



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2019 207 936.9**
(22) Anmeldetag: **29.05.2019**
(43) Offenlegungstag: **03.12.2020**

(51) Int Cl.: **F02D 29/06 (2006.01)**
F02B 63/04 (2006.01)

(71) Anmelder:
Siemens Aktiengesellschaft, 80333 München, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:
DE 35 31 990 A1
DE 10 2005 062 583 A1

(72) Erfinder:
Tigges, Kay, 24257 Hohenfelde, DE

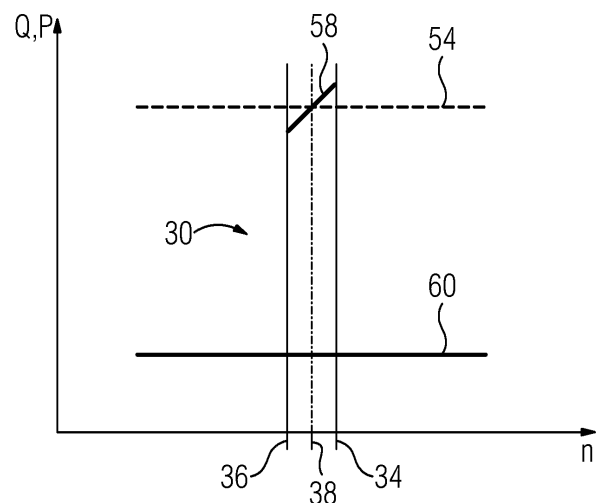
Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Energieversorgungseinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Energieversorgungseinrichtung (12), bei dem:

- mechanische Energie an einer Kurbelwelle (22) eines Zweitakt-Dieselmotors (20) bereitgestellt wird,
 - die mechanische Energie mittels wenigstens einer ersten rotierenden elektrischen Maschine (24), in elektrische Energie gewandelt wird, und
 - die elektrische Energie einer mit dem Energieverteilungsnetz (26) elektrisch gekoppelten, einstellbaren elektrischen Energiesenke (28) zugeführt wird.
- Erfindungsgemäß wird
- eine Soll-Drehzahl (38) für den Zweitakt-Dieselmotor (20) vorgegeben,
 - abhängig von der Soll-Drehzahl und zumindest einem Maschinenmodell des Zweitakt-Dieselmotors (20) ein Drehzahlbereich (30) ermittelt, der die Soll-Drehzahl umfasst,
 - mittels eines Drehzahlsensors (32) eine aktuelle Drehzahl der Kurbelwelle (22) des Zweitakt-Dieselmotors (20) erfasst,
 - die erfasste Drehzahl mit der Soll-Drehzahl (38) verglichen, und
 - die Energiesenke (28) zumindest abhängig von dem Vergleich eingestellt, sodass die Energiesenke (28) in dem ermittelten Drehzahlbereich (30) eine elektrische Belastung bereitstellt, bei der die elektrische Belastung zumindest überproportional mit der erfassten Drehzahl zunimmt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Energieversorgungseinrichtung, bei dem mechanische Energie an einer Kurbelwelle eines Zweitakt-Dieselmotors bereitgestellt wird, die mechanische Energie mittels wenigstens einer ersten rotierenden elektrischen Maschine, die mechanisch mit der Kurbelwelle gekoppelt ist, in elektrische Energie gewandelt wird, und die elektrische Energie zumindest teilweise einer mit dem Energieverteilungsnetz elektrisch gekoppelten, einstellbaren elektrischen Energiesenke zugeführt wird. Weiterhin betrifft die Erfindung eine Energieversorgungseinrichtung, mit einem Zweitakt-Dieselmotor, der mechanische Energie an einer Kurbelwelle des Zweitakt-Dieselmotors bereitstellt, wenigstens einer ersten rotierenden elektrischen Maschine, die elektrische Energie an einem Maschinenanschluss bereitstellt und die zum Wandeln der mechanischen Energie in die elektrische Energie eine mit der Kurbelwelle mechanisch gekoppelte Läuferwelle aufweist, und eine Steuereinheit zum Steuern zumindest des Zweitakt-Dieselmotors und/oder der ersten rotierenden elektrischen Maschine. Schließlich betrifft die Erfindung ein Wasserfahrzeug mit einer Energieversorgungseinrichtung und einer mit der Energieversorgungseinrichtung elektrisch koppelbaren elektrischen Antriebseinrichtung, wobei die elektrische Antriebseinrichtung eine zweite rotierende elektrische Maschine umfasst, die mechanisch mit einem Antriebspropeller des Wasserfahrzeugs gekoppelt ist.

[0002] Zweitakt-Dieselmotoren, Energieversorgungseinrichtungen zum Bereitstellen von elektrischer Energie sowie auch Verfahren zu deren Betrieb sind im Stand der Technik umfänglich bekannt, so dass es eines gesonderten druckschriftlichen Nachweises hierfür nicht bedarf.

[0003] Energieversorgungseinrichtungen der gattungsgemäßen Art dienen insbesondere dazu, elektrische Energie für einen bestimmungsgemäßen Betrieb von elektrischen Verbrauchern, die an der Energieversorgungseinrichtung angeschlossen sind, bereitzustellen. Die Energieversorgungseinrichtung kann zu diesem Zweck an einem Energieverteilungsnetz angeschlossen sein, an dem auch weitere Energieversorgungseinrichtungen und elektrische Verbraucher angeschlossen sein können. Das Energieverteilungsnetz kann somit auch der Verteilung von elektrischer Energie dienen.

[0004] Zum Bereitstellen der elektrischen Energie ist es bekannt, dass die Energieversorgungseinrichtung zumindest eine Verbrennungskraftmaschine umfasst, die mit einer rotierenden elektrischen Maschine mechanisch gekoppelt ist. Die rotierende elektrische Maschine dient dazu, die an einer Kurbelwelle der Verbrennungskraftmaschine bereitgestellte me-

chanische Energie in elektrische Energie umzuformen beziehungsweise zu wandeln, sodass die Energieversorgungseinrichtung, die die Verbrennungskraftmaschine und die rotierende elektrische Maschine umfasst, in gewünschter Weise die elektrische Energie bereitzustellen vermag.

[0005] Eine besondere Situation für gattungsgemäße Energieversorgungseinrichtungen ergibt sich, wenn als Verbrennungskraftmaschine ein Zweitakt-Dieselmotor eingesetzt werden soll. Die Nutzung von Zweitakt-Dieselmotoren ist insbesondere im Bereich von Schiffsantrieben weit verbreitet. Zweitakt-Dieselmotoren sind Verbrennungskraftmaschinen, mit denen ein großer Wirkungsgrad in Bezug auf eine Brennstoffnutzung erreicht werden kann. Darüber hinaus sind sie vergleichsweise wartungsarm und zuverlässig im bestimmungsgemäßen Betrieb gegenüber anderen Verbrennungskraftmaschinen.

[0006] Zweitakt-Dieselmotoren sind in der Regel als Zweitakt-Großdieselmotoren ausgebildet und häufig für einen Leistungsbereich von zum Beispiel etwa 6 MW bis etwa 80 MW konstruiert. Bei Schiffsantrieben dienen die Zweitakt-Dieselmotoren dazu, Propeller von Schiffsantrieben anzutreiben, und zwar vorzugsweise unmittelbar anzutreiben.

[0007] Der Zweitakt-Dieselmotor ist ein nach dem Zweitakt-Prinzip arbeitender Dieselmotor. Die Funktion des Zweitakt-Dieselmotors wird als bekannt vorausgesetzt, weshalb vorliegend von weiteren detaillierten Ausführungen in Bezug auf dessen Funktion abgesehen wird.

[0008] Der Einsatz von Zweitakt-Dieselmotoren, insbesondere bei Schiffsantrieben, hat sich bewährt, zumal die Zweitakt-Dieselmotoren den besonders hohen Wirkungsgrad erreichen können. Zweitakt-Dieselmotoren sind in der Regel als langsam laufende Motoren ausgebildet. Sie sind üblicherweise als Reihenmotoren, vorzugsweise mit einer ungeraden Anzahl von Zylindern ausgebildet. Im bestimmungsgemäßen Betrieb werden derartige Zweitakt-Dieselmotoren häufig mit einer Drehzahl in einem Bereich von etwa 60 bis etwa 120 Umdrehungen pro Minute, vorzugsweise in einem Bereich von etwa 80 bis etwa 100 Umdrehungen pro Minute betrieben. Typische Maße von Bohrungen von Zylindern solcher Zweitakt-Dieselmotoren reichen von einigen Dezimetern bis zu etwa 1 m oder mehr. Ein Zylinderhub kann zum Beispiel in einem Bereich von einigen Dezimetern bis zu etwa 3,5 m, vorzugsweise in einem Bereich von etwa 50 cm bis zu etwa 1 m liegen.

