(19) österreichisches patentamt

(10) **AT 524944 B1 2022-11-15**

(12) # Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50907/2021
(22) Anmeldetag: 12.11.2021
(45) Veröffentlicht am: 15.11.2022

(51) Int. Cl.: ***H02P 5/74*** (2006.01)
B60L 15/20 (2006.01)
B60L 3/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 102011056168 A1
US 2021197840 A1
DE 102019130331 A1
US 2010222953 A1

(73) Patentinhaber:
AVL LIST GmbH
8020 GRAZ (AT)

(72) Erfinder:
TOCHTERMANN Jürgen Dipl.-Ing.
4400 Steyr (AT)
HUBER Martin Dr. techn.
4144 Oberkappel (AT)
BAYER Felix MSc
4502 Nöstlbach (AT)
DOMNI Rudolf Dipl.-Ing. (FH)
4631 Krenglbach (AT)
PILAT Günter
4400 Steyr (AT)
STEINEK René Dipl.-Ing. (FH)
4523 Neuzeug (AT)

(74) Vertreter:
Hartinger Mario Dipl.-Ing.
8020 Graz (AT)

(54) **Verfahren und System zum Regeln von zwei elektrisch angetriebenen Achsen mit jeweils einem Elektromotor**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und System zum Regeln von zwei elektrisch angetriebenen Achsen (1a, 1b) eines Fahrzeugs, mit jeweils einem Elektromotor (EM1, EM2), wobei der erste Elektromotor (EM1) mit einem ersten Abtrieb (2a) über wenigstens einen ersten Leistungsübertragungspfad (3) verbunden ist und der zweite Elektromotor (EM2) mit einem zweiten Abtrieb (2b) über wenigstens einen zweiten Leistungsübertragungspfad (4) verbunden ist.
Zur Erhöhung der Zuverlässigkeit wird die elektrisch angetriebene Achse (1) unter Berücksichtigung des Schädigungszustands oder des relativen Schädigungszustands wenigstens einer mechanischen Komponente (5) geregelt.

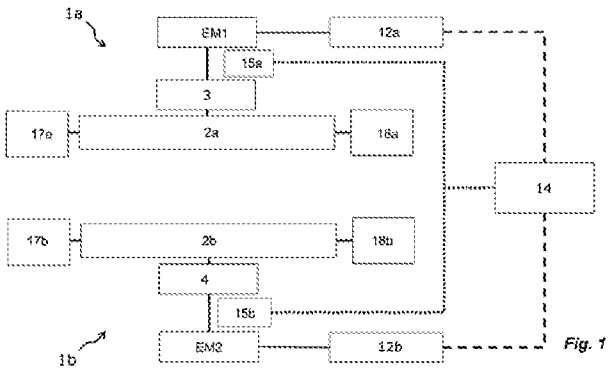


Fig. 1

AT 524944 B1 2022-11-15

Beschreibung

VERFAHREN UND SYSTEM ZUM REGELN VON ZWEI ELEKTRISCH ANGETRIEBENEN ACHSEN MIT JEWEILS EINEM ELEKTROMOTOR

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und System zum Regeln von zwei elektrisch angetriebenen Achsen eines Fahrzeugs, mit jeweils einem Elektromotor, wobei der erste Elektromotor mit einem ersten Abtrieb über wenigstens einen ersten Leistungsübertragungspfad verbunden ist und der zweite Elektromotor mit einem zweiten Abtrieb über wenigstens einen zweiten Leistungsübertragungspfad verbunden ist.

[0002] Aus dem Stand der Technik sind eine Reihe an Antriebssträngen und sogenannten E-Achsen bekannt, welche von zwei Elektromotoren angetrieben werden.

[0003] Beispielsweise offenbart das Dokument DE 10 2011 121 819 A1 einen Antriebsstrang mit zwei Antriebsmaschinen für ein Fahrzeug, bei welchem jeweils eine Antriebsmaschine mit einem Teilgetriebe mechanisch gekoppelt ist und auf selbiges einwirkt. Die Antriebsmaschinen sind als elektrische Antriebsmaschinen ausgebildet und direkt mechanisch mit jeweils einem Teilgetriebe gekoppelt und separat oder gemeinsam betreibbar.

