

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 400/2019 (51) Int. Cl.: **H02P 5/753** (2006.01)
 (22) Anmeldetag: 16.12.2019 **F03D 15/00** (2016.01)
 (43) Veröffentlicht am: 15.07.2021 **F16H 3/72** (2006.01)

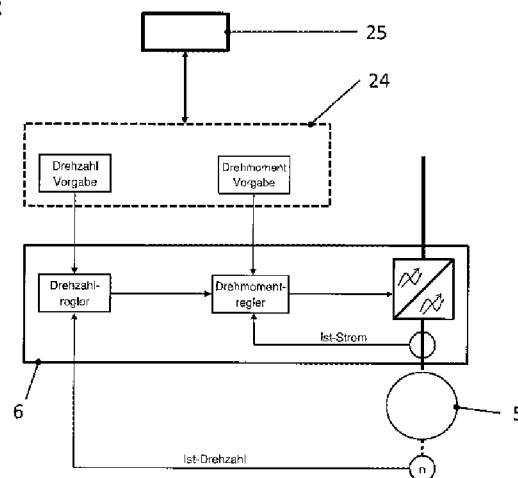
(56) Entgegenhaltungen:
 AT 516180 A4
 AT 15940 U1
 AT 514396 A1

(71) Patentanmelder:
 Hehenberger Gerald Dipl.Ing.
 9020 Klagenfurt (AT)
 (72) Erfinder:
 Hehenberger Gerald Dipl.Ing.
 9020 Klagenfurt (AT)
 (74) Vertreter:
 BEER & PARTNER PATENTANWÄLTE KG
 1070 Wien (AT)

(54) **Verfahren zum Verbinden einer elektrischen Asynchronmaschine eines Triebstranges mit einem elektrischen Netz**

(57) Bei einem Verfahren zum Verbinden einer elektrischen Asynchronmaschine (4) eines Triebstranges mit einem elektrischen Netz (12), bei dem der Triebstrang eine Antriebswelle (2) einer Arbeitsmaschine (1), die Antriebsmaschine (4), einen Differentialantrieb (5) und ein Differentialgetriebe (3) mit drei An- bzw. Abtrieben aufweist, von denen ein Abtrieb mit der Antriebswelle (2), ein erster Antrieb mit der Antriebsmaschine (4) und ein zweiter Antrieb mit dem Differentialantrieb (5) verbunden ist, bei dem die Antriebsmaschine (4) in einer ersten Phase von einer Drehzahl von Null oder annähernd Null angefahren wird, während ein Antrieb gleichzeitig mit dem anderen Antrieb oder mit dem Abtrieb verbunden und die Antriebsmaschine (4) in dieser Phase vom Netz (12) getrennt ist, bei dem in einer zweiten Phase die Antriebsmaschine (4) mit dem Netz (12) verbunden und die Verbindung zwischen dem einen Antrieb und dem anderen Antrieb oder dem Abtrieb getrennt wird, und bei dem die Drehzahl wenigstens eines An- und/oder Abtriebes ermittelt wird, wird die Netzfrequenz erfasst und die Antriebsmaschine (4) mit dem Netz (12) verbunden, wenn die sich die aus der Drehzahl der Antriebsmaschine (4) ergebende Frequenz um weniger als + 1% von der Netzfrequenz abweicht. Anschließend wird die Verbindung zwischen dem einen Antrieb und dem anderen Antrieb oder dem Abtrieb getrennt.

Fig. 2



Zusammenfassung:

Bei einem Verfahren zum Verbinden einer elektrischen Asynchronmaschine (4) eines Triebstranges mit einem elektrischen Netz (12), bei dem der Triebstrang eine Antriebswelle (2) einer Arbeitsmaschine (1), die Antriebsmaschine (4), einen Differenzialantrieb (5) und ein Differenzialgetriebe (3) mit drei An- bzw. Abtrieben aufweist, von denen ein Abtrieb mit der Antriebswelle (2), ein erster Antrieb mit der Antriebsmaschine (4) und ein zweiter Antrieb mit dem Differenzialantrieb (5) verbunden ist, bei dem die Antriebsmaschine (4) in einer ersten Phase von einer Drehzahl von Null oder annähernd Null angefahren wird, während ein Antrieb gleichzeitig mit dem anderen Antrieb oder mit dem Abtrieb verbunden und die Antriebsmaschine (4) in dieser Phase vom Netz (12) getrennt ist, bei dem in einer zweiten Phase die Antriebsmaschine (4) mit dem Netz (12) verbunden und die Verbindung zwischen dem einen Antrieb und dem anderen Antrieb oder dem Abtrieb getrennt wird, und bei dem die Drehzahl wenigstens eines An- und/oder Abtriebes ermittelt wird, wird die Netzfrequenz erfasst und die Antriebsmaschine (4) mit dem Netz (12) verbunden, wenn die sich die aus der Drehzahl der Antriebsmaschine (4) ergebende Frequenz um weniger als $\pm 1\%$ von der Netzfrequenz abweicht. Anschließend wird die Verbindung zwischen dem einen Antrieb und dem anderen Antrieb oder dem Abtrieb getrennt.

(Fig. 2)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Verbinden einer elektrischen Asynchronmaschine eines Triebstranges mit einem elektrischen Netz, wobei der Triebstrang eine Antriebswelle einer Arbeitsmaschine, die Antriebsmaschine, einen Differenzialantrieb und ein Differenzialgetriebe mit drei An- bzw. Abtrieben aufweist, von denen ein Abtrieb mit der Antriebswelle, ein erster Antrieb mit der Antriebsmaschine und ein zweiter Antrieb mit dem Differenzialantrieb verbunden ist, wobei die Antriebsmaschine in einer ersten Phase von einer Drehzahl von Null oder annähernd Null angefahren wird, während ein Antrieb gleichzeitig mit dem anderen Antrieb oder mit dem Abtrieb verbunden und die Antriebsmaschine in dieser Phase vom Netz getrennt ist, wobei in einer zweiten Phase die Antriebsmaschine mit dem Netz verbunden und die Verbindung zwischen dem einen Antrieb und dem anderen Antrieb oder dem Abtrieb getrennt wird, und wobei die Drehzahl wenigstens eines An- und/oder Abtriebes ermittelt wird.

Die Erfindung betrifft des Weiteren einen Triebstrang mit einer Antriebswelle einer Arbeitsmaschine, mit 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, mit einer Kupplung, über die ein Antrieb gleichzeitig mit dem anderen Antrieb oder mit dem Abtrieb verbunden ist, mit wenigstens eine Einrichtung zum Erfassen einer Drehzahl wenigstens eines An- und/oder Abtriebes ermittelt wird, und mit einer Steuerung zum Steuern des Differenzialantriebes und gegebenenfalls Öffnen der Kupplung.

In der WO 2016/172742 A1 wird ein Verfahren zum Anfahren eines Triebstranges mit einem Differenzialsystem mit einer Antriebswelle einer Arbeitsmaschine, mit einer Antriebsmaschine und mit einem Differenzialgetriebe mit drei An- bzw. Abtrieben beschrieben, wobei ein Abtrieb mit der Antriebswelle, ein erster Antrieb mit der Antriebsmaschine und ein zweiter Antrieb mit einem Differenzialantrieb verbindbar ist. Bei diesem Verfahren arbeitet das Differenzialsystem in einer ersten Phase in einem Betriebsmodus I, in dem ein Differenzialantrieb eine elektrische Antriebsmaschine und eine Arbeitsmaschine anfährt bzw. im unteren Teillastbereich antreibt, bis

die Antriebsmaschine ihre Zuschaltdrehzahl erreicht hat. Die Zuschaltdrehzahl ist jene Drehzahl einer Antriebsmaschine, bei der diese mit dem Netz verbunden wird und die bauartspezifisch variieren kann. Die zeitgleiche Beschleunigung von Arbeitsmaschine und Antriebsmaschine wird durch eine Zusatzverbindung realisiert. Diese Zusatzverbindung ist ein Getriebe, über das beispielsweise der Differenzialantrieb - zusätzlich zu seiner Verbindung mit dem Differenzialgetriebe - mit der Antriebsmaschine mittels einer Kupplung verbunden werden kann. In einer zweiten Phase wird die Antriebsmaschine mit dem Netz verbunden. In einer dritten Phase wird im Betriebsmodus II das System im Differenzialmodus bis zu einem maximalen Drehmoment bei maximaler Antriebsdrehzahl betrieben.

Wird eine Synchron-Drehstrommaschine als Antriebsmaschine eingesetzt, wird diese auf ihre Zuschaltdrehzahl gebracht und anschließend, gemäß anerkannten Regeln der Technik, mit dem Netz synchronisiert und stoßfrei ans Netz geschaltet. Der Differenzialantrieb hilft dabei, die Antriebsmaschine mit dem Netz zu synchronisieren, indem dieser die Drehzahl und vorzugsweise auch den Phasenwinkel der Antriebsmaschine regelt und mit dem Netz synchronisiert. Eine Synchronisiereinrichtung misst dabei den Phasenwinkel von Netz und Antriebsmaschine und verbindet diese, sobald die Phasenwinkel im Wesentlichen synchron sind.

Ist die Antriebsmaschine als Asynchron-Drehstrommaschine ausgeführt, wird diese auf ihre Zuschaltdrehzahl gebracht, anschließend ein Netzschalter geschlossen und damit die Antriebsmaschine mit dem Netz verbunden. Diese zieht, sobald sie mit dem Netz verbunden ist, kurzzeitig einen hohen Magnetisierungsstrom. Darüber hinaus verursacht die Magnetisierung der Antriebsmaschine einen kurzzeitigen Einbruch der Drehzahl der Antriebsmaschine, welche sich (aufgrund der Trägheitsmasse des Rotors der Antriebsmaschine) in weiterer Folge wieder erhöht und auf ihre leistungs- bzw. schlupfabhängige Betriebsdrehzahl einpendelt.

Der Magnetisierungsstrom kann abhängig von der Bauart und der Type der Antriebsmaschine bei einem Start von Drehzahl Null bis zum rund 10-fachen des Nennstromes der Antriebsmaschine erreichen. Die Höhe und

die Dauer des Magnetisierungsstromes hängen darüber hinaus davon ab, ob eine Last (Arbeitsmaschine) mit hochgezogen, bzw. bei welcher Drehzahl die Antriebsmaschine an das Netz geschaltet wird. Wird, wie in dem in der WO 2016/172742 A1 vorgeschlagenen Verfahren, von der Antriebsmaschine keine Last mit hochgezogen, ändert sich die Höhe des Einschaltstromes innerhalb der Drehzahlgrenzen von z.B. 90% bis 110% der Synchrondrehzahl nicht wesentlich. Daher ist zu verstehen, dass gemäß Stand der Technik beim Synchronisieren bzw. ans Netz Schalten von Asynchron-Drehstrommaschine bezüglich der Zuschaltdrehzahl keine besonderen Vorkehrungen getroffen werden.