[0009] Die Nutzung von Zweitakt-Dieselmotoren zur Erzeugung von elektrischer Energie ist derzeit nur sehr begrenzt vorgesehen. Obwohl Zweitakt-Großdieselmotoren einen deutlich besseren Wirkungsgrad als beispielsweise Viertakt-Dieselmotoren ha-

ben, sind Zweitakt-Dieselmotoren bislang aufgrund physikalischer Umstände kaum für die Nutzung der Erzeugung elektrischer Energie in Betracht gezogen worden. Ein wichtiger Grund ist, dass - anders als bei Nutzung des Zweitakt-Dieselmotors zum Antrieb eines Propellers eines Wasserfahrzeugs - die elektrische Maschine kein geeignetes Trägheitsmoment zur Drehzahlstabilisierung und damit auch als Überdrehzahlschutz bereitzustellen vermag. Darüber hinaus erweist es sich als ungünstig, dass Zweitakt-Dieselmotoren im bestimmungsgemäßen Betrieb in der Regel bei Drehzahlen betrieben werden, die üblicherweise kleiner als etwa 100 Umdrehungen pro Minute sind.

[0010] Daraus resultiert, dass die rotierende elektrische Maschine eine hohe Polzahl benötigt, wodurch eine bauliche Umsetzung der rotierenden elektrischen Maschine und damit der Energieversorgungseinrichtung insgesamt ungünstig werden würde. Nicht zuletzt erweisen sich Drehmomentschwankungen bedingt durch die vergleichsweise kleine Drehzahl und die Zündfolgen als ungünstig, die zu großen Schwankungen bei einer Generatorfrequenz führen können und infolgedessen ungünstige Auswirkungen auf einen entsprechenden Stromverlauf eines elektrischen Stroms nach sich ziehen können.

[0011] Bei Nutzung einer Energieversorgungseinrichtung, die einen Zweitakt-Dieselmotor im Bereich von Wasserfahrzeugen umfasst, ist eine Lösung der vorgenannten Probleme nicht bekannt. Bei landgestützten Energieversorgungseinrichtungen gattungsgemäßer Art werden große massereiche Schwungräder eingesetzt, um Drehzahlschwankungen des Zweitakt-Dieselmotors zu reduzieren. Diese Lösung ist jedoch sehr aufwendig und für Fahrzeuge jeglicher Art ungeeignet.

[0012] Als besonders kritisch erweist es sich, wenn die rotierende elektrische Maschine und/oder deren elektrische Kopplung mit dem Energieversorgungsnetz, welches vorzugsweise ein Gleichspannungsnetz ist, plötzlich ausfällt. Aufgrund des großen Hubraums sowie der niedrigen Drehzahl kann dann nämlich das Problem auftreten, dass ein bereits mit Brennstoff gefüllter Zylinder zündet und seine Energie freisetzt, die freigesetzte Energie jedoch nicht durch die rotierende elektrische Maschine aufgenommen werden kann. Bei den hierbei umgesetzten großen Energiemengen kann eine erhebliche Beschädigung zumindest des Zweitakt-Dieselmotors die Folge sein.

[0013] Darüber hinaus kann in sehr kurzer Zeit eine zulässige maximale Drehzahl der Kurbelwelle überschritten werden, sodass der Zweitakt-Dieselmotor den Bereich der Überdrehzahl erreicht. Hier kann eine nachhaltige Schädigung des Zweitakt-Dieselmotors die Folge sein. Bei den hier behandelten Groß-

maschinen ist dies nicht nur außerordentlich gefährlich, sondern auch außerordentlich kostenintensiv.

[0014] Der Betrieb des Zweitakt-Dieselmotors als Schiffsantrieb, um einen Propeller des Schiffs anzutreiben, ist in Bezug auf den Zweitakt-Dieselmotor eine günstige Anwendung. Dies ergibt sich dadurch, dass ein drehzahlabhängiges Lastverhalten des Propellers einen quadratischen bis kubischen Verlauf in Bezug auf eine Kennlinie bezüglich eines Drehmoments und/oder einer Leistung bereitstellt, was dazu führt, dass der Zweitakt-Dieselmotor bei Drehzahlabweichungen von einer vorgegebenen Soll-Drehzahl eine entsprechende Drehmoment- beziehungsweise Leistungsänderung als Last erfährt. Dadurch kann auf einfache Weise ein stabiler Arbeitspunkt bezüglich einer vorgegebenen Drehzahl erreicht werden.

[0015] Wird hingegen der Zweitakt-Dieselmotor dazu genutzt, eine elektrische Maschine in einem Generatorbetrieb zu betreiben, ändern sich die Bedingungen entscheidend. Dient die elektrische Maschine zur elektrischen Energieversorgung eines Bordnetzes als Energieversorgungsnetz und ist üblicherweise eine Leistung als Last im Wesentlichen konstant, ergibt sich hierdurch ein ungünstiges Lastverhalten bezüglich des Drehmomentes, da sich die durch die elektrische Maschine bereitgestellte Belastung kaum ändert, insbesondere im Wesentlichen konstant bleibt. Hierdurch kann ein starkes Schwanken bezüglich einer aktuellen Drehzahl der Kurbelwelle des Zweitakt-Dieselmotors auftreten, welches auch als „Speed Hunting“ bezeichnet wird. Dies ist jedoch für den Betrieb der elektrischen Maschine als Generator sehr nachteilig und kann darüber hinaus zu Instabilitäten in Bezug auf eine Drehzahlregelung für den Zweitakt-Dieselmotor führen. Die Probleme können sich somit auch gegenseitig verstärken.

[0016] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine gattungsgemäße Energieversorgungsvorrichtung, ein Verfahren zu deren Betrieb sowie ein Wasserfahrzeug zu verbessern, so dass ein zuverlässiger dauerhafter Betrieb für eine Energieversorgung gewährleistet werden kann.

[0017] Als Lösung werden mit der Erfindung eine Energieversorgungseinrichtung sowie ein Verfahren gemäß den unabhängigen Ansprüchen vorgeschlagen.

[0018] In Bezug auf ein gattungsgemäßes Verfahren wird insbesondere vorgeschlagen, dass eine Soll-Drehzahl für den Zweitakt-Dieselmotor vorgegeben wird, abhängig von der Soll-Drehzahl und zumindest einem Maschinenmodell des Zweitakt-Dieselmotors ein Drehzahlbereich ermittelt wird, der die Soll-Drehzahl umfasst, mittels eines Drehzahlsensors eine aktuelle Drehzahl der Kurbelwelle des Zweitakt-Dieselmotors erfasst wird, die erfasste Drehzahl mit der Soll-Drehzahl verglichen wird, und die Energiesen-

ke zumindest abhängig von dem Vergleich eingestellt wird, sodass die Energiesenke in dem ermittelten Drehzahlbereich eine elektrische Belastung bereitstellt, bei der die elektrische Belastung einen von der erfassten Drehzahl abhängigen Verlauf hat, sodass die elektrische Belastung zumindest überproportional mit der erfassten Drehzahl zunimmt.

[0019] Bezüglich einer gattungsgemäße Energieversorgungsvorrichtung wird insbesondere vorgeschlagen, dass die Energieversorgungsvorrichtung eine mit dem Maschinenanschluss elektrisch gekoppelte, einstellbare elektrische Energiesenke zum zumindest teilweise Aufnehmen der elektrischen Energie aufweist, wobei die Steuereinheit ausgebildet ist, eine Soll-Drehzahl für den Zweitakt-Dieselmotor vorzugeben, abhängig von der Soll-Drehzahl und zumindest einem Maschinenmodell des Zweitakt-Dieselmotors einen Drehzahlbereich zu ermitteln, der die Soll-Drehzahl umfasst, mittels eines Drehzahlsensors eine aktuelle Drehzahl der Kurbelwelle des Zweitakt-Dieselmotors zu erfassen, die erfasste Drehzahl mit der Soll-Drehzahl zu vergleichen, und die Energiesenke zumindest abhängig von dem Vergleich einzustellen, sodass die Energiesenke in dem ermittelten Drehzahlbereich eine elektrische Belastung bereitstellt, bei der die elektrische Belastung einen von der erfassten Drehzahl abhängigen Verlauf hat, sodass die elektrische Belastung zumindest überproportional mit der erfassten Drehzahl zunimmt.

[0020] Bezüglich eines gattungsgemäßen Wasserfahrzeugs wird insbesondere vorgeschlagen, dass die Energieversorgungsvorrichtung gemäß der Erfindung ausgebildet ist.

[0021] Die Erfindung basiert unter anderem auf dem Gedanken, dass der Betrieb der Energieversorgungseinrichtung, die einen mit einer rotierenden elektrischen Maschine mechanisch gekoppelten Zweitakt-Dieselmotor umfasst, dadurch verbessert werden kann, dass die rotierende elektrische Maschine elektrisch mit einer elektrischen Energiesenke gekoppelt werden kann, die einstellbar ist. Dabei sieht die Erfindung vor, dass die Energiesenke derart eingestellt werden kann, dass sie eine überproportionale elektrische Belastung in Bezug auf eine Drehzahl der Kurbelwelle bereitstellt, sodass für den ermittelten Drehzahlbereich eine von der konstanten Belastung abweichende mit zunehmender Drehzahl zunehmende elektrische Belastung erreicht werden kann. Dadurch ist es möglich, die Energieversorgungseinrichtung erheblich stabiler zu betreiben und insbesondere das störende „Speed Hunting“ zu reduzieren.