[0004] Das Dokument EP 2 450 597 A1 offenbart eine Steuervorrichtung und ein Verfahren für einen elektrischen Antriebsstrang, welcher bzw. welches in einem elektrischen Fahrzeug mit zwei Motoren eingesetzt wird. Ziel der Steuervorrichtung und des Verfahrens ist es, ein Gangschalten ohne Leistungsunterbrechung zu erreichen.

[0005] Das Dokument DE 102011056168 A1 offenbart eine Steuereinrichtung für ein Kraftfahrzeug, wobei eine erste Komponente der Steuerungseinrichtung abhängig von dem Gesamtantriebsmoment und abhängig von der aktuellen Fahrsituation des Kraftfahrzeugs eine Obergrenze und eine Untergrenze für den Momentanteil der ersten vorzugsweise rein elektrisch angetriebenen Achse am Gesamtantriebsmoment bestimmt und eine zweiten Komponente der Steuerungseinrichtung abhängig von energetischen Einflussgrößen das Gesamtantriebsmoment innerhalb der von der ersten Komponente vorgegebenen Grenzen zwischen den beiden Achsen verteilt.

[0006] Das Dokument US 2021197840 A1 offenbart eine Fahrzeugsteuervorrichtung, die eine arithmetische Verarbeitungsschaltung umfasst, die so konfiguriert ist, dass sie einen Verschlechterungsgrad einer Kraftübertragungssystemkomponente abschätzt, die in einem Kraftübertragungspfad zwischen einer Antriebsquelle und Rädern eines Fahrzeugs angeordnet ist, und eine Drehmomentbegrenzungssteuerung ausführt, die einen oberen Grenzwert des Ausgangsdrehmoments der Antriebsquelle auf der Grundlage eines geplanten Wartungsdatums des Fahrzeugs nach einem aktuellen Datum und einem geschätzten Wert des Verschlechterungsgrads herabsetzt.

[0007] Das Dokument DE 102019130331 A1 offenbart ein Verfahren zum Schutz eines Traktions-Elektromotors eines Elektrofahrzeugs vor thermischer Überlastung, bei dem in Abhängigkeit von einer Laufleistung des Traktions-Elektromotors und von einem Luftdruck in der Umgebung des Elektrofahrzeugs eine maximal zulässige Betriebstemperatur des Traktions-Elektromotors festgelegt und ein Überschreiten der maximal zulässigen Betriebstemperatur durch Begrenzung der Leistungsabgabe des Traktions-Elektromotors verhindert wird.

[0008] Das Dokument US 2010222953 A1 offenbart ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Optimierung des Drehmoments, das von jedem Motor eines zweimotorigen Antriebssystems eines Elektrofahrzeugs aufgebracht wird.

[0009] Die Steuerung solcher Antriebsstränge kann effizienzbasiert erfolgen (vgl. „Shifting strategy and optimization for multi-mode E-axles“, F. Bayer, cti Symposium, Berlin 2020).

[0010] Es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine langfristige Zuverlässigkeit von elektrisch angetriebenen Achsen mit zwei Elektromotoren zu erhöhen oder voraussagbarer zu machen. Insbesondere ist es eine Aufgabe der Erfindung, die Lebensdauer von wichtigen Komponenten der

elektrisch angetriebenen Achsen zu verlängern.

[0011] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren und System gemäß den unabhängigen Ansprüchen. Vorteilhafte Ausgestaltungen werden in den Unteransprüchen beansprucht.

[0012] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln von zwei elektrisch angetriebenen Achsen eines Fahrzeugs, mit jeweils einem Elektromotor, wobei der erste Elektromotor mit einem ersten Abtrieb über wenigstens einen ersten Leistungsübertragungspfad verbunden ist und der zweite Elektromotor mit einem zweiten Abtrieb über wenigstens einen zweiten Leistungsübertragungspfad verbunden ist, folgende Arbeitsschritte aufweisend:

- Bestimmen von Werten einer Drehzahl und eines Drehmoments, welche an wenigstens einer mechanischen Komponente der Leistungsübertragungspfade und/oder der Elektromotoren anliegen;
- Ermitteln eines Werts eines Schädigungseintrags in Bezug auf die wenigstens eine mechanische Komponente in Abhängigkeit des Wertes der anliegenden Drehzahl und des Werts des anliegenden Drehmoments und Ermitteln eines Werts eines Schädigungszustands der wenigstens einen mechanischen Komponente, welcher durch Schädigungseinträge über einen vordefinierten Zeitraum entstanden ist; und
- Regeln der elektrisch angetriebenen Achsen unter Berücksichtigung des Schädigungszustands oder des relativen Schädigungszustands der wenigstens einen mechanischen Komponente, wobei

die elektrisch angetriebenen Achsen in der Weise geregelt wird, dass der Schädigungszustand oder der relative Schädigungszustand verschiedener Leistungsübertragungspfade zueinander berücksichtigt wird, wobei der Schädigungszustand oder der relative Schädigungszustand verschiedener Leistungsübertragungspfade möglichst ausgeglichen ist.

