl (= Leerlaufpunkt gem. Fig. 2) gebracht und anschließend mit dem Netz verbunden. Dabei verbleibt im Falle einer Asynchronmaschine eine im Vergleich zu dem Startverfahren

von Drehzahl Null wesentlich geringere Einschaltstromspitze. Vor allem ist die Dauer dieser Einschaltstromspitze nur wenige Netzperioden. Maßnahmen, um diesen verbleibenden Einschaltstrom zu reduzieren, sind beispielsweise ein kleiner Trenntrafo zum Vormagnetisieren über einen Bypass, oder ein sogenannter Thyristorsteller. Das beschriebene Problem des Einschaltstromes stellt sich nicht bei z.B. fremderregten Synchrongeneratoren, da diese eine Erregereinheit haben.

Nachdem die Antriebsmaschine 4 mit dem Netz verbunden ist, wird der Differenzialantrieb 5 verzögert bzw. gebremst, wodurch die Drehzahl der Arbeitsmaschine 1 in deren Arbeitsdrehzahlbereich erhöht, während die Antriebsmaschine 4 mit annähernd fixer Drehzahl am Netz 12 hängt.

Die Drehzahlregelung bzw. die Verzögerung der Drehzahl des Differenzialantriebes 5 erfolgt dabei vorzugsweise elektrisch durch den Wechselrichter 6a, 6b und/oder mittels Motorbremse 13. Da der Wechselrichter in diesem Fall generatorisch arbeitet, wird die dabei entstehende Bremsenergie entweder in das Netz 12 eingespeist oder im Wechselrichter-Zwischenkreis (= elektrische Verbindung von motorseitigem und netzseitigem Wechselrichter) vorzugsweise mittels sogenanntem Chopper in einem Widerstand verheizt. Dies ist vor allem dann notwendig, wenn z.B. in einer besonders einfachen Ausführungsform des Differenzialsystems der Differenzialantrieb 5 nur motorisch betrieben wird und damit der netzseitige Wechselrichter 6b als vorzugsweise einfacher und robuster Diodengleichrichter ausgeführt werden kann, wodurch eine Netzurückspeisung nicht möglich ist.

Die Motorbremse 13 kann auch dazu verwendet werden, den Differenzialantrieb 5 vor Überdrehzahlen zu schützen, wenn z.B. die Antriebsmaschine 4 ausfällt und die Arbeitsmaschine 1 anhält oder in die Gegenrichtung dreht. Aufgrund der hohen Drehzahlen während des Startvorganges empfiehlt es sich, eine verschleißfreie Motorbremse 13 einzusetzen. Diesbezüglich ist der Einsatz von sogenannten Retardern empfehlenswert.

Hier ist zunächst einmal die Gruppe der hydrodynamischen Retarder (= hydraulische Bremse) zu nennen. Hydrodynamische Retarder arbeiten meist mit Öl oder Wasser, das bei Bedarf in ein Wandlergehäuse

geleitet wird. Das Wandlergehäuse besteht aus zwei rotationssymmetrischen und sich gegenüberliegenden Schaufelrädern und zuvor einem Rotor, der mit dem Triebstrang der Anlage verbunden ist, und einem feststehenden Stator. Der Rotor beschleunigt das zugeführte Öl und die Zentrifugalkraft drückt es nach außen. Durch die Form der Rotorscheufeln wird das Öl in den Stator geleitet, der dadurch ein bremsendes Drehmoment im Rotor induziert und in weiterer Folge dann auch den gesamten Triebstrang bremst. Bei einem elektrodynamischen Retarder (= elektrische Bremse), z.B. einer Wirbelstrombremse, sind z.B. zwei Stahlscheiben (Rotoren), die nicht magnetisiert sind, mit dem Antriebsstrang verbunden. Dazwischen liegt der Stator mit elektrischen Spulen. Wenn durch Aktivierung des Retarders Strom eingesteuert wird, werden Magnetfelder erzeugt, die durch die Rotoren geschlossen werden. Die gegenläufigen Magnetfelder erzeugen dann die Bremswirkung. Die entstandene Wärme wird z.B. durch innenbelüftete Rotorscheiben wieder abgegeben. Ein wesentlicher Vorteil eines Retarders als Betriebsbremse ist dessen Verschleißfreiheit und gute Regelbarkeit. Die Motorbremse 13 kann aber grundsätzlich jede Art von Bremse sein.