In der DE 10 2016 213 639 A1 ist beschrieben, dass, wenn die Drehzahl an der Eingangswelle in den Bereich der Nenndrehzahl der Hauptantriebsmaschine kommt, diese ans elektrische Netz geschaltet werden kann. Weiters ist darin beschrieben, dass es vorteilhaft ist, wenn die Antriebsvorrichtung so ausgeführt ist, dass von den drei Drehzahlen der Hauptantriebsmaschine, der Ausgangswelle und des Hilfsantriebs zumindest zwei Drehzahlen erfasst oder gemessen werden. Die dritte notwendige Drehzahl am Planetengetriebe kann über die Drehzahlgleichungen (Willis-Gleichungen) bestimmt werden. Die Erfassung oder Messung kann insbesondere mit Hilfe von Impulsgebern am Antrieb und/oder Drehzahlsensoren erfolgen.

Eine Steuereinheit des Differenzialsystems gibt beispielsweise eine Meldung an ein übergeordnetes Prozessleitsystem, sobald die Antriebsmaschine ihre Zuschaltdrehzahl erreicht hat. In weiterer Folge wird die Kupplung in der Zusatzverbindung vorzugsweise erst geöffnet, nachdem vom Prozessleitsystem eine Rückmeldung in der Steuereinheit angekommen ist, dass die Antriebsmaschine am Netz ist. Währenddessen ist die Antriebsmaschine jedoch schon mit dem Netz verbunden - diese Verzögerung kann mehrere 1/10 Sekunden andauern. Vorzugsweise ist hier eine möglichst kurze Zeitspanne zu realisieren.

Der Differenzialantrieb arbeitet zur Zuschaltung der Antriebsmaschine vorzugsweise mit Drehzahlregelung. Sobald die Antriebsmaschine bei geschlossener Kupplung zuschaltet, verspannt sich das Differenzialsystem. Dadurch wird die Servodrehzahl im ersten Moment von der Antriebsmaschine (aufgrund der Magnetisierung der

Antriebsmaschine) und der Arbeitsmaschine nach unten gezogen (Drehzahl wird kleiner) und es stellt sich in weiterer Folge eine von der Belastung abhängige Betriebsdrehzahl der Antriebsmaschine ein, die schlupfbedingt kleiner als die Synchrondrehzahl ist. Ist die Zuschaltdrehzahl deutlich übersynchron, wird die Betriebsdrehzahl der Antriebsmaschine tendenziell weiter sinken. Ist die Zuschaltdrehzahl untersynchron, wird die Betriebsdrehzahl der Antriebsmaschine tendenziell steigen.

Unter synchroner Zuschaltdrehzahl versteht man die Drehzahl der Antriebsmaschine, die sich aufgrund der Polpaarzahl der Antriebsmaschine und einer aktuellen Netzfrequenz ergibt. So ist z.B. für eine 4-polige Drehstrommaschine die synchrone Zuschaltdrehzahl bei einer Netzfrequenz von 50 Hz 1.500 1/min und bei einer Netzfrequenz von 49 Hz 1.485 1/min. Eine untersynchrone Zuschaltdrehzahl ist demzufolge niedriger und eine übersynchrone Zuschaltdrehzahl höher als die synchrone Zuschaltdrehzahl.

Gemäß EN50160 darf die Abweichung der Netzfrequenz in Netzen mit synchroner Anbindung $\pm 1\%$ von 50Hz betragen. Maximal 0,5% des Jahres darf die Netzfrequenz zwischen +4% und -6% abweichen. In z.B. asiatischen Netzen können diese Abweichungen größer sein.

Im Falle des erfindungsgemäßen Differenzialsystems sind zu große Abweichungen bei geschlossener Zusatzverbindung nicht optimal, da sich das Differenzialsystem verspannt, sobald die Antriebsmaschine zugeschaltet wird. In Folge des Zuschaltens der Antriebsmaschine entstehen daher große transiente Triebstrangbelastungen. Das heißt jedoch, dass die aktuelle Netzfrequenz zum Zeitpunkt der Zuschaltung der Antriebsmaschine an das Netz einen wesentlichen Einfluss auf das Umschaltverhalten (Übergang vom Betriebsmodus I auf den Betriebsmodus II) des Differenzialsystems hat.

Kommt in einem Differenzialsystem eine asynchrone Drehstrommaschine als Antriebsmaschine zum Einsatz, ist es daher aus den beschriebenen Gründen nicht optimal, die Antriebsmaschine auf eine vordefinierte Zuschaltdrehzahl (z.B. erfasst durch einen Drehzahlsensor an der Antriebsmaschine oder rechnerisch abgeleitet aus der Drehzahl des

Differenzialantriebes) zu beschleunigen, da hier nicht gewährleistet werden kann, dass die Drehzahl der Antriebsmaschine nahe genug an der aktuellen Netzfrequenz liegt, um einen für den Triebstrang sanften Übergang vom Betriebsmodus I in den Betriebsmodus II zu gewährleisten.

Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, das Zuschalten der Arbeitsmaschine an das Netz zu verbessern, d.h. die Belastung des Differentialsystems zu verringern.

Gelöst wird diese Aufgabe mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1.

Diese Aufgabe wird des Weiteren mit einem Triebstrang mit den Merkmalen des Anspruchs 19 gelöst.

Erfindungsgemäß wird die Netzfrequenz erfasst und die Antriebsmaschine wird erst mit dem Netz verbunden, wenn die sich die aus der Drehzahl der Antriebsmaschine ergebende Frequenz um weniger als $\pm 1\%$ von der Netzfrequenz abweicht, worauf die Verbindung zwischen dem einen Antrieb und dem anderen Antrieb oder dem Abtrieb getrennt wird. Der Triebstrang weist dazu eine Einrichtung zum Erfassen der Netzfrequenz und einen Komparator in der Steuerung auf, der prüft, ob sich die aus der Drehzahl der Antriebsmaschine ergebende Frequenz von der Netzfrequenz um weniger als $\pm 1\%$ abweicht.

Auf diese Weise kann verhindert werden, dass sich das Differenzialsystem verspannt, sobald die Antriebsmaschine zugeschaltet wird, und große transiente Triebstrangbelastungen können vermieden werden.

Darüber hinaus macht es einen Unterschied, welche Art von Kupplung in der Zusatzverbindung eingesetzt wird.

Für Freilaufkupplungen gilt: je weiter die Zuschaltung im untersynchronen Bereich liegt, desto niedriger ist die Belastung von Differenzialantrieb und Kupplung und desto besser kann der Drehzahlbereich des Differenzialantriebes genutzt werden, da dieser im Zuge der Zuschaltung der Antriebsmaschine mit einer niedrigeren

Drehzahl startet. Erfindungsgemäß empfiehlt es sich daher bei Einsatz einer Freilaufkupplung, die Antriebsmaschine untersynchron - vorzugsweise aktuelle Netzfrequenz **-0,5% bis -1%** - ans Netz zu schalten. Durch die untersynchrone Zuschaltung überholt die Antriebsmaschine, sobald sie ans Netz geschaltet wird, den differenzialantriebsseitigen Teil der Freilaufkupplung und trennt damit automatisch die Zusatzverbindung zwischen Antriebsmaschine und Differenzialantrieb.

Vorzugsweise wird in dieser Phase der Differenzialantrieb mit sogenannter Drehzahlregelung betrieben - d.h. das Prozessleitsystem und/oder die Steuereinrichtung geben eine Drehzahl vor, und die Regelungs- und Steuerungseinheit des Differenzialantriebes versucht, diese Drehzahl möglichst genau einzustellen.

Aufgrund des magnetisierungsbedingten Drehzahleinbruchs, d.h. der Verringerung der Drehzahl der Antriebsmaschine während deren Zuschaltung an das Netz werden im ersten Moment auch die Drehzahlen des Differenzialantriebes und der Arbeitsmaschine nach unten gezogen. Sobald vorzugsweise in der Steuereinheit die Rückmeldung „Antriebsmaschine am Netz“ eingegangen ist, wird die dem Differenzialantrieb von seiner Steuerung vorgegebene Drehzahl reduziert und mittels des nachgelagerten Drehmomentreglers wechselt die Richtung des Drehmomentes (durch z.B. Feldvektorregelung des Umrichters) von einem motorischen in einen generatorischen Quadranten. Während des Zuschaltvorganges ist vorzugsweise (jedoch keinesfalls zwingend) eine Überwachung und/oder Begrenzung des bauartspezifisch maximal erlaubten Stromes (v.a. für den Umrichter) aktiv.

In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird daher die dem Differenzialantrieb von einer Steuerung vorgegebene Drehzahl bei einer Verringerung der Drehzahl der Antriebsmaschine als Folge ihrer Verbindung mit dem Netz entsprechend angepasst, um eine möglichst geringe Belastung des Differenzialantriebes zu gewährleisten. Es wird bevorzugt erfasst, wann die Antriebsmaschine tatsächlich mit dem Netz verbunden wurde, und anschließend wird die dem Differenzialantrieb von der Steuerung vorgegebene Drehzahl bei der Verringerung der Drehzahl der Antriebsmaschine als Folge ihrer Verbindung mit dem Netz

entsprechend angepasst. Abschließend wird dann die Richtung des Drehmomentes des Differenzialantriebes geändert und die Kupplung geöffnet. Diese Ausführungsform der Erfindung kann auch isoliert von der gegenständlichen Erfindung, also der Anpassung der Frequenz der Antriebsmaschine an die Netzfrequenz und der anschließenden Trennung der Verbindung zwischen dem einen Antrieb und dem anderen Antrieb oder dem Abtrieb eingesetzt werden und stellt somit eine eigenständige Erfindung und Möglichkeit dar, den Triebstrang vor einer unzulässig hohen Verspannung bzw. transienten Schwingungen zu schützen.

Alternativ kann auch das Drehmoment (ohne weitere aktive Einflussnahme auf die sich dadurch einstellende Drehzahl) mittels Drehmomentregelung (d.h. das Prozessleitsystem und/oder die Steuereinrichtung geben ein Drehmoment vor) von einem motorischen in einen generatorischen Quadranten geregelt werden und das Differenzialsystem arbeitet in weiterer Folge im Betriebsmodus II. Dabei ist auch hier vorzugsweise (jedoch keinesfalls zwingend) eine Überwachung und/oder Begrenzung der bauartspezifisch maximal erlaubten Drehzahl (vor allem für den Differenzialantrieb) aktiv.