[0013] Eine mechanische Komponente im Sinne der Erfindung ist vorzugsweise ein Zahnrad oder ein Lager.

[0014] Der Wert eines Schädigungseintrags im Sinne der Erfindung ist das Ausmaß, in dem eine Komponente durch den aktuellen Betrieb der Komponente geschädigt wird. Vorzugsweise wird bei einer mechanischen Komponente der Schädigungseintrag zu einem bestimmten Zeitpunkt durch das zu diesem Zeitpunkt an der mechanischen Komponente anliegende Drehmoment und die Drehzahl der mechanischen Komponente bestimmt. Bei einer elektrischen Komponente wird vorzugsweise die Temperatur der elektrischen Komponente zur Bestimmung des Werts des Schädigungseintrags herangezogen.

[0015] Der Wert eines Schädigungszustands im Sinne der Erfindung ist die Summe der bis dato, seit Inbetriebnahme der Komponente angefallenen Schädigungseinträge. Hierbei werden dementsprechend die Zeitanteile berücksichtigt, in denen die jeweilige Komponente betrieben wird.

[0016] Erreicht eine Komponente einen für diese Komponente maximal empfohlenen Schädigungszustand ist eine Ausfallwahrscheinlichkeit erreicht, die nicht überschritten werden soll. Die Komponente soll bei Erreichen der gewünschten Lebensdauer den maximal empfohlenen Schädigungszustand nicht überschreiten. Wird der maximal empfohlene Schädigungszustand über die gewünschte Lebensdauer betrachtet und eine gleichmäßige Schädigung über die Zeit angenommen, so ergibt sich für jeden Zeitpunkt ein maximaler anteiliger Schädigungszustand.

[0017] Der Wert eines relativen Schädigungszustands im Sinne der Erfindung ist das Verhältnis, insbesondere der Quotient, des aktuellen Schädigungszustands gegenüber dem maximalen anteiligen Schädigungszustand zu diesem Zeitpunkt.

[0018] Erfindungsgemäß kann die durch einen Leistungsübertragungspfad gebildete Verbindung eines Elektromotors mit einem Abtrieb auch ein Trennelement, beispielsweise eine Kupplung, vorsehen, sodass die Verbindung auch temporär trennbar ist.

[0019] Die zwei Elektromotoren sind vorzugsweise jeweils über ein Mehrganggetriebe mit jeweils einem ersten Abtrieb oder einem zweiten Abtrieb verbunden. An jedem der Abtriebe wird die

Leistung und das Drehmoment von jedem der einzelnen Leistungsübertragungspfade eingetragen. Die Leistungsaufteilung oder Drehmomentaufteilung zwischen den Leistungsübertragungspfaden kann bei einer solchen Anordnung, sofern keine Maximalleistung verlangt wird, innerhalb bestimmter Grenzen frei gewählt und variiert werden.

[0020] Der Erfindung liegt die Idee zugrunde, den Schädigungszustand von mechanischen Komponenten bei der Regelung der elektrisch angetriebenen Achsen zu berücksichtigen.

[0021] Wird ein bestimmter Betriebspunkt der elektrisch angetriebenen Achsen gefordert, welcher durch Abtriebsdrehzahl und Abtriebsdrehmoment definiert ist, so gibt es für die Betriebsstrategie verschiedene Möglichkeiten oder Freiheitsgrade, den Betriebspunkt zu realisieren.