Fig. 2 zeigt eine der Fachliteratur (Übungen zu „Elektrische Energietechnik II“ Institut für Leistungselektronik und Elektrische Antriebe, Universität Stuttgart, Prof. Dr.-Ing. J. Roth-Stieflow) entnommene Darstellung der Drehmomentkennlinie einer Drehstrommaschine (in diesem Fall einer Asynchronmaschine). Die Drehmomentkennlinie zeigt dabei wichtige Punkte wie Kippunkt, Nennpunkt und Leerlaufpunkt. Dabei liefert die Drehstrommaschine am Kippunkt ein sogenanntes Kippdrehmoment, am Nennpunkt ein sogenanntes Nenndrehmoment und läuft am Leerlaufpunkt drehmomentfrei mit dem Netz synchron. Das Kippdrehmoment beträgt beispielsweise bei herkömmlichen Asynchronmaschinen ca. das 2-3-fache Nenndrehmoment. Für die folgenden Ausführungen wurde ein Kippdrehmoment in der Höhe des zweifachen Nenndrehmoments angenommen. Bei entsprechend höheren bzw. niedrigeren Kippdrehmomenten kann das erreichbare Drehmoment linear skaliert werden. Typischerweise kann ein Kippdrehmoment nur zeitlich beschränkt bereitgestellt werden, ein Nenndrehmoment ist ein im Dauerbetrieb (= Arbeitsbetrieb) realisierbares Drehmoment.

Eine weitere Möglichkeit, den Drehzahlbereich für den Differenzialantrieb 5 zu erweitern, bietet die sogenannte 87Hz-Kennlinie für den Betrieb des Wechselrichters 6a, 6b. Das Prinzip ist dabei folgendes: Motoren kann man typischerweise in Stern- (400V) oder Dreieck-Schaltung (230V) betreiben. Betreibt man einen Motor wie üblich mit 400V in Sternschaltung, dann erreicht man bei 50Hz dessen Nennpunkt. Diese Kennlinie wird im Frequenzumrichter eingestellt. Man kann einen Motor aber auch mit 400V in Dreieckschaltung betreiben und den Frequenzumrichter so parametrieren, dass er bei 230V die 50Hz erreicht. Dadurch erreicht der Frequenzumrichter seine Nennspannung (400V) erst bei 87Hz ($\sqrt{3} \times 50\text{Hz}$). Da das Motordrehmoment bis zum Nennpunkt konstant ist, erreicht man mit der 87Hz-Kennlinie eine höhere Leistung. Zu beachten ist dabei jedoch, dass man im Vergleich zur Sternschaltung bei der Dreieckschaltung einen um $\sqrt{3}$ höheren Strom hat. D.h. der Frequenzumrichter muss stärker dimensioniert sein. Darüber hinaus entstehen im Motor durch die höhere Frequenz auch höhere Verluste, für die der Motor thermisch ausgelegt sein muss. Letztendlich erreicht man jedoch mit der 87Hz-Kennlinie einen entsprechend ($\sqrt{3}$) größeren Drehzahlbereich mit - im Gegensatz zur Feldschwächung - nicht reduziertem Drehmoment. Die Drehmomente bei 4-facher Feldschwächung sind um den Faktor 3 höher. Will man den Wechselrichter 6a, 6b nicht für einen um $\sqrt{3}$ höheren Strom dimensionieren, muss man im Arbeitsbetrieb wieder in die Sternschaltung wechseln. Dies erfordert v.a. einen Mehraufwand bezüglich Schaltanlage.

Bei Stromnetzen, welche nicht mit 50Hz betrieben werden, ändert sich die angegebene Frequenz von 87Hz entsprechend. Bei einem 60Hz-Netz sind dies etwa 104Hz.