Generell ist festzuhalten, dass ein Wechsel vom Regelungsmodus einer Drehzahlregelung in den Regelungsmodus einer Drehmomentregelung bzw. eine Änderung von parametrisierten Drehzahl- und Drehmomentvorgaben/-limits typischerweise (d.h. bei kommerziell verfügbaren Industrieantrieben) in etwa 20 bis 40 Millisekunden [ms] realisiert wird. Diese Zeitspanne ergibt sich aus den Zykluszeiten der Steuereinheit des Differenzialsystems bzw. der Regelung des Umrichters. Damit sind sehr schnelle transiente Zustandsänderungen nur bedingt (d.h. abhängig von den realisierbaren Zykluszeiten) mittels Umstellung des Regelungsmodus auszugleichen. Dabei werden hier bezüglich noch geringerer Zykluszeiten keine Grenzen gesetzt und es muss ein vernünftiger Kompromiss zwischen mess- bzw. regelungstechnischem Aufwand und erzielbarer Lastreduktion erzielt werden.

Ist in der Zusatzverbindung eine Freilaufkupplung vorgesehen, so öffnet sich diese Kupplung infolge des Drehmoment-Richtungswechsels selbständig. Ist in der Zusatzverbindung anstelle einer

Freilaufkupplung jedoch eine Schaltkupplung vorgesehen, so öffnet sich diese Kupplung nicht selbständig.

Ein erster Ansatz einer Regelung des Differenzialsystems ist in diesem Fall, die zu diesem Zeitpunkt aktive Drehzahlregelung weiter zu führen. Aufgrund eines Drehzahleinbruchs der Antriebsmaschine während deren Zuschaltung an das Netz ändert der Differenzialantrieb mittels seines (dem Drehzahlregler nachgelagerten) Drehmomentreglers die Richtung des Drehmomentes (durch z.B. Feldvektorregelung des Frequenzumrichters) von einem motorischen in einen generatorischen Quadranten und es stellt sich in weiterer Folge ein generatorisches Drehmoment ein. Dabei wird das Drehmoment zuerst gegen Null geregelt, bevor es in den generatorischen Quadranten wechselt.

Erfindungsgemäß kann alternativ die Drehzahl von Antriebsmaschine und/oder Arbeitsmaschine und/oder Differenzialantrieb überwacht und die Drehzahl des Differenzialantriebes entsprechend der zuschaltungsbedingten Schwankung der Drehzahl der Antriebsmaschine „nachgeführt“ werden. Dabei kann man erfindungsgemäß typische Zuschaltzeiten und Drehzahleinbrüche kalkulieren und/oder messtechnisch erfassen und diese vorzugsweise „vorhalten“ - d.h. einen Drehzahleinbruch am Differenzialantrieb mit einer kupplungs- bzw. antriebsmaschinen-typischen ($\pm$)Verzögerung kompensieren.

Erfindungsgemäß kann alternativ auch das Drehmoment (ohne weitere Einflussnahme auf die sich dadurch einstellende Drehzahl) mittels einer Drehmomentregelung von einem motorischen in einen generatorischen Quadranten geregelt werden, wobei das System dann in weiterer Folge im Betriebsmodus II arbeitet.

Dementsprechend wird in einer erfindungsgemäßen Durchführungsform des Verfahrens die Richtung des Drehmomentes des Differenzialantriebes bei einer Verringerung der Drehzahl der Antriebsmaschine als Folge ihrer Verbindung mit dem Netz geändert. Bevorzugt wird dabei erfasst, wann die Antriebsmaschine tatsächlich mit dem Netz verbunden wurde, und anschließend wird die Richtung des Drehmomentes des Differenzialantriebes geändert. Dabei wird die Kupplung geöffnet.

Auch diese Ausführungsform der Erfindung kann auch isoliert von der gegenständlichen Erfindung, also der Anpassung der Frequenz der Antriebsmaschine an die Netzfrequenz und der anschließenden Trennung der Verbindung zwischen dem einen Antrieb und dem anderen Antrieb oder dem Abtrieb eingesetzt werden und stellt somit eine eigenständige Erfindung und Möglichkeit dar, den Triebstrang vor einer unzulässig hohen Verspannung bzw. transienten Schwingungen zu schützen.

In noch einer weiteren erfindungsgemäßen Variante wird das Drehmoment des Differenzialantriebes vorzugsweise im ersten Moment der Zuschaltung im Wesentlichen konstant gehalten und in noch einer weiteren Ausführungsvariante ab dem Zeitpunkt des Eingangs der Rückmeldung in der Steuereinheit, dass die Antriebsmaschine am Netz ist, gegen Null geregelt. Dies dient dazu, die Belastung in der Zusatzverbindung und hier insbesondere für die Kupplung möglichst gering zu halten, bevor diese geöffnet wird.

Generell gilt beim Einsatz von Schaltkupplungen: je näher die Zuschaltung an der synchronen Drehzahl erfolgt, desto besser kann der Drehzahlbereich des Differenzialantriebes genutzt werden, bei gleichzeitig möglichst geringer Belastung von Kupplung und Differenzialantrieb. Weiters gilt für Schaltkupplungen: je weiter die Zuschaltung im untersynchronen Bereich erfolgt, desto höher sind die Systembelastungen - v.a. für die Kupplung.

Aus diesem Grund wird erfindungsgemäß die Schaltkupplung auch vorzugsweise drehmomentbegrenzend (z.B. als Lamellenkupplung mit Reibbelägen) ausgeführt.

In jedem Fall verursacht die Zuschaltung einer Asynchronmaschine als Antriebsmaschine wesentliche transiente Triebstrangschwingungen. Um dabei ein großes Überspringen des Drehmomentes im Triebstrang und insbesondere in der Zusatzverbindung zu vermeiden, empfiehlt es sich daher erfindungsgemäß, die Antriebsmaschine möglichst synchron ans Netz zu schalten. Hierbei machen kleine Drehzahldifferenzen einen großen Unterschied bzgl. (a) sanftem Übergang zwischen Betriebsmodus I und Betriebsmodus II (z.B. möglichst kleine Drehzahlschwankungen für die Pumpe) bzw. (b) daraus resultierender Belastung des Systems.

Aus diesem Grund liegt bei der Erfindung die zulässige Abweichung der Zuschaltdrehzahl bzw. der sich daraus ergebenden Frequenz der Antriebsmaschine bei max. $\pm 1,0\%$, in einer bevorzugten Ausführungsvariante bei max. $\pm 0,5\%$, in einer besonders bevorzugten Ausführungsvariante bei max. $\pm 0,2\%$ und insbesondere bei max. $\pm 0,1\%$ der aktuellen Netzfrequenz. Dabei werden hier bezüglich noch höherer Genauigkeit keine Grenzen gesetzt und es muss ein vernünftiger Kompromiss zwischen mess- bzw. regelungstechnischem Aufwand und erzielbarer Lastreduktion erzielt werden.

Um diese Bedingungen zu erfüllen, wird erfindungsgemäß die Netzfrequenz erfasst. Eine genaue Erfassung der Netzfrequenz kann vorzugsweise mittels technisch geeigneter Messeinrichtung (z.B. jede Art von Netzfrequenz-Messgerät) erfolgen, die die aktuell gemessene Netzfrequenz an die Steuereinheit weitergeben. In einer erfindungsgemäßen Ausführungsvariante wird die vom Umrichter des Differenzialantriebes erfasste Netzfrequenz an die Steuereinheit weitergeleitet. Damit kann vorzugsweise die Steuereinheit eine sehr genaue situationsangepasste Berechnung der erforderlichen Zuschaltdrehzahl der Antriebsmaschine durchführen.

Um die beschriebenen Vorgaben bezüglich zulässiger Abweichung der Zuschaltdrehzahl einhalten zu können, ist vorzugsweise auf eine hohe Auflösung bzw. Genauigkeit der Messkette, beginnend bei der Frequenzmessung über die Verarbeitung des Messsignals mittels Steuereinheit bis hin zur Drehzahlregelung des Differenzialantriebes, zu achten. In einem Antriebssystem (elektrischer Motor und Umrichter) gemäß Stand der Technik ist dabei eine maximale Abweichung zwischen der aktuell gemessenen Netzfrequenz und der sich am Antriebsmotor einstellenden Zuschaltdrehzahl von $\pm 0,1\%$ erwünscht. Dabei werden hier einer noch höheren Genauigkeit keine Grenzen gesetzt und es muss ein vernünftiger Kompromiss zwischen mess- bzw. regelungstechnischem Aufwand und erzielbarer Lastreduktion erzielt werden.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind Gegenstand der übrigen Unteransprüche.

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

- Fig. 1 das Prinzip eines Differenzialsystems mit einer Zusatzverbindung für einen Antrieb einer Pumpe gemäß Stand der Technik,
- Fig. 2 ein Diagramm mit einer typischen Regelungssystematik einer Regelungs- und Steuerungseinheit eines drehzahlvariablen Antriebes,
- Fig. 3 eine erfindungsgemäße Ausführungsform eines Differenzialsystems und
- Fig. 4 einen Ablauf für eine Zuschaltung einer Antriebsmaschine eines Differenzialsystems.

Fig. 1 zeigt das Prinzip eines Differenzialsystems mit einer Zusatzverbindung für einen Antrieb einer Pumpe gemäß Stand der Technik. Der dargestellte Triebstrang besteht aus einer angetriebenen Arbeitsmaschine 1 (im vorliegenden Beispiel also der Pumpe), einer Antriebswelle 2, einer Antriebsmaschine 4 und einem Differenzialantrieb 5, die mit den Ab- bzw. Antrieben eines Differenzialgetriebes 3 verbunden sind. Der Differenzialantrieb 5 ist mittels eines Umrichters 6 (bestehend aus vorzugsweise motorseitigem und netzseitigem Wechselrichter bzw. Gleichrichter - hier vereinfacht als Einheit dargestellt) und eines Transformators 11 an ein Netz 12 angeschlossen.

Die Antriebsmaschine 4 ist mittels eines Schalters 23 mit dem Netz 12 verbindbar. Die Antriebsmaschine 4 ist vorzugsweise eine Mittelspannungs-Drehstrommaschine, die an das Netz 12, welches im gezeigten Beispiel aufgrund einer Mittelspannungs-Drehstrommaschine ein Mittelspannungsnetz ist, angeschlossen wird. Das gewählte Spannungsniveau hängt 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. Entsprechend der Polpaarzahl der Antriebsmaschine 4 ergibt sich ein bauartspezifischer Betriebsdrehzahlbereich. Der Betriebsdrehzahlbereich ist jener Drehzahlbereich, in dem die Antriebsmaschine 4 ein definiertes bzw.

gewünschtes oder erforderliches Drehmoment liefern kann, und in dem die elektrische Antriebsmaschine 4 mit dem Netz verbunden ist bzw. mit dem Netz 12 synchronisiert werden kann.