[0022] Zum einen kann, sofern die Leistungsübertragungspfade Mehrganggetriebe aufweisen, bei jedem Getriebe der Gang gewählt werden. Dabei ist aber zu beachten, dass nur solche Gangkombinationen erlaubt sind, bei denen keiner der zwei Elektromotoren seine maximale Drehzahl überschreitet. Wird ein Leistungspfad mittels eines Getriebes weggeschaltet, z. B. indem die neutrale Stellung des Getriebes eingelegt wird, muss der andere Leistungsübertragungspfad in der Lage sein, die gesamte Leistung bereitzustellen, d. h. der zweite Elektromotor muss in der Lage sein, das gesamte geforderte Drehmoment aufzubringen. Für jede mögliche Gangkombination ist die Drehmomentaufteilung zwischen den zwei Elektromotoren oder Leistungsübertragungspfaden ein zweiter Freiheitsgrad, welcher in der Betriebsstrategie festzulegen ist.

[0023] Die Summe der Momente der zwei Elektromotoren muss hierbei gewichtet und mit der jeweiligen Übersetzung dem geforderten Abtriebsdrehmoment entsprechen. Dies bedeutet, dass das Drehmoment an einem der Elektromotoren in einem Bereich frei gewählt werden kann, in welchem das resultierende Drehmoment an dem anderen Elektromotor nicht dessen erlaubtes Maximalmoment übersteigt. Daher ist der Spielraum, das Moment an den Elektromotoren zu wählen, umso größer, je geringer das geforderte Abtriebsdrehmoment an den elektrisch angetriebenen Achsen ist.

[0024] Mittels der Erfindung kann für jede relevante mechanische Komponente zum jeweils aktuellen Zeitpunkt, der bis dahin entstandene Schädigungszustand überwacht werden. Der Schädigungszustand wird aus den bis dato, seit Inbetriebnahme angefallenen Schädigungseinträgen unter Berücksichtigung der Zeitanteile, d.h. durch Akkumulieren der Schädigungseinträge bestimmt. Der Schädigungseintrag zu einem bestimmten Zeitpunkt wird wiederum aus dem zu diesem Zeitpunkt anliegenden Drehmoment sowie der Drehzahl errechnet. Dies bedeutet, dass der aktuelle Schädigungszustand aus dem Schädigungszustand zu einem früheren Zeitpunkt durch Addition des bzw. der zwischenzeitlich angefallenen Schädigungseinträge bestimmt werden kann. Diese Schädigungseinträge errechnen sich jeweils aus der zum jeweiligen Zeitpunkt anliegenden Komponentendrehzahl sowie dem an der mechanischen Komponente anliegenden Drehmoment. Der ermittelte Wert eines Schädigungszustands ist nicht nur für eine Adaption der Betriebsstrategie relevant. Eine Überwachung des Schädigungszustands hilft auch bei Entscheidungen, ob Komponenten ausgetauscht werden oder auch nicht ausgetauscht werden müssen. Wartungsintervalle können fahrzeugspezifisch auf der Grundlage der Informationen über den jeweiligen Schädigungszustand angepasst werden und Werkstatttermine sowie die notwendigen Einträge wie Disposition des Fahrzeugs beim Endkunden lassen sich bereitstellen. Neben einer Kosteneinsparung wird hierdurch auch die Ausfallswahrscheinlichkeit des Antriebsstrangs reduziert.

[0025] Ein Service dieser Art kann entweder über das Steuergerät, einen Cloud-Service eines Fahrzeugherstellers oder einen Drittanbieter angeboten werden. Diese Maßnahmen lassen sich unter dem Stichwort Predictive Maintenance zusammenfassen.

[0026] Auch beim Flottenmanagement kann die Kenntnis über den jeweiligen Schädigungszustand der mechanischen Komponenten von Nutzen sein. So kann ein Fahrer oder auch Fahrzeugflottenbetreiber entscheiden, ob Maßnahmen zum Schutz von Komponenten realisiert werden, oder ob der Fokus weiter auf einer Betriebseffizienz liegt. Auch könnte ein Flottenbetreiber auf Basis der Informationen über den Schädigungszustand von Komponenten das Fahrzeug ge-

zielt auf schädigenderen oder schädigungsärmeren Fahrten einsetzen.