Grundsätzlich ist es auch möglich, zwischen dem Differenzialantrieb 5 und dem zweiten Antrieb ein Getriebe mit veränderbarem Übersetzungsverhältnis (in Stufen oder stufenlos) zu integrieren (zusätzlich zu einem oder anstelle eines Anpassungsgetriebes 10), um damit die erforderliche Drehzahl des Differenzialantriebes 5 für den Startvorgang entsprechend zu reduzieren. Diese Option kann man in weiterer Folge auch dazu nutzen, den Arbeitsdrehzahlbereich der Arbeitsmaschine 1 zu vergrößern. Arbeitsmaschinen 1 wie Pumpen,

Ventilatoren, Verdichter und dergleichen haben eine exponentielle Drehzahl/Leistungs-Kennlinie, womit das erforderliche Antriebsdrehmoment im Teillastbereich entsprechend klein ist (vergl. hierzu auch Fig. 4). Mit dieser Methode kann man zwar keine wesentlich höheren Drehmomente am zweiten Antrieb realisieren, jedoch kann man dadurch die maximal auftretenden Drehzahlen am Differenzialantrieb 5 reduzieren.

Fig. 3 zeigt eine der Fachliteratur (Drehstrommotoren, Teil 2, Elektro- und Informationstechnik, Hochschule Darmstadt, Prof. Dr.-Ing. Heinz Schmidt-Walter) entnommene Darstellung des im Feldschwächebereich maximal realisierbaren Drehmoments eines drehzahlvariablen, elektrischen Antriebes. Die Wechselrichterausgangsspannung wird dabei bis zur Nenndrehzahl proportional mit der Drehzahl erhöht. Dadurch erhält man ein nahezu konstantes Drehmoment bis zur Feldschwächegrenze. Ab der Feldschwächegrenze kann die Ausgangsspannung beim Umrichter nicht weiter erhöht werden. Die Spannung und die Leistung bleiben konstant und das Kippdrehmoment nimmt mit $\sim 1/n^2$ ab.

Fig. 4 zeigt die abhängig von der Drehzahl des Differenzialantriebes 5 (n_s/n_{max} [p.u.] („per unit“)) realisierbaren Drehmomente (M/M_n [p.u.]). Dabei sind n_s die variable Drehzahl, n_{max} die Nenndrehzahl des Differenzialantriebes 5 und M_n dessen Nenndrehmoment. Die Kurve M_k/M_n zeigt ein realisierbares Kippdrehmoment (mechanisch an der Welle des Differenzialantriebes 5). Dieses Kippdrehmoment kann der Differenzialantrieb 5 jedoch nur zeitlich beschränkt bereitstellen, z.B. für den Startvorgang des Differenzialsystems. Die Kurve M_{max}/M_n zeigt hingegen ein dauerhaft realisierbares Antriebsdrehmoment des Differenzialantriebes 5, basierend auf dessen Nenndrehmoment.

Als dritte Kurve (M_{Pumpe}) ist beispielhaft ein für den Startvorgang und den Arbeitsbetrieb einer Pumpe erforderliches Antriebsdrehmoment dargestellt. Der markierte „maximale Arbeitsbereich“ ist der Bereich, in dem die Kurve M_{max}/M_n über der Kurve M_{Pumpe} liegt und damit das System dauerhaft betrieben werden kann. Wird das System noch weiter im Feldschwächebereich betrieben, dann fällt die Kurve M_{max}/M_n unter

die Kurve M_{Pumpe} . Die Kurve M_k/M_n liegt hingegen im gesamten dargestellten Drehzahlbereich über der Kurve M_{Pumpe} , womit die Arbeitsmaschine 1 von Drehzahl Null gestartet werden kann. Da ein Startvorgang zeitlich begrenzt ist, wird der Differenzialantrieb 5 dadurch auch nicht thermisch überlastet.

Der „maximale Arbeitsbereich“ stellt auch eine typische Grenze für den Betrieb von permanentmagneterregten Synchronmaschinen (als Differenzialantrieb 5) im Feldschwächebereich dar. Da bei solchen Maschinen die Spannung proportional mit der Drehzahl steigt (auch über die Nenndrehzahl hinaus) und der dadurch im Feldschwächebereich über die Nennspannung hinausgehende Spannungsanteil vom Wechselrichter kompensiert werden muss, ist die doppelte Nenndrehzahl ein bauarttypisches Drehzahllimit.