[0022] Zu diesem Zweck wird der Drehzahlbereich ermittelt, und zwar abhängig von einer Soll-Drehzahl, die zum Beispiel von einer übergeordneten Steuerung der Energieversorgungseinrichtung, insbeson-

dere einer Steuereinheit der Energieversorgungseinrichtung, vorgegeben werden kann, um unter Berücksichtigung von Eigenschaften der rotierenden elektrischen Maschine eine elektrische Leistung und/oder eine elektrische Spannung, die durch die rotierende elektrische Maschine bereitgestellt werden soll, erreichen zu können. Unter Berücksichtigung eines Maschinenmodells des Zweitakt-Dieselmotors kann nun der Drehzahlbereich ermittelt werden. Das Maschinenmodell kann Betriebseigenschaften des Zweitakt-Dieselmotors umfassen, insbesondere auch eine Motorregelung, beispielsweise in Bezug auf eine Brennstoffzufuhr oder dergleichen. Darüber hinaus kann das Maschinenmodell auch physikalische Größen wie zum Beispiel Trägheitsmomente, zu bewegende Massen, Geometrien, insbesondere in Bezug auf Abmessungen und/oder dergleichen umfassen. Darüber hinaus kann natürlich auch ein Maschinenmodell der wenigstens einen rotierenden elektrischen Maschine ergänzend berücksichtigt werden, um den Drehzahlbereich zu ermitteln. Vorzugsweise wird der Drehzahlbereich so ermittelt, dass unter Berücksichtigung der Gesamteigenschaften eine Stabilisierung in Bezug auf die erfasste Drehzahl erreicht werden kann.

[0023] Die Energiesenke ist vorliegend einstellbar ausgebildet und kann zum Beispiel einen oder mehrere elektrische Verbraucher, einen oder mehrere elektrische Energiespeicher, Kombinationen hiervon und/oder dergleichen umfassen. Darüber hinaus kann die Energiesenke natürlich auch ein weiteres Energieversorgungsnetz sein, welches mit der Energiesenke elektrisch koppelbar ist, um elektrische Energie in entsprechender Weise abführen zu können. Mit der Energiesenke kann eine einstellbare Belastung der wenigstens einen rotierenden elektrischen Maschine erreicht werden, sodass mittels der rotierenden elektrischen Maschine eine entsprechende Belastung des Zweitakt-Dieselmotors bereitgestellt werden kann. Durch Einstellen einer entsprechenden Charakteristik beziehungsweise entsprechendes Steuern der Energiesenke kann somit die gewünschte Belastung in Bezug auf den Zweitakt-Dieselmotor erreicht werden, sodass eine Stabilisierung des bestimmungsgemäßen Betriebs während der Nutzung der Energieversorgungseinrichtung erreicht werden kann. Die Energiesenke kann unmittelbar an der wenigstens einen rotierenden elektrischen Maschine angeschlossen sein. In alternativen Ausgestaltungen kann jedoch auch vorgesehen sein, dass die wenigstens eine rotierende elektrische Maschine mit einem Energieversorgungsnetz elektrisch gekoppelt ist und auf diese Weise elektrische Energie zur Versorgung von an dem Energieversorgungsnetz angeschlossenen elektrischen Einheiten oder elektrischen Einrichtungen dienen kann. An dem Energieversorgungsetz kann dann auch die einstellbare elektrische Energiesenke angeschlossen sein. Die elektrische Energiesenke braucht also nicht dafür aus-

gelegt zu sein, die vollständige durch die wenigstens eine rotierende elektrische Maschine bereitgestellte elektrische Energie aufnehmen zu können. Abhängig vom Betriebszustand der Energieversorgungseinrichtung sowie Eigenschaften insbesondere des Zweitakt-Dieselmotors, gegebenenfalls unter Berücksichtigung seiner Regelung, braucht die einstellbare elektrische Energiesenke unter Umständen nur für einen entsprechenden Anteil der bereitgestellten elektrischen Energie ausgelegt zu sein.

[0024] Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass die einstellbare elektrische Energiesenke für eine elektrische Leistung als Belastung ausgelegt ist, die etwa 20 % einer maximalen durch die Energieversorgungseinrichtung bereitstellbaren elektrischen Leistung ist oder dergleichen. Die einstellbare elektrische Energiesenke kann dazu dienen, in hochdynamischer Weise hinsichtlich der elektrischen Belastung vorzugsweise über ihren gesamtöglichen Einstellbereich eingestellt zu werden. Die Energiesenke selbst kann zum Beispiel die aufgenommene elektrische Energie in eine andere Energieform umwandeln, beispielsweise in Wärme oder dergleichen. In diesem Fall kann die bereitgestellte Wärme zum Beispiel für Heizzwecke genutzt werden, beispielsweise, um bei einem Wasserfahrzeug Kabinen zu beheizen, einen Treibstofftank zu beheizen und/oder dergleichen. Darüber hinaus kann die Energiesenke die elektrische Energie natürlich auch für andere, weitere Zwecke nutzbar machen, indem sie die elektrische Energie entsprechend umformt und für spezifische Verbraucher zur Verfügung stellt, die diese Energie nutzen können. Schließlich kann die Energiesenke auch einen Energiespeicher umfassen, der es ermöglicht, eine pulsierende Energieaufnahme zu vergleichmäßigen oder dergleichen.

[0025] Die Energiesenke ist vorzugsweise mittels einer oder mehrerer geeigneter Steuersignale durch eine Steuereinheit einstellbar. Die Steuereinheit steuert die Energiesenke derart, dass die Energiesenke in dem ermittelten Drehzahlbereich eine elektrische Belastung bereitstellt, bei der die elektrische Belastung einen von der erfassten Drehzahl abhängigen Verlauf hat, sodass die elektrische Belastung zumindest überproportional mit der erfassten Drehzahl zunimmt. Überproportional ist ein Verlauf, der zum Beispiel quadratisch, kubisch oder dergleichen ist. Natürlich können auch Kombinationen hiervon vorgesehen sein. Vorzugsweise ist der Verlauf mit zunehmender Drehzahl zumindest monoton steigend.

[0026] Durch die entsprechende Einstellung der elektrischen Energiesenke kann somit eine überproportionale Belastung des Zweitakt-Dieselmotors bei steigender Drehzahl erreicht werden. Entsprechend wird eine Entlastung bei sich reduzierender Drehzahl bereitgestellt. Insgesamt ergibt sich dadurch eine Stabilisierung eines bestimmten Arbeitspunkts

des Zweitakt-Dieselmotors im bestimmungsgemäßen Betrieb der Energieversorgungseinrichtung.

[0027] Dadurch ist es möglich, die Energieversorgungseinrichtung mit einem Zweitakt-Dieselmotor verbessert zu realisieren und die energietechnischen Vorteile des Zweitakt-Dieselmotors gegenüber Viertakt-Motoren für die Bereitstellung von elektrischer Energie zu nutzen. Dabei erlaubt es die Erfindung, dass auf die Nutzung von Schwungrädern weitgehend verzichtet werden kann, weil nämlich die entsprechende geeignete Belastung durch die Energiesenke realisiert werden kann.

[0028] Das Energieversorgungsnetz kann vorzugsweise ein Gleichspannungsnetz, insbesondere ein Gleichspannungsenergieversorgungsnetz sein, welches zum Beispiel einen Gleichspannungszwischenkreis umfassen kann. Natürlich kann das Gleichspannungsnetz auch mit weiteren Energieversorgungsnetzen gekoppelt sein, beispielsweise Wechselspannungsnetzen wie einem öffentlichen Energieversorgungsnetz oder dergleichen, und zwar vorzugsweise unter Nutzung geeigneter Energiewandler. An dem Gleichspannungsnetz können aber auch ein oder mehrere elektrische Verbraucher angeschlossen sein, die elektrische Energie für ihren bestimmungsgemäßen Betrieb benötigen. Darüber hinaus kann das Gleichspannungsnetz natürlich auch einen oder mehrere elektrische Energiespeicher, beispielsweise nach Art von Akkumulatoren oder dergleichen umfassen.

[0029] Die rotierende elektrische Maschine ist vorzugsweise unmittelbar mit dem Gleichspannungsnetz elektrisch gekoppelt. In diesem Fall kann die rotierende elektrische Maschine beispielsweise als eine Gleichspannungsmaschine oder dergleichen ausgebildet sein. Natürlich kann die Gleichspannungsmaschine eine Steuereinheit umfassen, mittels der die bereitgestellte Gleichspannung eingestellt und/oder geregelt werden kann. Besonders vorteilhaft ist die rotierende elektrische Maschine jedoch durch eine Wechselspannungsmaschine gebildet. In diesem Fall ist die rotierende elektrische Maschine mittelbar mit dem Gleichspannungsnetz elektrisch gekoppelt, und zwar beispielsweise unter Zwischenschaltung eines Energiewandlers wie einem Gleichrichter oder dergleichen.