[0027] Vorzugsweise ist aus der Systemauslegung der elektrisch angetriebenen Achse ein maximal erlaubter oder empfohlener Schädigungszustand für jede Komponente und eine gewünschte Lebensdauer definiert. Vorzugsweise wird hierbei die Komponentengeometrie (z. B. Zahnradbreite und Radius für Stirnräder) berücksichtigt. Ein Überschreiten dieses maximal empfohlenen Schädigungszustands führt zu einer erhöhten Ausfallwahrscheinlichkeit der betrachteten mechanischen Komponente. Mittels der Erfindung können die elektrisch angetriebenen Achsen nun so geregelt werden, dass die verbleibende Lebensdauer, bzw. die Zeit bis zum Erreichen des maximal empfohlenen Schädigungszustands der betrachteten mechanischen Komponenten und/oder deren Ausfallwahrscheinlichkeit jeweils relativ ausgeglichen ist. Dies führt zum einen zu einer Verlängerung der Lebensdauer des Gesamtsystems, zum anderen reduziert sich vorzugsweise die Ausfallwahrscheinlichkeit und die Anzahl von Werkstattbesuchen zur Reparatur oder zum Auswechseln mechanischer Komponenten.

[0028] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird darüber hinaus zum Regeln der elektrisch angetriebenen Achsen entweder eine Übersetzung in wenigstens einem der beiden Leistungsübertragungspfade oder eine Leistungsaufteilung zwischen den beiden Elektromotoren in der Weise angepasst, dass die wenigstens eine mechanische Komponente nicht oder nur in definierter Weise beansprucht wird. Auch hierdurch kann eine gleichmäßige Abnutzung der mechanischen Komponenten erreicht werden.

[0029] Der Schädigungseintrag in Bezug auf die wenigstens eine mechanische Komponente wird überwacht. Vorzugsweise wird dabei zu vorab definierten regelmäßigen Abständen der aktuelle Schädigungszustand mit dem zu diesem Zeitpunkt maximal anteiligen Schädigungszustand für die gesamte Lebensdauer abgeglichen, d.h. der relative Schädigungszustand bestimmt. Eine Definition dieser Abstände kann zeit-, aber auch webgasiert erfolgen.

[0030] Übersteigt ein Schädigungszustand oder ein relativer Schädigungszustand der wenigstens einen mechanischen Komponente einen kritischen Wert, so kann gemäß dieser Ausgestaltung zwischen zwei Maßnahmen gewählt werden. Vorzugsweise können auch beide Maßnahmen zum Einsatz kommen:

[0031] Die erste Maßnahme entspricht einer Adaption der Strategie für das Getriebe im Leistungspfad der betroffenen Komponente. Ist diese mechanische Komponente nur in einzelnen Gängen betroffen, so wird versucht, solche Gänge zu vermeiden und dadurch die Zeitanteile, in denen die mechanische Komponente aktiv ist, zu reduzieren. Ist die mechanische Komponente in allen Gängen eines Mehrganggetriebes involviert und ist diese antriebsseitig vom Schaltelement im Antriebsstrang platziert, sollte in die höchste Übersetzung gewechselt werden. Höhere Übersetzungen verschieben den Lastpunkt an dem entsprechenden Elektromotor hin zu höheren Drehzahlen und niedrigeren Drehmomenten, was generell zu kleineren Schädigungseinträgen führt. Ein Gangwechsel ist natürlich nur dann möglich, wenn der gewünschte Lastpunkt im neuen Gang auch ohne Leistungseinbußen abgedeckt werden kann, z. B. nicht durch eine Drehzahl oder Drehmomentbegrenzung an dem Elektromotor limitiert wird. Die Leistungs- und Drehmomentaufteilung zwischen den zwei Leistungsübertragungspfaden bleibt in diesem Fall unverändert.

[0032] Die zweite Maßnahme ist die Adaption der Leistungs- oder Drehmomentaufteilung zwischen den Leistungsübertragungspfaden. In dem Leistungsübertragungspfad, in dem die betroffene wenigstens eine mechanische Komponente angeordnet ist, wird die Leistung oder das Drehmoment auf Kosten des anderen Leistungsübertragungspfads reduziert. Das heißt, der andere Leistungsübertragungspfad muss eine entsprechend höhere Leistung oder ein entsprechend höheres Drehmoment bereitstellen. Durch diese Maßnahme werden die Schädigungseinträge aller mechanischen Komponenten in dem jeweils betroffenen Leistungsübertragungspfad reduziert. Das heißt, die Maßnahme ist auch möglich, wenn mehrere Komponenten des Leistungsübertragungspfads betroffen sind. Eine Adaption der Drehmomentaufteilung zwischen den beiden Leistungsübertragungspfaden kann beispielsweise indirekt durch eine Reduktion des maximal möglichen Drehmoments bzw. der maximal möglichen Leistung an dem jeweiligen Elektro-

motor in dem betroffenen Leistungsübertragungspfad erfolgen. Das Verfahren regelt dann prioritär die Drehmomentverteilung mit einem reduzierten Drehmoment in den stärker geschädigten Leistungsübertragungspfad ein. Die Auswahl der idealen Leistungsverteilung unter Berücksichtigung der Randbedingungen in Bezug auf die Drehmomentverteilung kann dann effizienzbasiert erfolgen. Durch eine Reduktion des Drehmoments kann die Restlebensdauer der beiden Leistungsübertragungspfade angeglichen werden.