Die in Fig. 4 dargestellte Kennlinie M_{Pumpe} ist eine typische Kennlinie für Strömungsmaschinen wie Pumpen, Verdichter, Ventilatoren und dergleichen. Das erforderliche Drehmoment für den Startvorgang kann man dabei durch Einsatz von Verstellmechanismen, wie z.B. Schaufelrad- oder Rotorblattverstellung reduzieren, sofern dies konstruktiv vorgesehen ist. Damit wird auch das für den Startvorgang erforderliche Drehmoment entsprechend kleiner.

Das erfindungsgemäße System kann auch dazu verwendet werden, die Antriebsmaschine 4 vorerst einmal in den Phasenschiebebetrieb zu bringen. D.h., dass die Antriebsmaschine 4, nachdem sie mit dem Netz 12 verbunden wurde, ausschließlich Blindstrom in das Netz 12 liefern bzw. aus dem Netz 12 beziehen kann, ohne dass die Arbeitsmaschine 1 betrieben wird. Dabei wird die Antriebsmaschine 4 mit dem Netz 12 verbunden, ohne die weiteren Schritte des erfindungsgemäßen Startvorganges auszuführen. Dabei kann der Differenzialantrieb 5, nachdem die Antriebsmaschine 1 mit dem Netz 12 verbunden wurde, lastfrei geschaltet werden, wodurch dieser nicht mehr elektrisch und nur noch mechanisch (aufgrund der sich einstellenden Drehzahlen) belastet wird. Die weiteren Schritte des beschriebenen Startvorganges erfolgen, wenn die Arbeitsmaschine 1 den Arbeitsbetrieb aufzunehmen hat.

Fig. 5 zeigt zusammenfassend den Ablauf eines Startvorganges gemäß vorliegender Erfindung.

Ansprüche:

1. Verfahren zum Anfahren eines Triebstranges mit einer Antriebswelle (2), einer Antriebsmaschine (4) und mit einem Differenzialgetriebe (3) mit drei An- bzw. Abtrieben, wobei ein Abtrieb mit der Antriebswelle (2), ein erster Antrieb mit der Antriebsmaschine (4) und ein zweiter Antrieb mit einem Differenzialantrieb (5) verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebsmaschine (4) mit dem Differenzialantrieb (5) beschleunigt und mit dem Netz (12) synchronisiert wird, während auf die Antriebswelle (2) ein bremsendes Drehmoment wirkt, und dass in einer Beschleunigungsphase der Antriebswelle (2) der zweite Antrieb gebremst wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebswelle (4) von einer Drehzahl von Null oder annähernd Null ausgehend mit dem Differenzialantrieb (5) beschleunigt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass, nachdem die Antriebsmaschine (4) mit dem Netz (12) synchronisiert ist, der zweite Antrieb gebremst wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Antrieb vom Differenzialantrieb (5) gebremst wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Teil der Bremsleistung von einer mit dem Differenzialantrieb (5) verbundenen mechanischen, elektrischen oder hydraulischen Bremse (13) erzeugt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Antrieb direkt mechanisch, elektrisch oder hydraulisch gebremst wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass beim Startvorgang zum Steuern des Drehmomentes einer mit der Antriebswelle (2) verbundenen

- Arbeitsmaschine (1) eine Schaufelrad- oder Rotorblattstellung der Arbeitsmaschine (1) geändert wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Differenzialantrieb sowohl mit 50Hz oder 60Hz als auch mit 87Hz oder 104Hz betrieben wird.
 9. Triebstrang zum Ausführen eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 mit einer Antriebswelle (2), einer Antriebsmaschine (4) und mit einem Differenzialgetriebe (3) mit drei An- bzw. Abtrieben, wobei ein Abtrieb mit der Antriebswelle (2), ein Antrieb mit der Antriebsmaschine (4) und ein zweiter Antrieb mit einem Differenzialantrieb (5) verbunden ist, gekennzeichnet durch eine Bremse oder Rücklaufsperre, die auf den Abtrieb wirkt.
 10. Triebstrang nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebsmaschine (4) eine mit einem Stromnetz (12) verbundene Drehstrommaschine ist.
 11. Triebstrang nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebsmaschine eine Verbrennungskraftmaschine ist.
 12. Triebstrang nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Differenzialantrieb (5) eine Drehstrommaschine ist.
 13. Triebstrang nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Differenzialantrieb eine hydraulische Pumpe/Motor ist.
 14. Triebstrang nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass Differenzialantrieb (5) über eine Anpassungsgetriebestufe (10) mit dem zweiten Antrieb verbunden ist.
 15. Triebstrang nach einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Differenzialantrieb (5) über ein ggf.

stufenloses Verstellgetriebe mit dem zweiten Antrieb verbunden ist.