[0030] Die rotierende elektrische Maschine weist wenigstens eine Wicklung auf, die im Ständer oder im Läufer angeordnet sein kann. Die Wicklung kann jedoch auch sowohl im Ständer als auch im Läufer angeordnet sein. Dies ist abhängig von einer jeweiligen Konstruktion der rotierenden elektrischen Maschine. Die Funktion der rotierenden elektrischen Maschine wird ebenfalls als bekannt vorausgesetzt, sodass von detaillierten Erläuterungen abgesehen wird.

[0031] Die elektrische Kopplung ist natürlich für die entsprechende elektrische Belastung auszulegen. Wird zum Beispiel die elektrische Kopplung mittels eines jeweiligen diodenbasierten Gleichrichters realisiert, sollten die Dioden auch für die auftretende Leistung ausgelegt sein.

[0032] Weiterhin wird vorgeschlagen, dass die erste rotierende elektrische Maschine als mehrphasige Synchronmaschine ausgebildet ist. Mehrphasige Synchronmaschinen eignen sich besonders für die Bereitstellung von elektrischer Energie. Sie sind besonders günstig regelbar. Die mehrphasige Synchronmaschine ist vorzugsweise eine dreiphasige Synchronmaschine, wodurch auf insbesondere verfügbare elektrische Maschinen günstig zurückgegriffen werden kann. Darüber hinaus können in alternativen Ausgestaltungen bedarfsweise eine oder zwei der rotierenden elektrischen Maschinen auch als Asynchronmaschine, insbesondere doppeltgespeiste Asynchronmaschine, oder auch als Gleichstrommaschine ausgebildet sein.

[0033] Gemäß einer Weiterbildung weist die Energieversorgungseinrichtung wenigstens einen Energiewandler zum elektrischen Koppeln der ersten elektrischen Wicklung mit dem Energieversorgungsnetz auf. Der Energiewandler kann bei einer rotierenden elektrischen Maschine, die als Wechselspannungsmaschine ausgebildet ist, beispielsweise einer mehrphasigen Synchronmaschine, als Gleichrichtereinheit, insbesondere als Brückengleichrichter, beispielsweise unter Nutzung von Dioden, Thyristoren, Transistoren und/oder dergleichen ausgebildet sein. Vorzugsweise ist für die rotierende elektrische Maschine ein separater Energiewandler vorgesehen. Ist der Energiewandler als Gleichrichter ausgebildet, kann er darüber hinaus auch einen Spannungswandler umfassen, mittels dem eine von der Gleichrichtereinheit bereitgestellte pulsierende Gleichspannung in eine für das Gleichspannungsnetz vorgesehene Gleichspannung gewandelt werden kann. Der Energiewandler kann aber auch beispielsweise ein Umrichter, insbesondere ein Wechselrichter oder dergleichen sein. Je nach Art der rotierenden elektrischen Maschine kann der Energiewandler auch ein DC/DC-Wandler, ein AC/DC-Wandler oder dergleichen sein. Je nach Art und Anwendung der rotierenden elektrischen Maschine können auch Kombinationen hiervon vorgesehen sein.

[0034] Gemäß einer weiteren Weiterbildung wird vorgeschlagen, dass die Energieversorgungseinrichtung wenigstens eine elektrische Schalteinheit zum Koppeln der elektrischen Wicklung mit dem Energieversorgungsnetz aufweist. Durch die Schalteinheit kann eine vorgegebene elektrische Kopplung der Wicklung mit dem Energieversorgungsnetz erreicht werden. Die Schalteinheit kann zu diesem Zweck zum Beispiel als eine Umschalteinheit ausgebildet

sein, die jeweils entweder die Wicklung der rotierenden elektrischen Maschine mit dem Energieversorgungsnetz elektrisch koppelt. Darüber hinaus kann natürlich vorgesehen sein, dass für die Wicklung der rotierenden elektrischen Maschine eine Schalteinheit vorgesehen ist, mittels der in vorgegebener Weise die elektrische Kopplung hergestellt werden kann. Die Schalteinheit kann zum Beispiel als elektromechanische Schalteinheit mit hierfür geeigneten elektromechanischen Schaltelementen, wie zum Beispiel Schaltkontakten oder dergleichen, ausgebildet sein. Darüber hinaus kann die Schalteinheit natürlich auch als elektronische Schalteinheit ausgebildet sein und zu diesem Zweck elektronische Schaltelemente umfassen.

[0035] Ein Schaltelement im Sinne dieser Offenbarung ist dabei vorzugsweise ein steuerbares elektronisches Schaltelement, beispielsweise ein steuerbarer elektronischer Halbleiterschalter der vorzugsweise zum bidirektionalen Sperren ausgebildet ist, indem beispielsweise zwei Transistoren antiserial geschaltet vom Schaltelement umfasst sind, zwei antiparallel geschaltete Thyristoren vom Schaltelement umfasst sind, Kombinationsschaltungen hiervon, insbesondere mit parallelgeschalteten Inversdioden, beispielsweise unter Nutzung von Gate-Turn-Off-Thyristoren (GTO), unter Nutzung von Insulated-Gate-Bipolar-Transistoren (IGBT), Kombinationen hiervon oder dergleichen. Dem Grunde nach kann das Schaltelement jedoch auch Feldeffekttransistoren umfassen, insbesondere Metalloxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistoren (MOSFET) oder dergleichen.

[0036] Zur Bereitstellung der gewünschten Energiewandlungsfunktionalität des Energiewandlers werden die Schaltelemente im Schaltbetrieb betrieben. In Bezug auf ein elektronisches Schaltelement wie einen Halbleiterschalter unter Nutzung eines Transistors bedeutet der Schaltbetrieb, dass der Transistor in einem eingeschalteten Schaltzustand zwischen den eine Schaltstrecke bildenden Anschlüssen des Transistors einen sehr kleinen elektrischen Widerstand bereitstellt, sodass ein hoher Stromfluss bei sehr kleiner Restspannung möglich ist. In einem ausgeschalteten Schaltzustand ist hingegen die Schaltstrecke des Transistors hochohmig, das heißt, sie stellt einen hohen elektrischen Widerstand bereit, sodass auch bei hoher, an der Schaltstrecke anliegender elektrischer Spannung im Wesentlichen kein oder nur ein sehr geringer, insbesondere vernachlässigbarer, Stromfluss vorliegt. Hiervon unterscheidet sich ein Linearbetrieb bei Transistoren, der aber bei Umrichtern der gattungsgemäßen Art in der Regel nicht zum Einsatz kommt.

[0037] Das Schaltelement weist zur Realisierung der Schaltfunktionalität wenigstens einen Steueranschluss auf, an dem es mit von einer Steuereinrichtung bereitgestellten Schaltsignalen beaufschlag-

bar ist, sodass die gewünschte Schaltfunktion des Schaltelements realisiert werden kann. Das Schaltsignal kann ein binäres Schaltsignal sein, welches zwei Zustandswerte einnehmen kann, um die gewünschte Schaltfunktion des Schaltelements bereitstellen zu können. Beispielsweise kann das Schaltsignal eine Impulsfolge umfassen, mittels der der Steueranschluss beaufschlagt wird. Dies ist vor allem bei Thyristoren und GTO zweckmäßig. Darüber hinaus kann bei Transistoren vorgesehen sein, dass das Schaltsignal als Rechtecksignal ausgebildet ist, wobei ein jeweiliger Schaltzustand des Schaltelements einem der elektrischen Potentiale des Rechtecksignals zugeordnet werden kann. Ein solches Signal ist beispielsweise für Transistoren, insbesondere für bipolare Transistoren, Feldeffekttransistoren oder dergleichen zweckmäßig. Ein zeitliches Verhältnis der beiden elektrischen Potentiale bestimmt in der Regel das Tastverhältnis.

[0038] Vorzugsweise umfasst die Energieversorgungseinrichtung eine Steuereinheit zum Steuern der rotierenden elektrischen Maschine und/oder des wenigstens einen Energiewandlers und/oder der wenigstens einen elektrischen Schalteinheit sowie insbesondere der Energiesenke. Dadurch kann die Energieversorgungseinrichtung in geeigneter Weise gesteuert werden. Insbesondere kann mit der Steuereinheit der bestimmungsgemäße Betrieb der ersten und/oder der zweiten rotierenden elektrischen Maschine überwacht werden. Die Steuereinheit ist vorzugsweise dazu ausgebildet, den Drehzahlbereich zu ermitteln und unter Berücksichtigung eines Vergleichs der Soll-Drehzahl mit einer erfassten Drehzahl, die vorzugsweise einer aktuellen oder momentanen Drehzahl der Kurbelwelle entspricht, wenigstens ein Steuersignal für die Energiesenke bereitzustellen. Der bestimmungsgemäße Betrieb der rotierenden elektrischen Maschine sowie gegebenenfalls auch der Energiesenke kann beispielsweise mittels einem oder mehrerer geeigneter Sensoren erfasst werden, zum Beispiel indem eine geeignete elektrische Größe, beispielsweise ein elektrischer Strom, eine elektrische Leistung, oder auch eine mechanische Größe, beispielsweise ein Drehmoment oder dergleichen, erfasst wird. Natürlich kann auch eine Kombination hiervon vorgesehen sein.