Der Differenzialantrieb 5 ist vorzugsweise eine Drehstrommaschine und insbesondere eine Asynchronmaschine oder eine permanentmagneterregte Synchronmaschine.

Anstelle des Differenzialantriebes 5 kann auch ein hydrostatisches Stellgetriebe eingesetzt werden. Dabei wird der Differenzialantrieb 5 durch eine hydrostatische Pumpe/Motor-Kombination ersetzt, die mit einer Druckleitung verbunden und vorzugsweise im Durchflussvolumen verstellbar sind. Damit sind, wie im Falle eines drehzahlvariablen, elektrischen Differenzialantriebes 5, die Drehzahlen regelbar.

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. Wesentlicher Vorteil dieses Konzeptes ist, dass die Antriebsmaschine 4 direkt, das heißt ohne aufwändige Leistungselektronik, an das Netz 12 angebunden werden kann. Der Ausgleich zwischen variabler Rotordrehzahl und fixer Drehzahl der netzgebundenen Antriebsmaschine 4 wird durch den drehzahlvariablen Differenzialantrieb 5 realisiert.

Mit einer von der Antriebsmaschine 4 bestimmten Drehzahl des mit der Antriebsmaschine 4 verbundenen Hohlrades 14 und einer betriebsbedingt geforderten Drehzahl des mit der Arbeitsmaschine 1 verbundenen Sonnenrades 13 ergibt sich zwangsläufig eine einzustellende Drehzahl bzw. ein einzustellendes Drehmoment am mit dem Differenzialantrieb 5 verbundenen Planetenträger 16, die vom Differenzialantrieb 5 zu regeln sind. Die Drehmomente an den Ab- und Antrieben sind zueinander proportional, wodurch der Differenzialantrieb 5 das Drehmoment im gesamten Triebstrang regeln kann.

Die Leistungsaufnahme bzw. -abgabe des Differenzialantriebes 5 ist im Wesentlichen proportional zum Produkt aus prozentueller Abweichung der

Drehzahl der Arbeitsmaschine 1 von deren Grunddrehzahl, multipliziert mit der Leistung der Arbeitsmaschine 1. Die Grunddrehzahl ist dabei die Drehzahl, die sich an der Arbeitsmaschine 1 einstellt, wenn der Differenzialantrieb 5 die Drehzahl gleich Null hat. Dementsprechend erfordert ein großer Arbeitsdrehzahlbereich der Arbeitsmaschine 1 eine entsprechend große Dimensionierung des Differenzialantriebes 5. Hat der Differenzialantrieb 5 beispielsweise eine Nennleistung von rund 20% der System-Gesamtleistung (Nennleistung der Arbeitsmaschine 1), bedeutet dies unter Ausnutzung eines sogenannten Feldschwächebereichs des Differenzialantriebes 5, dass an der Arbeitsmaschine 1 minimale Arbeitsdrehzahlen von etwa 50% der Arbeits-Nennndrehzahl realisiert werden können. Die Drehzahlen an den An- und Abtrieben des Differenzialsystems werden durch die Übersetzungsverhältnisse von Differenzialgetriebe 3 und dem oder den diesem nachgelagerten Anpassungsgetriebe(n) bestimmt. Auf dieser Basis und auf Basis des geforderten Arbeitsregelbereiches der Arbeitsmaschine 1 ergibt sich in weiterer Folge der erforderliche Regeldrehzahlbereich des Differenzialantriebes 5 und des Umrichters 6. Der Regeldrehzahlbereich wird dabei vor allem durch die vom Hersteller spezifizierten Parameter, wie Spannungs-, Strom- und Drehzahlgrenzen, Feldschwächebereich, Überlastfähigkeit, etc. bestimmt.

Aufgrund der Tatsache, dass man mit höherpoligen Drehstrommaschinen standardmäßig meist eine höhere prozentuelle Überdrehzahl erreicht (aufgrund mechanischer Erfordernisse), kann man mit höherpoligen Drehstrommaschinen meist einen größeren Feldschwächebereich realisieren. Dies wirkt sich entsprechend positiv auf die Dimensionierung des Differenzialantriebes 5 aus.

Da in dem ausgeführten Beispiel die Arbeitsmaschine 1 mit einer Drehzahl betrieben wird, die deutlich über der synchronen Drehzahl der Antriebsmaschine 4 liegt, wird die Antriebswelle 2 mit dem Sonnenrad 13 und die Antriebsmaschine 4 mittels einer Verbindungswelle 19 mit dem Hohlrad 14 verbunden. Der Planetenträger 16 (mit zwei oder mehr Planetenrädern 15) ist mit dem Differenzialantrieb 5 verbindbar (in folgender Tabelle „Variante 5“). Damit kann man auf einfache Weise mit einer Planetengetriebestufe und ohne einem optionalen Anpassungsgetriebe eine Übersetzung zwischen Antriebsmaschine 4 und

Arbeitsmaschine 1 von beispielsweise 2,5 bis 6,5 erreichen. Mit beispielsweise einem Stufenplanetensatz sind darüber hinaus noch wesentlich höhere Übersetzungsverhältnisse erreichbar. Ein Stufenplanetensatz ist dadurch gekennzeichnet, dass die Planetenräder 15 jeweils zwei Zahnräder aufweisen, die drehfest miteinander verbunden sind und unterschiedliche Teilkreisdurchmesser aufweisen, wobei ein Zahnrad mit dem Sonnenrad und das zweite Zahnrad mit dem Hohlrad zusammenwirkt.

Die folgende Tabelle zeigt mögliche Kombinationen der Kopplung des Planetenträgers 16, des Sonnenrades 13 und des Hohlrades 14 mit dem Rotor 1 [R], dem Differenzialantrieb 5 [D] und der Antriebsmaschine 4 [A], welche erfindungsgemäß alle erfasst sind:

Variante	1	2	3	4	5	6
Sonnenrad 13	D	A	R	D	R	A
Planetenträger 16	R	R	A	A	D	D
Hohlrad 14	A	D	D	R	A	R

Der Planetenträger 16 kann beispielsweise einteilig oder mehrteilig mit drehfest miteinander verbundenen Komponenten ausgeführt sein. Da das Drehmoment am Planetenträger 16 hoch ist, ist es von Vorteil, z.B. eine Übersetzungsstufe 17, 18 zwischen dem Planetenträger 16 und dem Differenzialantrieb 5 zu implementieren. Dafür bietet sich ein Anpassungsgetriebe, z.B. in Form einer gerade-, schräg- oder pfeilverzahnten Stirnradstufe, an, wobei das eine Zahnrad 17 drehfest mit dem Planetenträger 16 und das andere Zahnrad 18 mit dem Differenzialantrieb 5 verbunden ist. Anstelle der Anpassungsgetriebestufe 17, 18 kann jedoch z.B. auch ein mehrstufiges gerade-, schräg- oder pfeilverzahnstes Stirnradgetriebe, ein Planeten- oder Kegelradgetriebe, ein Kettenantrieb, ein Keilriemenantrieb, ein Schaltgetriebe, etc., oder eine Kombination aus diesen Getriebearten eingesetzt werden.

Als Arbeitsmaschine 1 ist in den Figuren 1 und 3 beispielhaft symbolisch eine Pumpe dargestellt. Die vorstehend und nachfolgend beschriebenen Prinzipien sind jedoch auch bei Antrieben für andere

Arbeitsmaschinen, wie z.B. Kompressoren, Ventilatoren, Förderbänder, Mühlen, Brecher und dergleichen anwendbar.

Fig. 1 zeigt einen Differenzialantrieb 5 mit einem Umrichter 6. Ebenso können mehrere Differenzialantriebe 5 den Planetenträger 16 antreiben, womit das zu übertragende Drehmoment der Anpassungsgetriebestufe 17, 18 auf diese Differenzialantriebe 5 verteilt wird. Die Differenzialantriebe 5 können dabei gleichmäßig oder auch asymmetrisch um den Umfang des Zahnrades 17 verteilt sein. Vorzugsweise - jedoch nicht notwendigerweise - werden die Differenzialantriebe 5 dabei von einem gemeinsamen Umrichter 6 angesteuert, wobei dann vorzugsweise ein Differenzialantrieb 5 als sogenannter „Master“ und der/die weitere(n) Differenzialantrieb(e) 5 als sogenannte(r) „Slave(s)“ fungieren. Die Differenzialantriebe 5 können auch von mehreren motorseitigen Wechselrichtern 6 einzeln oder in Gruppen angesteuert werden, wobei diese mit den Differenzialantrieben 5 verbundenen, motorseitigen Wechselrichter 6 vorzugsweise einen gemeinsamen, über einen Transformator 11 an das Netz 12 angeschlossenen, netzseitigen Gleichrichter haben, mit dem sie über einen Gleichspannungs-Zwischenkreis verbunden sind.

Mit der Verbindungswelle 19 und in weiterer Folge mit der Antriebsmaschine 4 bzw. dem ersten Antrieb des Differenzialsystems ist eine Zusatzverbindung 20 verbunden. Diese Zusatzverbindung 20 ist mittels einer Kupplung 22 mit dem Differenzialantrieb 5 verbindbar. Die Kupplung 22 kann grundsätzlich überall im Leistungsfluss zwischen dem Differenzialantrieb 5 und dem ersten Antrieb des Differenzialsystems positioniert sein, d.h. auch in einer anderen als der dem Differenzialantrieb 5 nächstgelegenen Stufe der Zusatzverbindung 20. Die Kupplung 22 ist vorzugsweise als Schaltkupplung, z.B. in Form einer Klauenkupplung, Zahnkupplung oder Lamellenkupplung, oder als Freilaufkupplung ausgeführt.

Eine Freilaufkupplung (auch Überholkupplung bezeichnet) ist dabei eine nur in eine Drehrichtung wirkende Kupplung. Die Freilaufkupplung kann auch in Form einer selbstsynchronisierenden Schaltkupplung ausgeführt werden. Dies ist eine Freilaufkupplung, bei der die Drehmomentübertragung über eine Zahnkupplung erfolgt.

Die Antriebsmaschine 4 kann auch mit einer Getriebe-Zwischenstufe der Zusatzverbindung 20 verbunden sein, wobei die Verbindung der Zusatzverbindung 20 mit dem ersten Antrieb bestehen bleibt.