16. Triebstrang nach einem der Ansprüche 9 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Bremse (13) ein Retarder ist.
17. Triebstrang nach einem der Ansprüche 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Differenzialantrieb (5) über einen Wechselrichter (6a, 6b) mit dem Netz (12) verbunden ist und dass im Wechselrichter (6a, 6b) des Differenzialantriebes (5) ein Chopper und ein Widerstand angeordnet sind.
18. Triebstrang nach einem der Ansprüche 9 bis , dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitsmaschine (1) eine Pumpe, ein Verdichter oder ein Ventilator ist.

Fig. 2

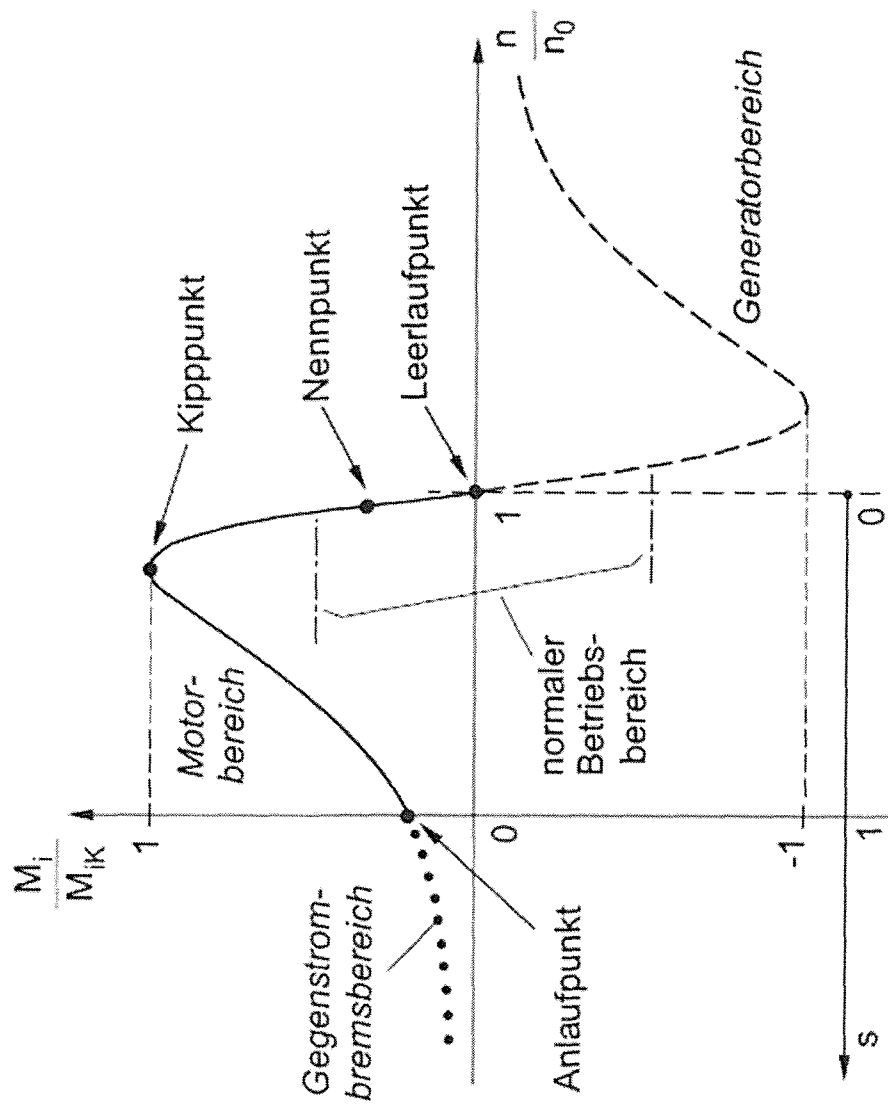


Fig. 3

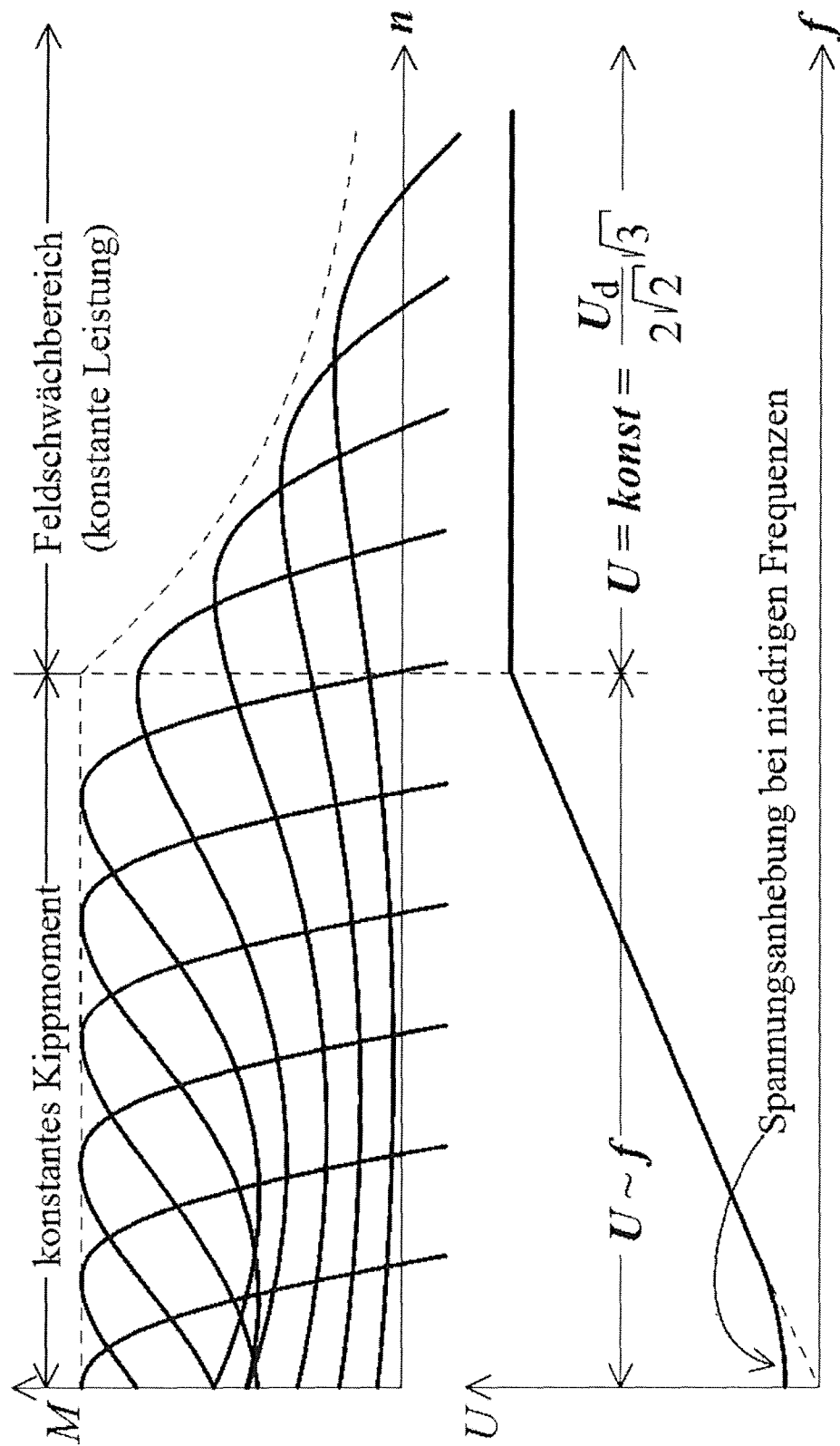


Fig. 4

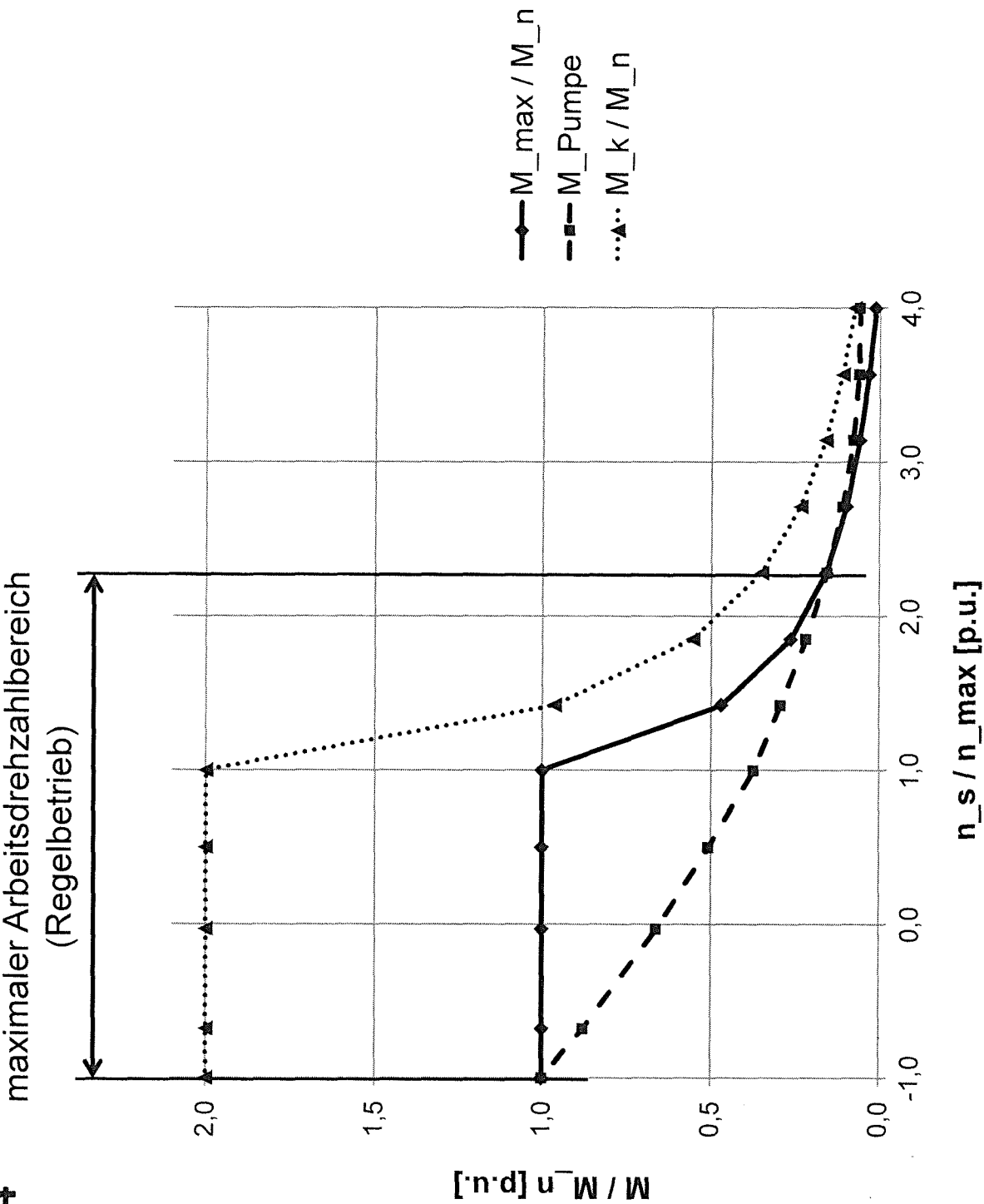
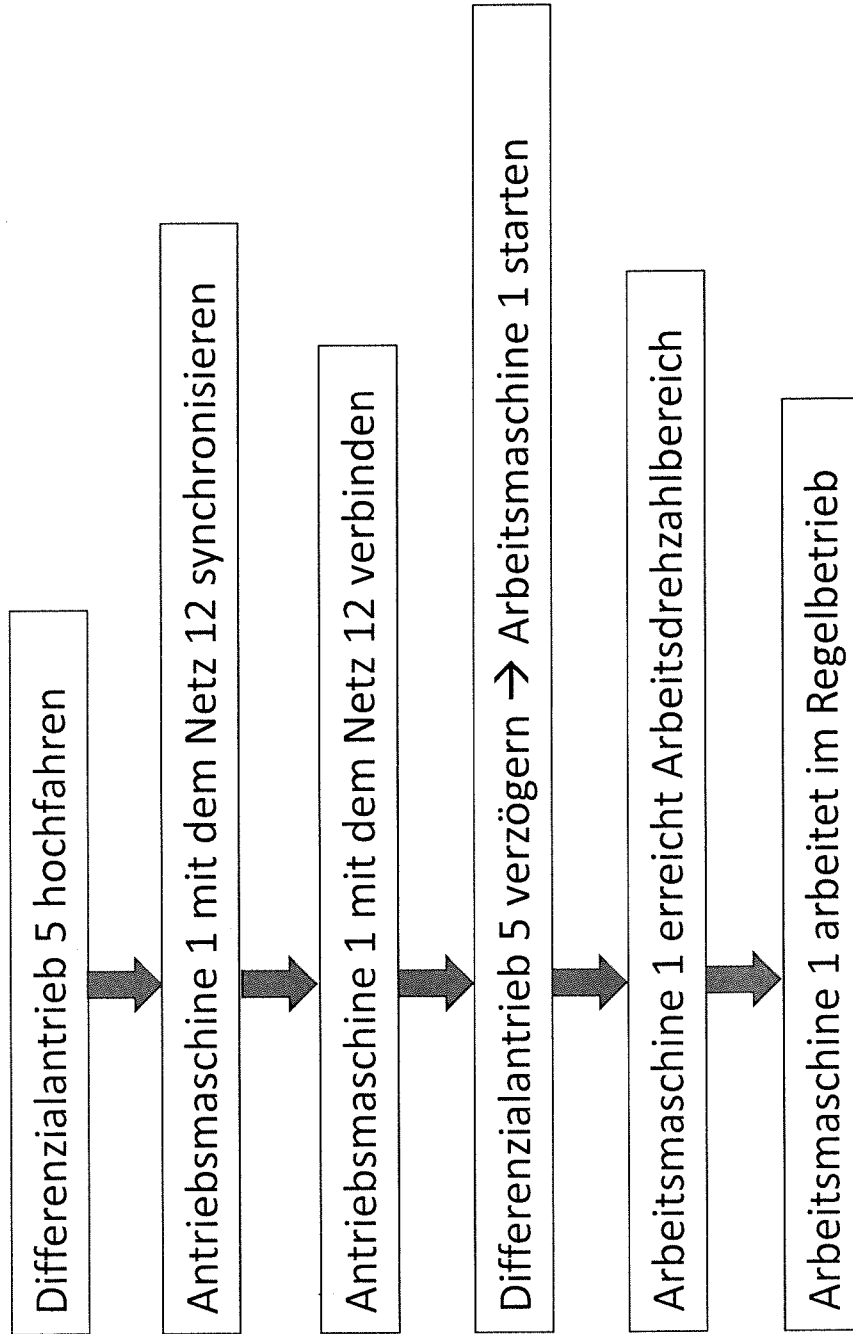


Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/AT2015/000045

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 3640146	A1	01-06-1988	NONE

WO 2014183139	A1	20-11-2014	AT 514396 A1 15-12-2014
		WO 2014183139 A1	20-11-2014

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
 INV. F16H3/72 F04D25/02 H02P5/753
 ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
 F16H F04D H02P

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.
X A A,P	DE 36 40 146 A1 (ECKHARDT HANS GUENTER DIPL ING [DE]) 1. Juni 1988 (1988-06-01) Spalte 6, Zeile 67 - Zeile 11, Absatz 7; Ansprüche 5,6; Abbildung 1 Spalte 7, Zeile 28 - Zeile 30 ----- WO 2014/183139 A1 (SET SUSTAINABLE ENERGY [AT]) 20. November 2014 (2014-11-20) Seite 8, Absatz 3; Abbildungen 1,2 -----	1-10,12, 14,18 11,13, 15-17 1-18



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



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

18. Juni 2015

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

29/06/2015

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

Belz, Thomas

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/AT2015/000045

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 3640146	A1	01-06-1988	KEINE

WO 2014183139	A1	20-11-2014	AT 514396 A1 15-12-2014
		WO 2014183139 A1	20-11-2014