[0039] Die Steuereinheit kann ferner insbesondere Steuersignale wie Schaltsignale für die Schaltelemente für den wenigstens einen Energiewandler und/oder die Schalteinheit bereitstellen. Nicht nur zu diesem Zweck kann die Steuereinrichtung eine Hardwareschaltung und/oder eine programmgesteuerte Rechneinheit oder dergleichen umfassen. Natürlich kann die Steuereinheit als separate vorzugsweise elektronische Baugruppe ausgebildet sein. Die Steuereinheit kann darüber hinaus zumindest teilweise auch von einer übergeordneten Steuerung zum Beispiel für das Energieversorgungsnetz, beispielsweise

eine Steuerung einer Antriebseinrichtung, die durch das Energieversorgungsnetz mit elektrischer Energie versorgt wird, oder dergleichen, umfasst sein.

[0040] Der Drehzahlbereich kann von der Soll-Drehzahl und/oder der erfassten Drehzahl abhängig sein. Bei einer großen Soll-Drehzahl beziehungsweise bei einer großen erfassten Drehzahl kann auch der Drehzahlbereich entsprechend groß gewählt sein. Natürlich kann der Drehzahlbereich auch unabhängig von der erfassten Drehzahl sein. Der Drehzahlbereich kann über einen Bereich von vorgebbaren Soll-Drehzahlen konstant sein.

[0041] Gemäß einer Weiterbildung wird vorgeschlagen, dass die Energiesenke ergänzend abhängig von der erfassten Drehzahl eingestellt wird. Dadurch kann die Regelung gemäß der Erfindung weiter verbessert werden, weil die Energiesenke schneller und genauer eingestellt werden kann. Zu diesem Zweck kann die Steuereinheit das für die Energiesenke bereitgestellte Steuersignal ergänzend abhängig von der erfassten Drehzahl bereitstellen.

[0042] Gemäß einer Weiterbildung wird vorgeschlagen, dass mittels der Energiesenke als Belastung ein Lastverhalten eines Propellers eines Wasserfahrzeugs in einem bestimmungsgemäßen Fahrbetrieb simuliert wird. Dadurch kann ein Lastverhalten erreicht werden, welches innerhalb des Drehzahlbereichs dem des Propellers entspricht. Dies erlaubt es, die für den Antrieb eines Propellers günstigen Eigenschaften des Zweitakt-Dieselmotors, die sich bei einem gewöhnlichen Betrieb zum Antreiben der rotierenden elektrischen Maschine im Generatorbetrieb als ungünstig erweisen, gut kompensiert werden können. Dadurch kann insgesamt die Stabilität im bestimmungsgemäßen Betrieb der Energieversorgungseinrichtung weiter verbessert werden.

[0043] Gemäß einer Weiterbildung kann der Drehzahlbereich eine obere und eine untere Drehzahlgrenze umfassen, wobei ein erster Abstand zwischen der unteren Drehzahlgrenze und der Soll-Drehzahl einem zweiten Abstand zwischen der oberen Drehzahlgrenze und der Soll-Drehzahl entspricht. Der Drehzahlbereich umfasst also die Soll-Drehzahl in einem etwa mittleren Bereich. Je nach Ausgestaltung kann jedoch auch vorgesehen sein, dass der Drehzahlbereich in Bezug auf die Soll-Drehzahl unsymmetrisch positioniert ist, um gegebene Besonderheiten im Bereich der Energieversorgungseinrichtung, insbesondere in Bezug auf ein Steuern beziehungsweise Regeln des Zweitakt-Dieselmotors besser berücksichtigen zu können.

[0044] Darüber hinaus wird vorgeschlagen, dass für die Energiesenke eine elektrische Belastung vorgegeben wird und der Drehzahlbereich ergänzend abhängig von der vorgegebenen elektrischen Belastung

ermittelt wird. Dadurch kann ergänzend berücksichtigt werden, dass die mit der Energiesenke zu verarbeitenden Energiemengen von der Soll-Drehzahl und/oder der erfassten Drehzahl abhängig sein können. Darüber hinaus kann natürlich berücksichtigt werden, für welche Leistung die Energieversorgungseinrichtung ausgebildet ist beziehungsweise welche die Leistung die Energieversorgungseinrichtung aktuell bereitstellt. Die Stabilisierung durch die Funktion der Erfindung kann dadurch weiter verbessert werden. Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass der Drehzahlbereich bei einer großen elektrischen Belastung, die durch die Energiesenke bereitzustellen ist, größer ermittelt wird, als bei einer kleinen elektrischen Belastung, die die Energiesenke bereitstellen soll. Dem Grunde nach kann in einer alternativen Ausgestaltung natürlich vorgesehen sein, dass die Energiesenke unabhängig von der vorgegebenen elektrischen Belastung ermittelt wird.

[0045] Der Drehzahlbereich ist vorzugsweise möglichst klein gewählt, um den bestimmungsgemäßen Betrieb möglichst wenig zu beeinflussen. Daher wird gemäß einer weiteren Weiterbildung vorgeschlagen, dass der Drehzahlbereich 5 Umdrehungen pro Minute, insbesondere 3 Umdrehungen pro Minute, vorzugsweise 2 Umdrehungen pro Minute umfasst. Besonders für Zweitakt-Dieselmotoren, die in einem bestimmungsgemäßen Betrieb mit einer Drehzahl in einem Bereich von etwa 60 Umdrehungen pro Minute bis etwa 120 Umdrehungen pro Minute betrieben werden, erweist sich ein derartiger Drehzahlbereich als ausreichend, um die Stabilität des Betriebs der Energieversorgungseinrichtung insgesamt zu verbessern.

[0046] Es wird ferner vorgeschlagen, dass die Energiesenke wenigstens einen elektrischen Energiespeicher umfasst. Dies erlaubt es, Energieschwankungen bei der Aufnahme von elektrischer Energie durch die Energiesenke besser verarbeiten zu können. Darüber hinaus kann die Energiesenke die Energie natürlich auch für weitere Zwecke bereitstellen, beispielsweise für die Nutzung durch einen oder mehrere elektrische Verbraucher oder dergleichen. In diesem Fall kann also die Energie, die durch die Energiesenke aufgenommen wird, einer weiteren Nutzung zugeführt werden.

[0047] Bezüglich des Wasserfahrzeugs wird ergänzend ausgeführt, dass dies die Energieversorgungseinrichtung der Erfindung umfassen kann. Das Wasserfahrzeug ist vorzugsweise ein Schiff, beispielsweise für einen Transport von Personen, ein Versorgungsschiff, ein Containerschiff oder dergleichen. Dem Grunde nach kann das Wasserfahrzeug natürlich auch eine Fähre oder dergleichen sein. Vorzugsweise umfasst das Wasserfahrzeug eine mit der Energieversorgungseinrichtung elektrisch koppelbare elektrische Antriebseinrichtung. Die elektri-

sche Antriebseinrichtung kann zu diesem Zweck eine zweite rotierende elektrische Maschine umfassen, die mechanisch mit einem Antriebspropeller des Wasserfahrzeugs gekoppelt ist. Die zweite rotierende elektrische Maschine wird also in einem Motorbetrieb betrieben, wenn das Wasserfahrzeug im Fahrbetrieb ist. Bei dieser Ausgestaltung erweist es sich als vorteilhaft, wenn die elektrische Energiesenke die elektrische Antriebseinrichtung zumindest teilweise umfasst. In dem Fall ist es nämlich besonders einfach realisierbar, durch die Energiesenke die gewünschte Belastung im ermittelten Drehzahlbereich für den Zweitakt-Dieselmotor beziehungsweise die Energieversorgungseinrichtung bereitzustellen zu können. Es braucht dem Grunde nach lediglich die Antriebsleistung der Antriebseinrichtung entsprechend eingestellt zu werden, sodass die gewünschte Kennlinie beziehungsweise der gewünschte Verlauf der elektrischen Belastung abhängig von der erfassten Drehzahl realisiert werden kann. Zu diesem Zweck kann vorgesehen sein, dass die zweite rotierende elektrische Maschine nicht unmittelbar mit der Energieversorgungseinrichtung elektrisch gekoppelt ist, sondern über einen Energiewandler, beispielsweise einen Wechselrichter, wenn das Energieversorgungsnetz beziehungsweise die Energieversorgungseinrichtung eine Gleichspannung bereitstellt oder dergleichen.

[0048] Die für das erfindungsgemäße Verfahren angegebenen Vorteile und Wirkungen gelten natürlich auch im gleichen Maß für die erfindungsgemäße Energieversorgungseinrichtung sowie das mit der erfindungsgemäßen Energieversorgungseinrichtung ausgerüstete Wasserfahrzeug und umgekehrt. Daher können Verfahrensmerkmale auch als Vorrichtungsmerkmale oder umgekehrt formuliert sein.