Wenn das System mit mehreren Differenzialantrieben 5 ausgestattet ist, wird vorzugsweise nur ein Differenzialantrieb 5 über eine Zusatzverbindung 20 mit der Antriebsmaschine 4 verbunden. In diesem Fall treibt zumindest ein zweiter Differenzialantrieb 5 zusätzlich zum ersten Differenzialantrieb 5 die Zusatzverbindung 20 über den Planetenträger 16 und die Anpassungsgetriebestufe 17, 18 an. Damit ist nur eine Zusatzverbindung 20 erforderlich. Alternativ können auch mehrere Differenzialantriebe parallel mittels einer separaten Zusatzverbindung 20 mit z.B. der Antriebsmaschine 4 verbunden werden. Als weitere Alternative kann auch die Antriebsmaschine 4 mittels einer Zusatzverbindung mit der Antriebswelle 2 verbunden werden.

Um das System anzufahren, wird der Differenzialantrieb 5 durch Schließen der Kupplung 22 mit der Zusatzverbindung 20 verbunden. Indem anschließend der Differenzialantrieb 5 hochgefahren wird, werden damit auch die Arbeitsmaschine 1 und die Antriebsmaschine 4 beschleunigt. Im Falle der Ausführung der Kupplung 22 in Form einer Freilaufkupplung überträgt diese selbsttätig die Drehbewegung des Differenzialantriebes 5 auf die Zusatzverbindung 20 bzw. die Antriebsmaschine 4. Das Differenzialsystem arbeitet dabei im sogenannten Anfahrmodus (Betriebsmodus I).

Die Antriebsmaschine 4 wird vorzugsweise auf Betriebsdrehzahl gebracht und anschließend der Schalter 23 geschlossen und die Antriebsmaschine 4 mit dem Netz 12 verbunden. Diese zieht, wenn sie mit dem Netz 12 verbunden wird, kurzzeitig einen Magnetisierungsstrom. Dieser ist zwar höher als der Nennstrom der Antriebsmaschine 4, steht jedoch nur für wenige Netzperioden an und liegt unter der sich einstellenden Stromstärke, welche die Antriebsmaschine 4 ziehen würde, wenn diese unter Last ans Netz geschaltet wird. Dieser Magnetisierungsstrom kann im Bedarfsfall durch Einsatz anerkannter technischer Methoden zusätzlich reduziert werden.

Anschließend wird die Kupplung 22 geöffnet und das Differenzialsystem arbeitet im sogenannten Differenzialmodus (Betriebsmodus II). Ist die Kupplung 22 als Freilaufkupplung ausgeführt, löst sich die Verbindung selbsttätig, sobald die Drehzahl des treibenden Teils (Differenzialantrieb 5) kleiner als die Drehzahl des zu treibenden Teils (Zusatzverbindung 20) wird.

Im Falle einer Betriebsstörung (z.B. Netzausfall, Systemfehler, Überlast, etc.) laufen sowohl die Antriebsmaschine 4 als auch die Arbeitsmaschine 1 unkontrolliert aus. Um in einem solchen Fall den im Differenzialmodus arbeitenden Differenzialantrieb 5 vor Überdrehzahl zu schützen, kann man eine Bremse, die auf den zweiten Antrieb des Differenzialsystems bzw. auf den Differenzialantrieb 5 wirkt, einsetzen. Als alternative Lösung bietet sich an, eine zwischen dem Differenzialantrieb 5 und dem zweiten Antrieb des Differenzialsystems implementierte Kupplung zu öffnen und dadurch den bzw. die Differenzialantrieb(e) 5 vom restlichen Differenzialsystem zu trennen.

Ist die Kupplung 22 als Freilaufkupplung ausgeführt, wird deren Verbindung selbsttätig aktiviert sobald die Drehzahl des treibenden Teils (Zusatzverbindung 20) kleiner als die Drehzahl des zu treibenden Teils (Differenzialantrieb 5) wird, wodurch eine Überdrehzahl des Differenzialantriebes 5 inhärent verhindert wird.

Ist die Kupplung 22 als Schalkkupplung ausgeführt, wird diese im Falle einer Betriebsstörung vorzugsweise dann aktiviert, wenn die Drehzahldifferenz zwischen der abtreibenden Welle der Zusatzverbindung 20 und dem Differenzialantrieb 5 ein Minimum (idealerweise bei einer Drehzahldifferenz von annähernd Null) ist.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm mit einem beispielhaften Regelungsschema einer Regelungs- und Steuerungseinheit eines drehzahlvariablen Antriebes eines Differenzialsystems.

Eine Steuereinheit 24 regelt und steuert die Funktionen des Differenzialsystems. Diese kommuniziert mit einem übergeordneten Prozessleitsystem 25. Über diese Kommunikationsschnittstelle werden unter anderem prozessrelevante Zustandsmeldungen und Sollwertvorgaben

ausgetauscht. Die Steuereinheit 24 kommuniziert über eine weitere Schnittstelle mit dem Umrichter 6. Auch über diese weitere Kommunikationsschnittstelle werden unter anderem prozessrelevante Zustandsmeldungen und Sollwertvorgaben ausgetauscht. Vorzugsweise entscheidet die Steuerungseinheit 24 über den Regelungsmodus (d.h. zwischen Drehzahlregelung und Drehmomentregelung), bzw. eine Änderung von parametrisierten Drehmomentvorgaben/-limits. Die Steuerungseinheit 24 kann auch Teil des Umrichters 6 sein. D.h., die Steuerungs- und Regelungseinheit des Umrichters 6 übernimmt auch die Funktionen der Steuereinheit 24 und die Kommunikation zum Prozessleitsystem 25.

Mittels einer Ist-Strom-Überwachung der Steuereinheit 24 bzw. des Umrichters 6 werden die für den Umrichter 6 und den Differenzialantrieb 5 maximal erlaubte(n) Stromstärke(n) und damit das maximal zulässige Drehmoment überwacht bzw. begrenzt.

Im Falle einer Drehzahlregelung erfasst vorzugsweise der Umrichter 6 die Drehzahl n des Differenzialantriebes 5 (z.B. mittels einer Drehzahlmesseinrichtung), vergleicht diese im Drehzahlregler mit der Drehzahl-Vorgabe und erhöht oder reduziert mittels eines nachgelagerten Drehmomentreglers das Drehmoment, um die Drehzahl-Vorgabe zu erreichen. Dabei ist hier vorzugsweise (jedoch keinesfalls zwingend) eine Überwachung und/oder Begrenzung der bauartspezifisch maximal erlaubten, sich einstellenden Stromstärke (v.a. für den Differenzialantrieb) aktiv. D.h., wird die maximal erlaubte Stromstärke (unter Berücksichtigung einer eventuell zeitlich begrenzten zulässigen Überlast) erreicht, kann die Drehzahl-Vorgabe nicht erreicht werden und es stellt sich eine auf Basis der maximal zulässigen Stromstärke erreichbare Drehzahl ein.

Mittels sogenannter Feldvektorregelung kann die Steuerungs- und Regelungseinrichtung des Umrichters 6 das Drehmoment des Umrichters 6 in vier sogenannten Quadranten regeln, wodurch sich drehrichtungsabhängig ein jeweils generatorisches bzw. ein motorisches Drehmoment einstellen lässt. Weiters ist der Differenzialantrieb 5 mittels seines Umrichters 6 auch übersynchron im sogenannten Feldschwächebereich betreibbar. Typischerweise ist dieser übersynchrone Bereich aufgrund mechanischer Grenzen des

Differenzialantriebes 5 limitiert, wobei die Überdrehzahl-Grenzen üblicherweise mit zunehmender Systemgröße geringer werden.

Fig. 3 zeigt eine erfindungsgemäße Ausführungsform eines Differenzialsystems. Das Differenzialsystem ist prinzipiell gleich aufgebaut, wie in Fig. 1 beschrieben. Der Triebstrang besteht auch hier aus einer Arbeitsmaschine 1, einer Antriebswelle 2, einem Differenzialgetriebe 3, einer Zusatzverbindung 20, einer Motorwelle 19, einer Antriebsmaschine 4, einem Differenzialantrieb 5 und einem Umrichter 6. Der Differenzialantrieb 5 ist dabei mittels einer besonders weichen Kupplung 31 mit der Zusatzverbindung 20 verbunden. Indem man die Steifigkeit der Kupplung 31 verringert, kann man die zuschaltungsbedingten Triebstrang-Belastungstransienten entsprechend reduzieren.

Alternativ zur Verbindung des Differenzialantriebes 5 und der Antriebsmaschine 4 mittels einer Zusatzverbindung funktioniert das erfindungsgemäße System auch mit einer oder mehreren Zusatzverbindung(en) zwischen dem/n Differenzialantrieb(en) 5 und der Arbeitsmaschine 1 oder zwischen der Antriebsmaschine 4 und der Arbeitsmaschine 1.

Wie in Fig. 2 beschrieben kommuniziert die Steuerungseinrichtung 24 mit dem Umrichter 6 und dem Prozessleitsystem 25. Das Prozessleitsystem 25 steuert u.a. den Schalter 23, um die Antriebsmaschine 4 mit dem Netz 12 zu verbinden bzw. diese vom Netz 12 zu trennen. Alternativ kann dies auch durch die Steuerungseinrichtung 24 bzw. den Umrichter 6 gesteuert werden. Erfindungsgemäß werden in der Ausführungsform von Fig. 3 verschiedene Messeinrichtungen 26, 27 für die Erfassung der Netzfrequenz des Netzes 12 implementiert (Netzfrequenz-Messgerät). Diese Messeinrichtungen können z.B. im Umrichter 6 integriert sein (Messeinrichtung 26), jedoch auch an jeder anderen Stelle positioniert sein, an der man die aktuelle Netzfrequenz erfassen kann, wie z.B. im Mittelspannungsnetz 12 (Messeinrichtung 27). Durch eine genaue Erfassung der aktuellen Netzfrequenz ist es möglich, die Zuschaltdrehzahl der Antriebsmaschine 4 möglichst genau an die aktuelle Netzfrequenz anzupassen und somit ungewollt hohe

Triebstrangschwingungen beim Zuschalten der Antriebsmaschine 4 zu vermeiden.