[0049] Weitere Vorteile und Merkmale ergeben sich aus dem im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispiel anhand der beigefügten Figuren. In den FIG bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche Merkmale und Funktionen.

[0050] Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Blockdarstellung eines an einem Gleichspannungsnetz angeschlossenen Energieversorgungssystem mit einer elektrischen Antriebseinrichtung für das Wasserfahrzeug;

Fig. 2 eine schematische Diagrammdarstellung einer Propellerkurve eines Antriebspropellers des Wasserfahrzeugs gemäß **Fig. 1**, wobei eine Ordinate einer Leistung beziehungsweise einem Drehmoment eines Zweitakt-Dieselmotors bei Belastung durch einen Antriebspropeller abhängig von der Drehzahl dargestellt ist;

Fig. 3 eine schematische Diagrammdarstellung wie **Fig. 2**, bei der nunmehr der Verlauf bei Be-

lastung mit einer im Generatorbetrieb betriebenen Synchronmaschine dargestellt ist; und

Fig. 4 eine schematische Diagrammdarstellung wie **Fig. 2**, **Fig. 3**, bei der ein Drehzahlbereich dargestellt ist, innerhalb dessen die Belastung eines Propellers mittels einer Energiesenke simuliert ist.

[0051] **Fig. 1** zeigt in einer schematischen Darstellung ein Wasserfahrzeug **10** mit einer Energieversorgungseinrichtung **12** und einer mit der Energieversorgungseinrichtung **12** elektrisch koppelbaren elektrischen Antriebseinrichtung **14**. Die elektrische Antriebseinrichtung **14** umfasst eine Asynchronmaschine **16**, die mechanisch mit einem Antriebspropeller **18** des Wasserfahrzeugs **10** gekoppelt ist.

[0052] Die Asynchronmaschine **16** ist in der vorliegenden Ausgestaltung als fünfphasige rotierende elektrische Maschine ausgebildet, deren Läufer unmittelbar mit einer Propellerwelle **48** gekoppelt ist, an deren gegenüberliegenden Ende der Antriebspropeller **18** befestigt ist.

[0053] Die Asynchronmaschine **16** weist einen nicht weiter dargestellten Ständer mit einer entsprechend fünfphasig ausgebildeten Wicklung auf, die an einen entsprechend ausgebildeten Wechselrichter **46** als Energiewandler angeschlossen ist. Der Energiewandler **46** ist zum Zwecke der Energieversorgung an ein Gleichspannungsnetz **26** angeschlossen, welches der Verteilung von elektrischer Energie dient. An das Gleichspannungsnetz **26** sind ferner Verbraucher angeschlossen, von denen lediglich beispielhaft einer mit dem Bezugszeichen **50** in der **Fig. 1** dargestellt ist. Der elektrische Verbraucher **50** kann eine nahezu beliebige elektrische Einrichtung beziehungsweise elektrische Einheit sein, beispielsweise eine Schiffsbeleuchtung, eine elektrische Heizung, eine Klimaanlage und/oder dergleichen.

[0054] Sowohl die Asynchronmaschine **16** als auch der Wechselrichter **46** sind kommunikationstechnisch mit einer Steuereinheit **44** gekoppelt, die den bestimmungsgemäßen Betrieb der Antriebseinrichtung **14** überwacht und steuert. Vorliegend liefert die Steuereinheit **44** Steuersignale an den Wechselrichter **46**, der mittels Schaltelementen, die in der FIG nicht dargestellt sind, eine entsprechende Energiewandlung vornimmt, sodass die Wicklung der Asynchronmaschine **16** mit elektrischer Energie entsprechend des gewünschten bestimmungsgemäßen Betriebs beaufschlagt werden kann.

[0055] Zum Zweck der elektrischen Energieversorgung ist das Gleichspannungsnetz **26** an eine Energieversorgungseinrichtung **12** angeschlossen. Die Energieversorgungseinrichtung **12** stellt die elektrische Energie zur Verfügung, die die Antriebseinrich-

tung **14** sowie die Verbraucher **50** für ihren bestimmungsgemäßen Betrieb benötigen.

[0056] Die Energieversorgungseinrichtung **12** umfasst vorliegend einen Zweitakt-Dieselmotor **20**, der elektrische Energie an einer Kurbelwelle **22** des Zweitakt-Dieselmotors **20** bereitstellt. Ferner umfasst die Energieversorgungseinrichtung **12** eine Synchronmaschine **24** als rotierende elektrische Maschine, die elektrische Energie an einem Maschinenanschluss **40** bereitstellt. Zu diesem Zweck ist die Synchronmaschine **24** als permanenterregte Synchronmaschine ausgebildet. In alternativen Ausgestaltungen kann anstelle der permanenterregten Synchronmaschine natürlich auch eine fremderregte Synchronmaschine oder eine andere rotierende elektrische Maschine genutzt werden.

[0057] Die Synchronmaschine **24** weist ferner eine Läuferwelle **42** auf, die mit der Kurbelwelle **22** mechanisch unmittelbar gekoppelt ist. Dadurch wird die von dem Zweitakt-Dieselmotor **20** bereitgestellte mechanische Energie der Synchronmaschine **24** zugeführt, welche die mechanische Energie in elektrische Energie wandelt.

[0058] Die Synchronmaschine **24** ist vorliegend als dreiphasige elektrische Maschine ausgebildet und stellt die elektrische Energie als dreiphasiges Wechselspannungsnetz zur Verfügung. Um nun die Synchronmaschine **24** mit dem Gleichspannungsnetz **26** elektrisch zu koppeln, damit die elektrische Energie dem Gleichspannungsnetz **26** zugeführt werden kann, ist die Wicklung der Synchronmaschine **24** über einen Brückengleichrichter **52**, der für eine dreiphasige Brückengleichrichtung ausgebildet ist, mit dem Gleichspannungsnetz **26** elektrisch gekoppelt.

[0059] An der Kurbelwelle **22** ist ferner ein Drehzahlsensor **32** angeschlossen, der seinerseits kommunikationstechnisch mit der Steuereinheit **44** verbunden ist. Ebenfalls sind der Brückengleichrichter **52**, die Synchronmaschine **24** und der Zweitakt-Dieselmotor **20** kommunikationstechnisch mit der Steuereinheit **44** verbunden. Der Brückengleichrichter **52** ist somit am Maschinenanschluss **40** mit seinem Wechselspannungsanschluss angeschlossen.

[0060] **Fig. 2** zeigt nun in einer schematischen Diagrammdarstellung ein Diagramm, dessen Abszisse einer Drehzahl n der Kurbelwelle **22** und deren Ordinate einer Leistung P beziehungsweise einem Drehmoment Q an der Kurbelwelle **22** zugeordnet ist. In dem Diagramm sind das Drehmoment mit Q , die elektrische Leistung mit P und die Drehzahl mit n bezeichnet. Mit einem Graphen **54** ist ein Leistungsverlauf und mit einem Graphen **56** ein Drehmomentverlauf dargestellt, und zwar für den Fall, dass der Zweitakt-Dieselmotor **20** mit seiner Kurbelwelle **22** unmittelbar

und ausschließlich mit der Propellerwelle **48** verbunden ist.

[0061] Zu erkennen ist, dass die Graphen **54**, **56** überproportional ansteigende Kurvenverläufe haben, die vorliegend etwa quadratisch bis kubisch sind. Durch diese überproportional mit zunehmender Drehzahl zunehmenden Belastung kann erreicht werden, dass der Zweitakt-Dieselmotor **20** in einem bestimmten Arbeitspunkt, und zwar bei einer Soll-Drehzahl **38** (**Fig. 4**), einen im Wesentlichen stabilen Arbeitspunkt hat. Daher eignet sich der Zweitakt-Dieselmotor **20** besonders für den unmittelbaren Antrieb von Propellerwellen **48**.

[0062] **Fig. 3** zeigt in einem Diagramm wie **Fig. 2** die Verhältnisse, wenn mit dem Zweitakt-Dieselmotor **20** anstelle des Antriebspropellers **18** eine elektrische Maschine, wie die Synchronmaschine **24** zum Zweck der Energieversorgung eines Energieversorgungsnetzes, angetrieben wird. Aus **Fig. 3** ist ersichtlich, dass mit dem Graphen **54** nunmehr eine im Wesentlichen konstante Belastung bereitgestellt wird, die durch das Gleichspannungsnetz **26** realisiert ist. Zu erkennen ist auch, dass mit steigender Drehzahl das mit dem Graphen **56** dargestellte Drehmoment Q abnimmt. Hieraus ergibt sich, dass der Betrieb des Zweitakt-Dieselmotors **20** bei einer derartigen Belastung instabil ist, sodass es zu dem sehr unerwünschten „Speed Hunting“ kommt.

[0063] **Fig. 4** zeigt nun in einer schematischen Diagrammdarstellung wie die **Fig. 2** und **Fig. 3** eine erfindungsgemäße Regelung, mit der der Betrieb des Zweitakt-Dieselmotors **20** stabilisiert werden kann.

[0064] Zu diesem Zweck ist die Steuereinheit **44** ausgebildet, eine Soll-Drehzahl **38** für den Zweitakt-Dieselmotor **20** vorzugeben. Die Soll-Drehzahl **38** kann abhängig von einer gewünschten mittleren Leistung und/oder dergleichen vorgegeben sein.

[0065] Abhängig von der Soll-Drehzahl **38** und zumindest einem Maschinenmodell des Zweitakt-Dieselmotors **20** kann die Steuereinheit **44** einen Drehzahlbereich **30** ermitteln, der die Soll-Drehzahl **38** umfasst. Das Maschinenmodell kann dabei spezifische Eigenschaften des Zweitakt-Dieselmotors **20**, beispielsweise bewegte Massen, Trägheitsmomente, Treibstoffregelungen, Verbrennungseigenschaften und/oder dergleichen berücksichtigen.

[0066] In der vorliegenden Ausgestaltung ist vorgesehen, dass die Soll-Drehzahl **38** etwa 80 Umdrehungen pro Minuten ist. Der Drehzahlbereich **30** erstreckt sich vorliegend von einer unteren Drehzahlgrenze **36**, die vorliegend bei etwa 78 Umdrehungen pro Minute liegt, bis zu einer oberen Drehzahlgrenze **34**, die vorliegend bei einer Drehzahl von etwa **82** Umdrehungen pro Minute liegt.

[0067] Mittels des Drehzahlsensors **32** wird die aktuelle Drehzahl der Kurbelwelle **22** des Zweitakt-Dieselmotors **20** erfasst. Die Steuereinheit **44** vergleicht die erfasste Drehzahl mit der Soll-Drehzahl **38**. Abhängig von dem Vergleich stellt die Steuereinheit **44** mittels eines geeigneten Steuersignals eine Energiesenke **28**, die vorliegend die Antriebseinrichtung **14** und den Wechselrichter **46** umfasst, entsprechend ein, sodass die Energiesenke **28** in dem ermittelten Drehzahlbereich eingestellt wird. Die Energiesenke **28** ist vorliegend von der Energieversorgungseinrichtung **12** umfasst.

[0068] Die Energiesenke **28** hat im Drehzahlbereich **30**, das heißt, in dem Bereich zwischen der oberen Drehzahlgrenze **34** und der unteren Drehzahlgrenze **36**, bei der die elektrische Belastung einen von der erfassten Drehzahl abhängigen Verlauf, sodass die elektrische Belastung zumindest überproportional mit der Drehzahl zunimmt.

[0069] Vorliegend ist vorgesehen, dass mittels der Energiesenke **28** als elektrische Belastung ein Lastverhalten des Antriebspropellers **18** des Wasserfahrzeugs **10** im bestimmungsgemäßen Fahrbetrieb simuliert wird. Dies ist mit einem Graphen **58** in **Fig. 4** dargestellt. Der Graph **58** bezieht sich auf ein Drehmoment. Dem Grunde nach kann aber auch die Leistung in Betracht gezogen werden. Mit einem Graphen **60** ist eine Bordnetzbelastung, die durch die Verbraucher, wie dem Verbraucher **50** bereitgestellt wird, dargestellt. Die Bordnetzbelastung ist im vorliegenden Fall im Wesentlichen konstant und unabhängig von der Drehzahl. Mit dem Graphen **54** ist die Leistung P dargestellt, die die Bordnetzleistung und die Leistung der Antriebseinrichtung **14** umfasst. Auch hier ist die Leistung im Wesentlichen konstant gegenüber der Drehzahl.

[0070] Die Leistung ist also gemäß des Graphen **54** außerhalb des Drehzahlbereichs **30** im Wesentlichen konstant. Lediglich innerhalb des Drehzahlbereichs **30** ist die Leistung variabel, das heißt, sie nimmt mit zunehmender Drehzahl n zu, weshalb natürlich auch das Drehmoment Q innerhalb des Drehzahlbereichs **30** mit zunehmender Drehzahl n entsprechend zunimmt.

[0071] Vorliegend ist ferner vorgesehen, dass der Drehzahlbereich **30** die obere und die untere Drehzahlgrenze **34**, **36** umfasst, wobei ein erster Abstand zwischen der unteren Drehzahlgrenze **36** und der Soll-Drehzahl **38** einem zweiten Abstand zwischen der oberen Drehzahlgrenze **34** und der Soll-Drehzahl **38** im Wesentlichen entspricht. Die Soll-Drehzahl **38** ist somit im Wesentlichen etwa mittig im Drehzahlbereich **30** angeordnet.

[0072] In der vorliegenden Ausgestaltung ist ferner vorgesehen, dass der Drehzahlbereich **30** bei variie-

render Soll-Drehzahl **38** im Wesentlichen mitgeführt wird. Die obere und die untere Drehzahlgrenze **34**, **36** werden also entsprechend mitgeführt, das heißt, ihre Werte in Bezug auf die Drehzahl entsprechend angepasst. Es braucht der Drehzahlbereich **30** in diesem Fall also nicht neu ermittelt zu werden. Es reicht also aus, den Drehzahlbereich **30** einmal, beispielsweise bei einer Inbetriebnahme oder auch bei einer Wartung zu ermitteln und fest vorzugeben.

[0073] In alternativen Ausgestaltungen kann natürlich auch vorgesehen sein, dass der Drehzahlbereich **30** für eine jeweilige neue Soll-Drehzahl **38** jeweils neu ermittelt wird. Hierdurch können spezifische Eigenschaften bei unterschiedlichen Soll-Drehzahlen **38** berücksichtigt werden, wenn beispielsweise die Energieversorgungseinrichtung **12**, insbesondere der Zweitakt-Dieselmotor **20**, von der Soll-Drehzahl **38** abhängige Eigenschaften aufweisen. In diesem Fall kann zum Beispiel auch vorgesehen sein, dass die Abstände zwischen der Soll-Drehzahl **38** und den Drehzahlgrenzen **34**, **36** nicht gleich zu sein brauchen. Auch diese können gegebenenfalls variieren.

[0074] Durch die dynamische Nachbildung der Propellerlast kann insbesondere in Bezug auf eine bereits vorhandene Maschinenregelung beispielsweise einer übergeordneten Steuerung, insbesondere in Bezug auf den Zweitakt-Dieselmotor **20**, das gewohnte Verhalten in Bezug auf eine Drehzahlstabilität erreicht werden. Die Erfindung ist dabei jedoch nicht nur bei der Anwendung auf Wasserfahrzeuge **10** beschränkt, sondern kann auch zum Beispiel im Bereich von Kraftwerken zum Einsatz kommen.

[0075] Die Erfindung kann vorzugsweise durch Nachbildung einer üblichen Propellerkurve in einer Fahrentriebsregelung als Regelgröße für einen bereits existierenden Drehzahlregler des Zweitakt-Dieselmotors **20** realisiert sein. Besonders vorteilhaft erweist es sich, dass die erfindungsgemäße Verfahrensführung auch durch ein Rechnerprogramm bereitgestellt werden kann, wenn die Steuereinheit beziehungsweise die Steuereinrichtung eine entsprechende geeignete Rechneinrichtung umfasst. Auf diese Weise kann die Erfindung besonders einfach, auch nachträglich, realisiert werden.

[0076] Das Ausführungsbeispiel dient ausschließlich der Erläuterung der Erfindung und soll diese nicht beschränken.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Energieversorgungseinrichtung (12), bei dem:
- mechanische Energie an einer Kurbelwelle (22) eines Zweitakt-Dieselmotors (20) bereitgestellt wird,

- die mechanische Energie mittels wenigstens einer ersten rotierenden elektrischen Maschine (24), die mechanisch mit der Kurbelwelle (22) gekoppelt ist, in elektrische Energie gewandelt wird, und
- die elektrische Energie zumindest teilweise einer mit dem Energieverteilungsnetz (26) elektrisch gekoppelten, einstellbaren elektrischen Energiesenke (28) zugeführt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass
- eine Soll-Drehzahl (38) für den Zweitakt-Dieselmotor (20) vorgegeben wird,
- abhängig von der Soll-Drehzahl und zumindest einem Maschinenmodell des Zweitakt-Dieselmotors (20) ein Drehzahlbereich (30) ermittelt wird, der die Soll-Drehzahl umfasst,
- mittels eines Drehzahlsensors (32) eine aktuelle Drehzahl der Kurbelwelle (22) des Zweitakt-Dieselmotors (20) erfasst wird,
- die erfasste Drehzahl mit der Soll-Drehzahl (38) verglichen wird, und
- die Energiesenke (28) zumindest abhängig von dem Vergleich eingestellt wird, sodass die Energiesenke (28) in dem ermittelten Drehzahlbereich (30) eine elektrische Belastung bereitstellt, bei der die elektrische Belastung einen von der erfassten Drehzahl abhängigen Verlauf hat, sodass die elektrische Belastung zumindest überproportional mit der erfassten Drehzahl zunimmt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Energiesenke (28) ergänzend abhängig von der erfassten Drehzahl eingestellt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mittels der Energiesenke (28) als elektrische Belastung ein Lastverhalten eines Antriebspropellers (18) eines Wasserfahrzeugs (10) in einem bestimmungsgemäßen Fahrbetrieb simuliert wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Drehzahlbereich (30) eine obere und eine untere Drehzahlgrenze (34, 36) umfasst, wobei ein erster Abstand zwischen der unteren Drehzahlgrenze (36) und der Soll-Drehzahl (38) einem zweiten Abstand zwischen der oberen Drehzahlgrenze (34) und der Soll-Drehzahl (38) entspricht.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Energiesenke (28) eine elektrische Belastung vorgegeben wird und der Drehzahlbereich (30) ergänzend abhängig von der vorgegebenen elektrischen Belastung ermittelt wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Drehzahlbereich (30) 5 Umdrehungen pro Minute, insbesondere 3 Umdrehungen pro Minute, vorzugsweise 2 Umdrehungen pro Minute umfasst.