Um z.B. die Drehzahl des Differenzialantriebes 5 während der Zuschaltung der Antriebsmaschine 4 an den Drehzahlverlauf der Antriebsmaschine 4 anpassen zu können, sind beispielsweise eine oder mehrere Drehzahl-Messeinrichtungen 28, 29 und 30 an den An- und Abtrieben des Differenzialsystems möglich. Dabei ist im Betriebsmodus I grundsätzlich nur eine Drehzahl-Messeinrichtung - vorzugsweise die Drehzahl-Messeinrichtung 30 - erforderlich, da die anderen Drehzahlen davon ableitbar sind. In einer weiteren Ausführungsform kann die Drehzahl-Messeinrichtungen 30 durch eine Berechnung der Drehzahl im motorseitigen Wechselrichter des Umrichters 6 - z.B. auf Basis einer sogenannten geberlosen Drehzahlregelung - ersetzt werden.

Fig. 4 zeigt einen Ablauf für das Anlaufen und in weiterer Folge das Zuschalten der Antriebsmaschine 4 eines Differenzialsystems an das Netz 12 am Beispiel eines Dampfkraftwerks.

Typischerweise wird ein Dampfkraftwerk von einem Prozessleitsystem 25 gesteuert. Dieses Prozessleitsystem 25 steuert dabei auch das Zuschalten einer Antriebsmaschine 4 einer Kesselspeisepumpe als Arbeitsmaschine 1 und verbindet mittels des Schalters 23 die Antriebsmaschine 4 mit dem Netz 12. Das Prozessleitsystem kommuniziert dabei vorzugsweise mit der Steuereinheit 24.

Im Falle des Beispiels „Differenzialsystem als drehzahlvariabler Antrieb einer Kesselspeisepumpe“ kann der Zuschaltprozess beispielsweise gemäß folgender Chronologie ablaufen:

Die Antriebsmaschine 4 wird zunächst wie beschrieben mithilfe des Differentialantriebes 5 beschleunigt. Nachdem die Antriebsmaschine 4 ihre Zuschaltdrehzahl erreicht hat, sendet die Steuereinheit 24 zum Zeitpunkt 1 den Befehl 'Netzzuschaltung Antriebsmaschine' an das Prozessleitsystem 25. Durch eine systembedingte Verzögerung in der Kommunikationsschnittstelle geht dieser Befehl zu Zeitpunkt 2 im Prozessleitsystem ein.

In weiterer Folge wird dieser Befehl bis zum Zeitpunkt 3 im Prozessleitsystem verarbeitet und der Befehl „Netzschalter schließen“ an den Netzschalter 23 geleitet. Dieser Vorgang „Netzschalter schließen“ dauert etwa 80ms und ist zum Zeitpunkt 4, d.h. nach insgesamt 120ms ab Start des Zuschaltprozesses, abgeschlossen.

Anschließend meldet das Prozessleitsystem 25 an die Steuerungseinheit 24 „Netzschalter geschlossen“. Dies ist zum Zeitpunkt 5 erledigt. In weiterer Folge wird diese Meldung in der Steuereinheit bis zum Zeitpunkt 6 verarbeitet und ein entsprechender Befehl an die Kupplung 22 weitergeleitet. Aufgrund typischer, systembedingter Rahmenbedingungen wird die Kupplung 22 erst zum Zeitpunkt 7 (nach ca. 100ms) mit dem Öffnen beginnen. Ist die Kupplung z.B. eine standardmäßige Lamellenkupplung, wird das übertragbare Drehmoment bis zum Zeitpunkt 8 (nach z.B. 100ms) auf ca. $1/3$ abgefallen und die Kupplung zum Zeitpunkt 9 (nach z.B. weiteren 300ms) komplett geöffnet sein.

Die in Fig. 4 dargestellten zeitlichen Abläufe sind ein Beispiel und können sowohl betriebs- als auch systembedingt wesentlich von den gezeigten Prozessen und Zeitabläufen abweichen. D.h. gewisse Abläufe können viel länger dauern, können jedoch erfindungsgemäß auch abgekürzt bzw. übersprungen werden.

Gemäß dem vorstehend beschriebenen Zuschaltprozess weiß die Systemsteuerung (in der Steuereinrichtung des Differenzialsystems) zwischen den Zeitpunkten „1“ und „6“ nicht, ob bzw. wann genau die Antriebsmaschine zugeschaltet ist bzw. wurde. D.h., das Differenzialsystem bleibt über eine mehr oder weniger lange Zeit „verspannt“ und dadurch mit transienten Triebstrangschwingungen belastet.

Erfindungsgemäß ist hierbei eine Verbesserung zu erzielen, indem man die Drehzahl des Triebstranges d.h. der Arbeitsmaschine 1 und/oder der Antriebsmaschine 4 und/oder des Differenzialantriebes 5 in der Zuschaltphase mittels eines Drehzahlmessgerätes 28, 29, 30 (und/oder einer Drehzahl, aus der man den zuschaltungsbedingten Drehzahleinbruch ableiten kann) überwacht bzw. daraus eine gewünschte Soll-Drehzahl für

den Differenzialantrieb 5 entsprechend ableitet. Diese gewünschte Soll-Drehzahl errechnet sich vorzugsweise aus der Drehzahl des Triebstranges und den Übersetzungsverhältnissen des Differenzialgetriebes 3 zuzüglich allfällig implementierter Anpassungsgetriebebestufen.

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Verbinden einer elektrischen Asynchronmaschine (4) eines Triebstranges mit einem elektrischen Netz (12),
wobei der Triebstrang eine Antriebswelle (2) einer Arbeitsmaschine (1), die Antriebsmaschine (4), einen Differenzialantrieb (5) und ein Differenzialgetriebe (3) mit drei An- bzw. Abtrieben aufweist,
von denen ein Abtrieb mit der Antriebswelle (2), ein erster Antrieb mit der Antriebsmaschine (4) und ein zweiter Antrieb mit dem Differenzialantrieb (5) verbunden ist,
wobei die Antriebsmaschine (4) in einer ersten Phase von einer Drehzahl von Null oder annähernd Null angefahren wird, während ein Antrieb gleichzeitig mit dem anderen Antrieb oder mit dem Abtrieb verbunden und die Antriebsmaschine (4) in dieser Phase vom Netz (12) getrennt ist,
wobei in einer zweiten Phase die Antriebsmaschine (4) mit dem Netz (12) verbunden und die Verbindung zwischen dem einen Antrieb und dem anderen Antrieb oder dem Abtrieb getrennt wird,
und wobei die Drehzahl wenigstens eines An- und/oder Abtriebes ermittelt wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Netzfrequenz erfasst wird,
dass die Antriebsmaschine (4) mit dem Netz (12) verbunden wird, wenn die sich aus der Drehzahl der Antriebsmaschine (4) ergebende Frequenz um weniger als $\pm 1\%$ von der Netzfrequenz abweicht,
und dass anschließend die Verbindung zwischen dem einen Antrieb und dem anderen Antrieb oder dem Abtrieb getrennt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebsmaschine (4) mit dem Netz (12) verbunden wird, wenn die sich die aus der Drehzahl der Antriebsmaschine (4) ergebende Frequenz um weniger als $\pm 0,5\%$, bevorzugt weniger als $\pm 0,2\%$, insbesondere weniger als $\pm 0,1\%$, von der Netzfrequenz abweicht.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahl wenigstens eines An- und/oder Abtriebes gemessen wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Differenzialantrieb (5) eine über einen Umrichter (6) mit dem Netz (12) verbundene elektrische Maschine, vorzugsweise eine Drehstrommaschine, insbesondere eine Asynchronmaschine oder eine permanentmagneterregte Synchronmaschine, ist.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahl der Antriebsmaschine (4) aus Werten der Regelung des Umrichters (6), insbesondere auf Basis einer geberlosen Drehzahlregelung, abgeleitet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Umrichter (6) des Differenzialantriebes (5) die Netzfrequenz ermittelt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Netzfrequenz mittels eines Netzfrequenz-Messgerätes (26, 27) gemessen wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Phasenwinkel der elektrischen Maschine (4) mit dem Netz (12) mittels des Differenzialantriebes (5) synchronisiert wird, bevor die Antriebsmaschine (4) mit dem Netz (12) verbunden wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass anschließend die Richtung des Drehmomentes des Differenzialantriebes (5) geändert wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Richtung des Drehmomentes des Differenzialantriebes (5) bei einer Verringerung der Drehzahl der Antriebsmaschine (4) als Folge ihrer Verbindung mit dem Netz (12) geändert wird.
11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass erfasst wird, wann die Antriebsmaschine (4) tatsächlich mit dem Netz (12)