7. Energieversorgungseinrichtung (12), mit:

- einem Zweitakt-Dieselmotor (20), der mechanische Energie an einer Kurbelwelle (22) des Zweitakt-Dieselmotors (20) bereitstellt,
- wenigstens einer ersten rotierenden elektrischen Maschine (24), die elektrische Energie an einem Maschinenanschluss (40) bereitstellt und die zum Wandeln der mechanischen Energie in die elektrische Energie eine mit der Kurbelwelle (22) mechanisch gekoppelte Läuferwelle (42) aufweist, und
- eine Steuereinheit (44) zum Steuern zumindest des Zweitakt-Dieselmotors (20) und/oder der ersten rotierenden elektrischen Maschine (24), **gekennzeichnet durch**
- eine mit dem Maschinenanschluss (40) elektrisch gekoppelte, einstellbare elektrische Energiesenke (28) zum zumindest teilweisen Aufnehmen der elektrischen Energie, wobei die Steuereinheit (44) ausgebildet ist,
- eine Soll-Drehzahl (38) für den Zweitakt-Dieselmotor (20) vorzugeben,
- abhängig von der Soll-Drehzahl (38) und zumindest einem Maschinenmodell des Zweitakt-Dieselmotors (20) einen Drehzahlbereich (30) zu ermitteln, der die Soll-Drehzahl (38) umfasst,
- mittels eines Drehzahlsensors (32) eine aktuelle Drehzahl der Kurbelwelle (22) des Zweitakt-Dieselmotors (20) zu erfassen,
- die erfasste Drehzahl mit der Soll-Drehzahl (38) zu vergleichen, und
- die Energiesenke (28) zumindest abhängig von dem Vergleich einzustellen, sodass die Energiesenke (28) in dem ermittelten Drehzahlbereich (30) eine elektrische Belastung bereitstellt, bei der die elektrische Belastung einen von der erfassten Drehzahl abhängigen Verlauf hat, sodass die elektrische Belastung zumindest überproportional mit der erfassten Drehzahl zunimmt.

8. Energieversorgungseinrichtung nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Energiesenke (28) wenigstens einen elektrischen Energiespeicher umfasst.

9. Wasserfahrzeug (10) mit einer Energieversorgungseinrichtung (12) und einer mit der Energieversorgungseinrichtung (12) elektrisch koppelbaren elektrischen Antriebseinrichtung (14), wobei die elektrische Antriebseinrichtung (14) eine zweite rotierende elektrische Maschine (16) umfasst, die mechanisch mit einem Antriebspropeller (18) des Wasserfahrzeugs (10) gekoppelt ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Energieversorgungseinrichtung (12) gemäß einem der Ansprüche 7 oder 8 ausgebildet ist.

10. Wasserfahrzeug nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die elektrische Energiesen-

ke die elektrische Antriebseinrichtung (12) zumindest teilweise umfasst.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

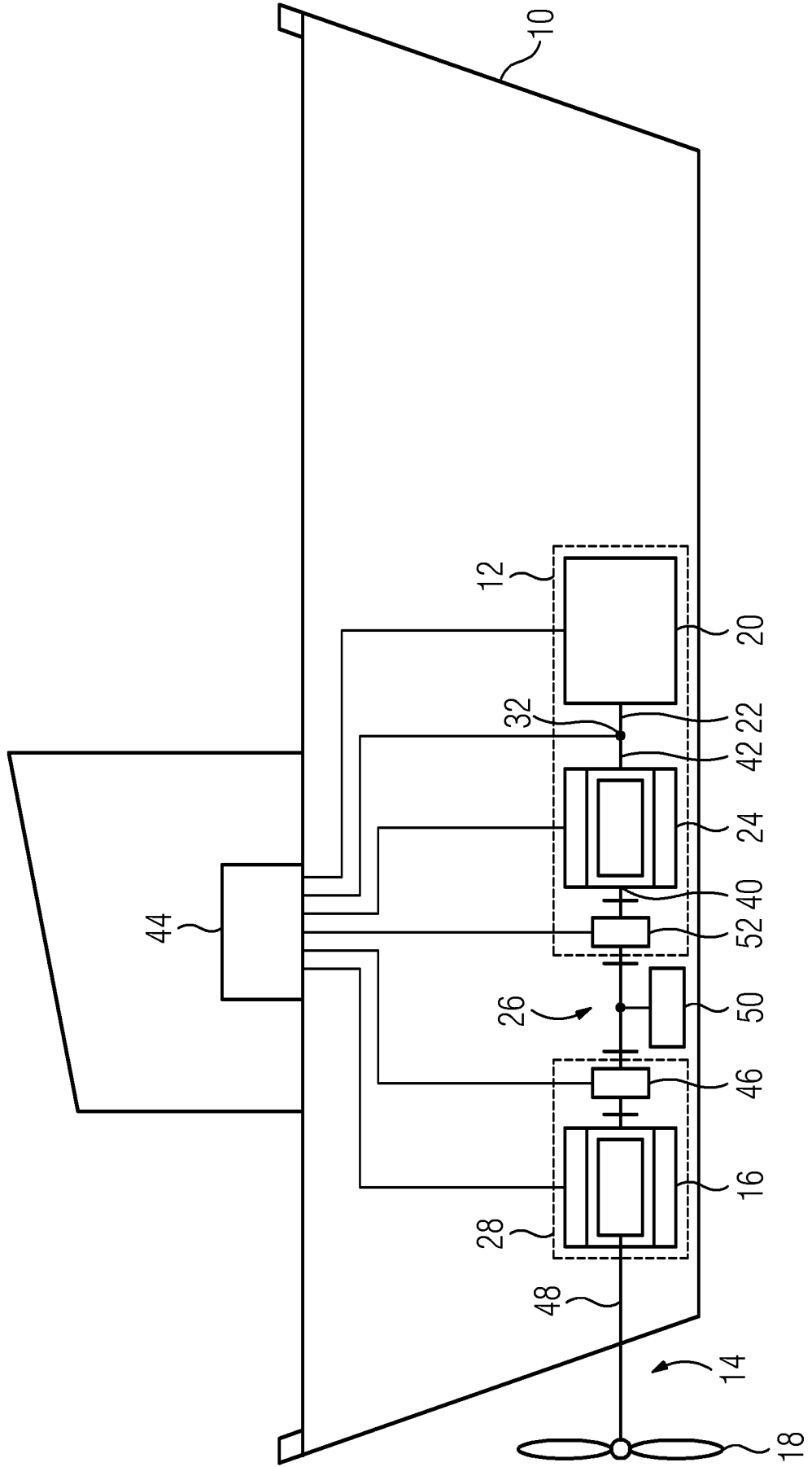


FIG 2

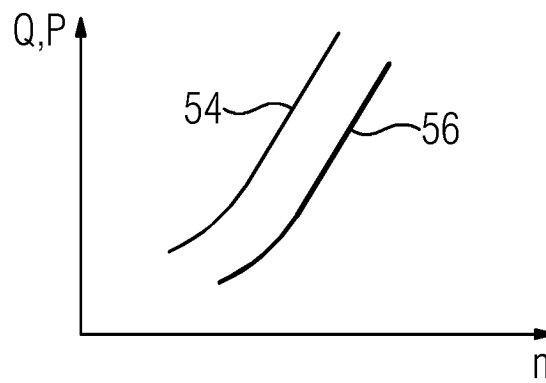


FIG 3

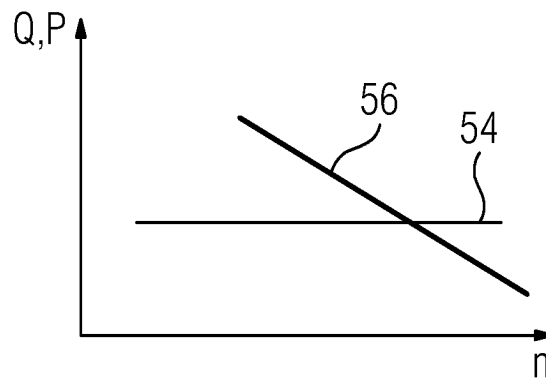


FIG 4