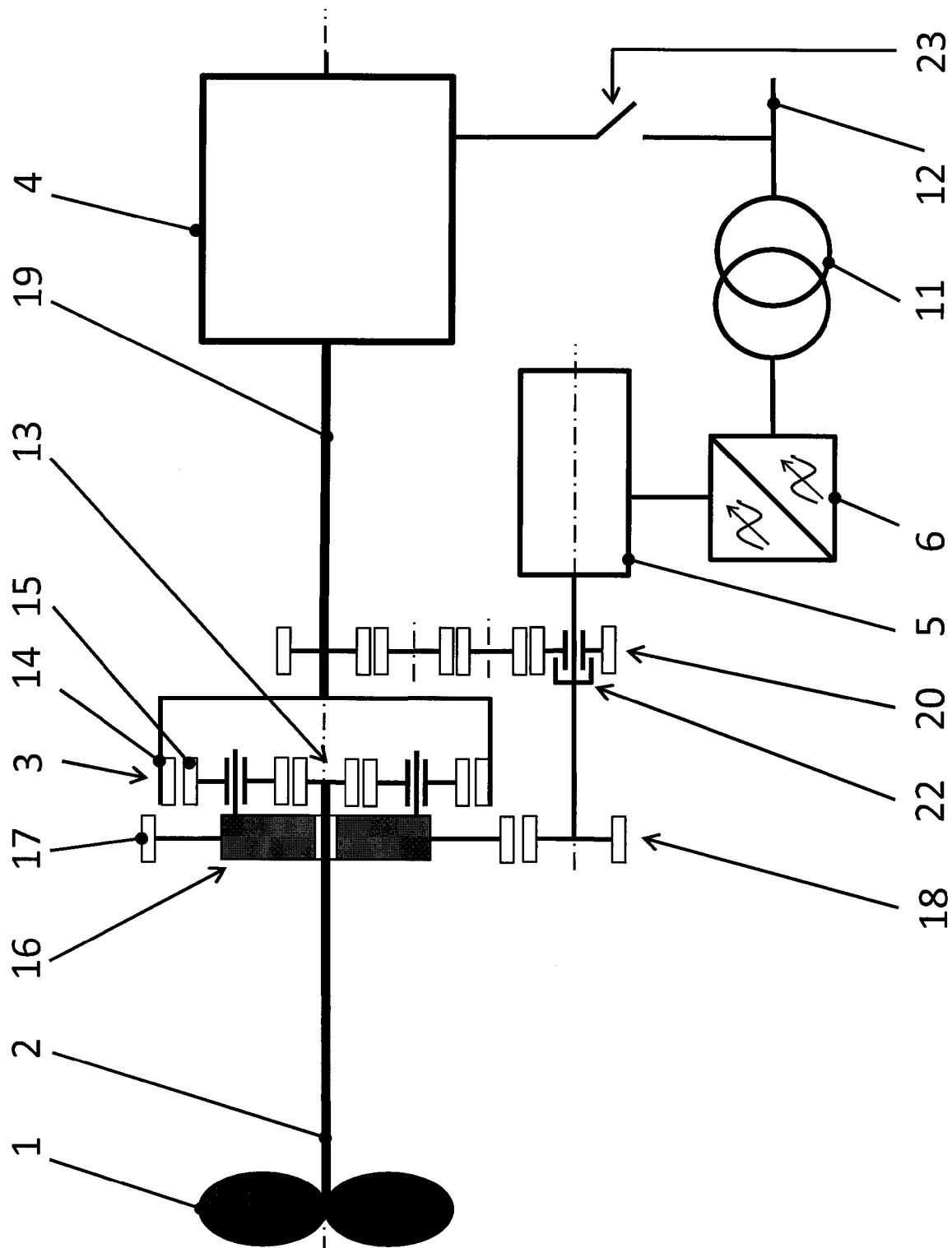
- verbunden wurde, und dass anschließend die Richtung des Drehmomentes des Differenzialantriebes (5) geändert wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der eine Antrieb in der ersten Phase über eine Freilaufkupplung mit dem anderen Antrieb oder mit dem Abtrieb verbunden ist, die bei einem Drehmoment von etwa Null oder einem Wechsel der Richtung des Drehmomentes automatisch öffnet.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass der eine Antrieb in der ersten Phase über eine Schaltkupplung mit dem anderen Antrieb oder mit dem Abtrieb verbunden ist, und dass die Schaltkupplung bei einem Drehmoment von etwa Null geöffnet wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass erfasst wird, wann die Antriebsmaschine (4) tatsächlich mit dem Netz (12) verbunden wurde, und dass das Drehmoment des Differenzialantriebes bis zu diesem Zeitpunkt konstant gehalten wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass erfasst wird, wann die Antriebsmaschine (4) tatsächlich mit dem Netz (12) verbunden wurde, und dass anschließend das Drehmoment auf Null reduziert wird.
16. Triebstrang mit einer Antriebswelle (2) einer Arbeitsmaschine (1), mit 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,
- mit einer Kupplung, über die ein Antrieb gleichzeitig mit dem anderen Antrieb oder mit dem Abtrieb verbunden ist,
- mit wenigstens eine Einrichtung zum Erfassen einer Drehzahl wenigstens eines An- und/oder Abtriebes ermittelt wird,
- und mit einer Steuerung zum Steuern des Differenzialantriebes (5) und gegebenenfalls Öffnen der Kupplung,

gekennzeichnet durch
eine Einrichtung (26, 27) zum Erfassen der Netzfrequenz
vorgesehen ist,

und einen Komparator in der Steuerung, der prüft, ob sich die
aus der Drehzahl der Antriebsmaschine (4) ergebende Frequenz von
der Netzfrequenz um weniger als $\pm 1\%$ abweicht.

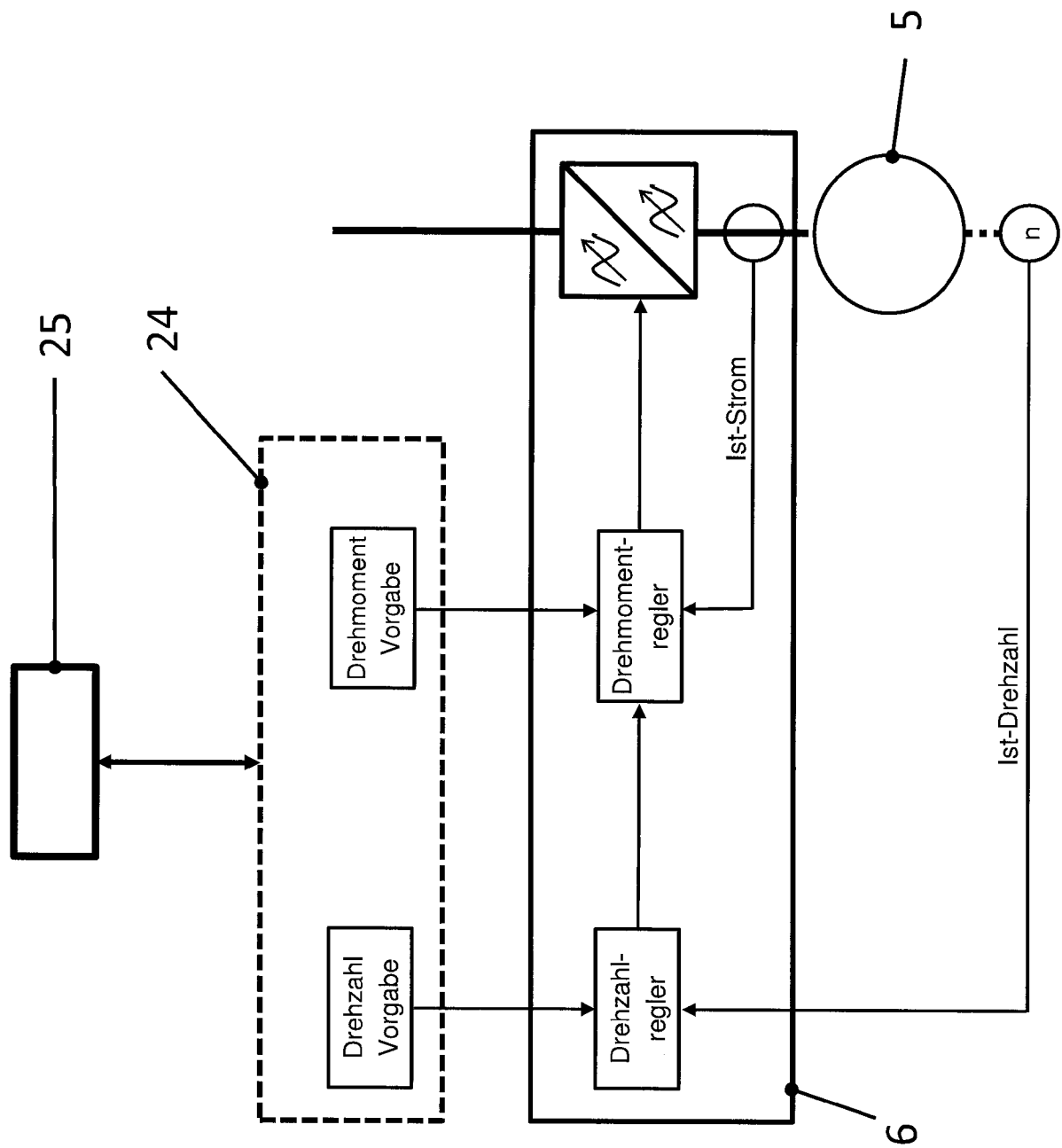
17. Triebstrang nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass der
Komparator prüft, ob sich die aus der Drehzahl der
Antriebsmaschine (4) ergebende Frequenz um weniger als $\pm 0,5\%$,
bevorzugt weniger als $\pm 0,2\%$, insbesondere weniger als $\pm 0,1\%$, von
der Netzfrequenz abweicht.
18. Triebstrang nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass
die Kupplung (22, 31, 54) eine Klauenkupplung, Zahnkupplung,
Freilaufkupplung oder Lamellenkupplung ist.
19. Triebstrang nach einem der Ansprüche 16 bis 18, dadurch
gekennzeichnet, dass die Kupplung eine drehmomentbegrenzende
Kupplung ist.
20. Triebstrang nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass
die Kupplung eine hydrodynamische Kupplung, gegebenenfalls mit
einer zusätzlichen Arretierungsfunktion, ist.
21. Triebstrang nach einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch
gekennzeichnet, dass der Differenzialantrieb (5) eine
Drehstrommaschine, insbesondere eine Asynchronmaschine oder eine
permanentmagneterregte Synchronmaschine, ist.
22. Triebstrang nach einem der Ansprüche 16 bis 20, dadurch
gekennzeichnet, dass der Differenzialantrieb (5) eine
hydrostatische Pumpe/Motor-Kombination ist.
23. Triebstrang nach einem der Ansprüche 16 bis 22, dadurch
gekennzeichnet, dass das Differenzialgetriebe ein Planetengetriebe
ist.

24. Triebstrang nach einem der Ansprüche 16 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitsmaschine (1) eine Pumpe, ein Kompressor, Ventilator, Förderband, Brecher oder eine Mühle ist.



150

Fig. 2



အ
ဖို့

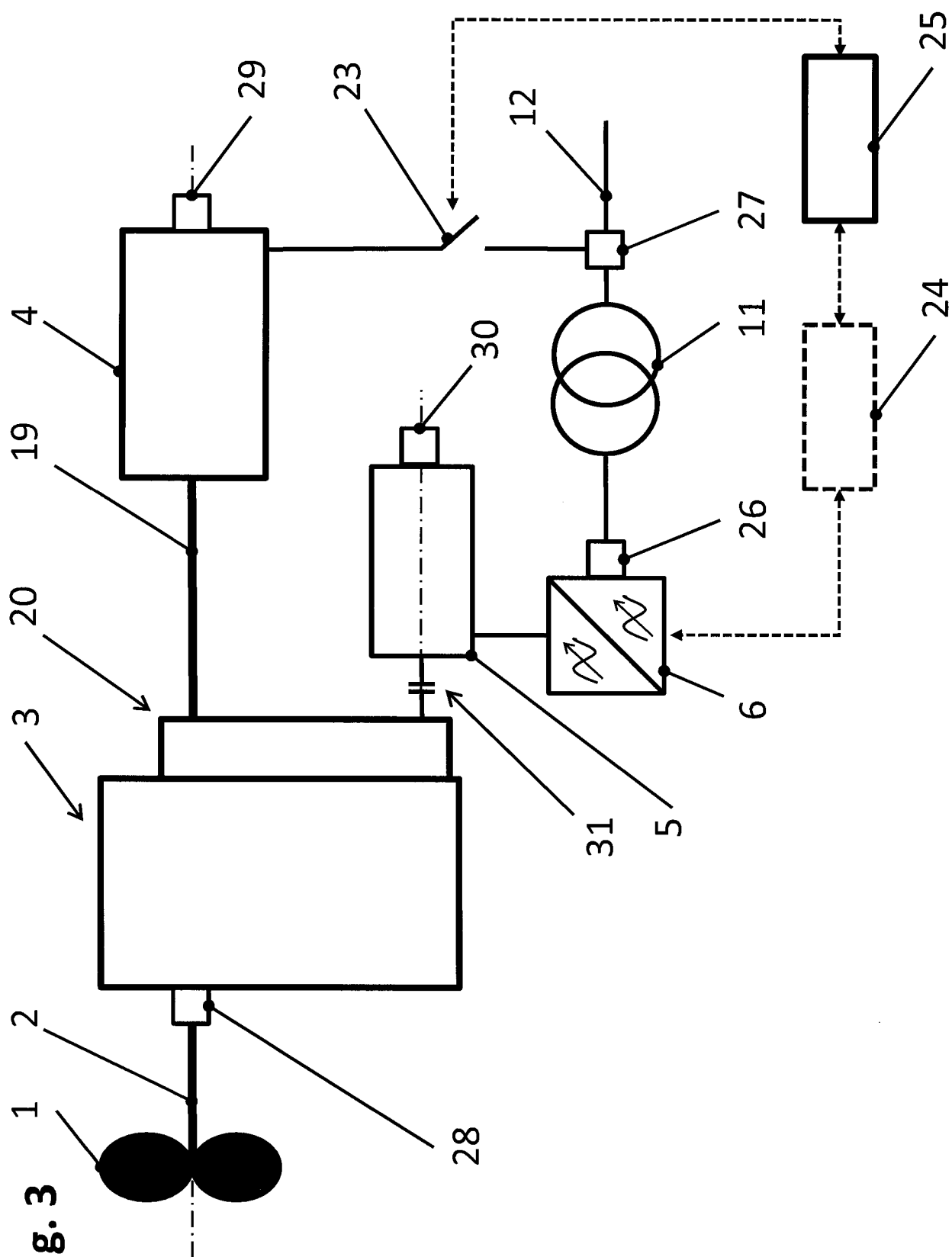


Fig. 4

Aktion	Dauer [ms]	Zeitpunkt [ms]	Zeitpunkt [Nr.]
Befehl von Steuereinheit an Prozessleitsystem: 'Netzzuschaltung Antriebsmaschine'	0	0	1
Eingang Befehl 'Netzzuschaltung Antriebsmaschine' im Prozessleitsystem	20	20	2
Befehl 'Netzzuschaltung Antriebsmaschine' im Prozessleitsystem verarbeitet	20	40	3
Netz-Schalter Antriebsmaschine geschlossen	80	120	4
Rückmeldung „geschlossen“ von Prozessleitsystem an die Steuereinheit	20	140	5
Verarbeitung Rückmeldung „geschlossen“ in Steuereinheit und/oder Wechselrichter	20	160	6
Mechanische Kupplung startet Öffnung	100	260	7
Kupplung erreicht 1/3 vom Nenndrehmoment	100	360	8
Kupplung ist komplett geöffnet	300	660	9

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

H02P 5/753 (2006.01); F03D 15/00 (2016.01); F16H 3/72 (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

H02P 5/753 (2013.01); F03D 15/00 (2017.02); F16H 3/724 (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

H02P, F03D, F16H

Konsultierte Online-Datenbank:

EPDOC, WPIAP

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 16.12.2019 eingereichten Ansprüchen 1-24 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	AT 516180 A4 (HEHENBERGER GERALD DIPL ING) 15. März 2016 (15.03.2016) Ansprüche 1-13; Figuren 1, 3	1-24
A	AT 15940 U1 (DIPL ING GERALD HEHENBERGER) 15. Oktober 2018 (15.10.2018) Zusammenfassung; Figuren 1-3	1-24
A	AT 514396 A1 (SET SUSTAINABLE ENERGY TECHNOLOGIES GMBH) 15. Dezember 2014 (15.12.2014) Ansprüche 1, 8; Figuren 1-3	1-24

Datum der Beendigung der Recherche:

18.11.2020

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

KOVACS György

^{*)} Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Verbinden einer elektrischen Asynchronmaschine (4) eines Triebstranges mit einem elektrischen Netz (12),
wobei der Triebstrang eine Antriebswelle (2) einer Arbeitsmaschine (1), die Antriebsmaschine (4), einen Differenzialantrieb (5) und ein Differenzialgetriebe (3) mit drei An- bzw. Abtrieben aufweist,
von denen ein Abtrieb mit der Antriebswelle (2), ein erster Antrieb mit der Antriebsmaschine (4) und ein zweiter Antrieb mit dem Differenzialantrieb (5) verbunden ist,
wobei die Antriebsmaschine (4) in einer ersten Phase von einer Drehzahl von Null oder annähernd Null angefahren wird, während ein Antrieb gleichzeitig mit dem anderen Antrieb oder mit dem Abtrieb verbunden und die Antriebsmaschine (4) in dieser Phase vom Netz (12) getrennt ist,
wobei in einer zweiten Phase die Antriebsmaschine (4) mit dem Netz (12) verbunden und die Verbindung zwischen dem einen Antrieb und dem anderen Antrieb oder dem Abtrieb getrennt wird,
und wobei die Drehzahl wenigstens eines An- und/oder Abtriebes ermittelt wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
die Netzfrequenz erfasst wird,
dass die Antriebsmaschine (4) mit dem Netz (12) verbunden wird, wenn die sich aus der Drehzahl der Antriebsmaschine (4) ergebende Frequenz um weniger als $\pm 1\%$ von der Netzfrequenz abweicht,
und dass anschließend die Verbindung zwischen dem einen Antrieb und dem anderen Antrieb oder dem Abtrieb getrennt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Antriebsmaschine (4) mit dem Netz (12) verbunden wird, wenn die sich die aus der Drehzahl der Antriebsmaschine (4) ergebende Frequenz um weniger als $\pm 0,5\%$, bevorzugt weniger als $\pm 0,2\%$, insbesondere weniger als $\pm 0,1\%$, von der Netzfrequenz abweicht.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahl wenigstens eines An- und/oder Abtriebes gemessen wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Differenzialantrieb (5) eine über einen Umrichter (6) mit dem Netz (12) verbundene elektrische Maschine, vorzugsweise eine Drehstrommaschine, insbesondere eine Asynchronmaschine oder eine permanentmagneterregte Synchronmaschine, ist, und dass die Drehzahl der Antriebsmaschine (4) aus Werten der Regelung des Umrichters (6), insbesondere auf Basis einer geberlosen Drehzahlregelung, abgeleitet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Umrichter (6) des Differenzialantriebes (5) die Netzfrequenz ermittelt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Netzfrequenz mittels eines Netzfrequenz-Messgerätes (26, 27) gemessen wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Phasenwinkel der elektrischen Maschine (4) mit dem Netz (12) mittels des Differenzialantriebes (5) synchronisiert wird, bevor die Antriebsmaschine (4) mit dem Netz (12) verbunden wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass anschließend die Richtung des Drehmomentes des Differenzialantriebes (5) geändert wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Richtung des Drehmomentes des Differenzialantriebes (5) bei einer Verringerung der Drehzahl der Antriebsmaschine (4) als Folge ihrer Verbindung mit dem Netz (12) geändert wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass erfasst wird, wann die Antriebsmaschine (4) tatsächlich mit dem Netz (12) verbunden wurde, und dass anschließend die Richtung des Drehmomentes des Differenzialantriebes (5) geändert wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der eine Antrieb in der ersten Phase über eine Freilaufkupplung mit dem anderen Antrieb oder mit dem Abtrieb verbunden ist, die bei einem Drehmoment von etwa Null oder einem Wechsel der Richtung des Drehmomentes automatisch öffnet.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der eine Antrieb in der ersten Phase über eine Schaltkupplung mit dem anderen Antrieb oder mit dem Abtrieb verbunden ist, und dass die Schaltkupplung bei einem Drehmoment von etwa Null geöffnet wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass erfasst wird, wann die Antriebsmaschine (4) tatsächlich mit dem Netz (12) verbunden wurde, und dass das Drehmoment des Differenzialantriebes bis zu diesem Zeitpunkt konstant gehalten wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass erfasst wird, wann die Antriebsmaschine (4) tatsächlich mit dem Netz (12) verbunden wurde, und dass anschließend das Drehmoment auf Null reduziert wird.
15. Triebstrang mit einer Antriebswelle (2) einer Arbeitsmaschine (1), mit 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,
 - mit einer Kupplung, über die ein Antrieb gleichzeitig mit dem anderen Antrieb oder mit dem Abtrieb verbunden ist,
 - mit wenigstens eine Einrichtung zum Erfassen einer Drehzahl wenigstens eines An- und/oder Abtriebes ermittelt wird,
 - und mit einer Steuerung zum Steuern des Differenzialantriebes (5) und gegebenenfalls Öffnen der Kupplung,
 - gekennzeichnet durch
 - eine Einrichtung (26, 27) zum Erfassen der Netzfrequenz vorgesehen ist,

und einen Komparator in der Steuerung, der prüft, ob sich die aus der Drehzahl der Antriebsmaschine (4) ergebende Frequenz von der Netzfrequenz um weniger als $\pm 1\%$ abweicht.

16. Triebstrang nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Komparator prüft, ob sich die aus der Drehzahl der Antriebsmaschine (4) ergebende Frequenz um weniger als $\pm 0,5\%$, bevorzugt weniger als $\pm 0,2\%$, insbesondere weniger als $\pm 0,1\%$, von der Netzfrequenz abweicht.
17. Triebstrang nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Kupplung (22, 31, 54) eine Klauenkupplung, Zahnkupplung, Freilaufkupplung oder Lamellenkupplung ist.
18. Triebstrang nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Kupplung eine drehmomentbegrenzende Kupplung ist.
19. Triebstrang nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Kupplung eine hydrodynamische Kupplung, gegebenenfalls mit einer zusätzlichen Arretierungsfunktion, ist.
20. Triebstrang nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Differenzialantrieb (5) eine Drehstrommaschine, insbesondere eine Asynchronmaschine oder eine permanentmagnetenerregte Synchronmaschine, ist.
21. Triebstrang nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Differenzialantrieb (5) eine hydrostatische Pumpe/Motor-Kombination ist.
22. Triebstrang nach einem der Ansprüche 15 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass das Differenzialgetriebe ein Planetengetriebe ist.
23. Triebstrang nach einem der Ansprüche 15 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass die Arbeitsmaschine (1) eine Pumpe, ein Kompressor, Ventilator, Förderband, Brecher oder eine Mühle ist.