[0033] Entsprechend weist das Verfahren in einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung die folgenden Arbeitsschritte auf:

- Prüfen, ob der aktuelle Wert des Schädigungszustands oder des relativen Schädigungszustands der wenigstens einen mechanischen Komponente einen ersten Grenzwert überschreitet; und
- Festlegen, falls der erste Grenzwert überschritten wird, eines Schwellenwerts für ein von der ersten Elektromaschine bereitgestelltes Drehmoment und/oder ein von der zweiten Elektromaschine bereitgestelltes Drehmoment, insbesondere in Abhängigkeit des durch das bereitgestellte Drehmoment verursachten Schädigungseintrags, wobei die elektrisch angetriebenen Achsen unter Berücksichtigung des Schwellenwerts für das Drehmoment geregelt werden.

[0034] Der Schwellenwert für das von der Elektromaschine bereitgestellte Drehmoment gibt vorzugsweise das maximale Drehmoment an, mit welchem diese Elektromaschine betrieben werden darf. Ein niedriger Schwellenwert reduziert die Zeitanteile in denen die geforderte Leistung am Abtrieb über den stärker geschädigten Leistungsübertragungspfad abgedeckt wird. Dies führt zu einer Schonung der wenigstens einen mechanischen Komponente, deren Schädigungszustand den ersten Grenzwert überschreitet.

[0035] Auch das Einhalten des Schwellenwerts wird vorzugsweise über die vorher in Bezug auf die wenigstens eine mechanische Komponente beschriebenen Maßnahmen erreicht.

[0036] Daher wird in einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens zum Regeln der elektrisch angetriebenen Achse entweder eine Übersetzung in wenigstens einem der beiden Leistungsübertragungspfade in der Weise angepasst, dass jener Elektromotor, für welchen der Schwellenwert festgelegt ist, in einem anderen Betriebsmodus mit einer anderen Drehzahl betrieben werden kann, oder eine Leistungsaufteilung zwischen den beiden Elektromotoren in der Weise angepasst wird, dass jener Elektromotor, für welchen der Schwellenwert festgelegt ist, weniger Drehmoment bereitstellen oder aufnehmen muss.

[0037] Maßgeblich für die Schädigung von mechanischen Komponenten ist das an diesen anliegende Drehmoment. Daher kann durch eine Erhöhung der Drehzahl bei gleicher Leistung oder ein Herabsetzen der Leistung bei gleicher Drehzahl durch Reduzierung des Drehmoments der Schädigungseintrag reduziert werden.

[0038] Welche der beschriebenen Maßnahmen bevorzugt eingesetzt wird, wird vorzugsweise unter Berücksichtigung der jeweiligen Wirkungsgrade festgelegt.

[0039] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird der Schädigungszustand wie folgt ermittelt wird:

$$\int n \cdot T^p \cdot dt$$

oder

$$\sum_i n_i T_i^p \Delta t,$$

wobei n eine Drehzahl, T ein Drehmoment, Δt eine Zeitschrittweite und p ein Parameter ist, welcher eine Intensität des Schädigungseintrags für die wenigstens eine mechanische Komponente angibt, wobei der Parameter p für jede mechanische Komponente vorgegeben ist.

[0040] Der Schädigungszustand ist mithin in dieser Ausgestaltung eine Akkumulation zeitdiskreter Schädigungseinträge über einen gewissen Zeitraum. Vorzugsweise wird der Schädigungsein-

trag für die einzelnen Komponenten eines Fahrzeugs über den gesamten Lebenszyklus ab dem Tag der Indienststellung des Fahrzeugs aufgezeichnet. Auf diese Weise ist eine präzise Vorhersage des Schädigungszustands der einzelnen Komponenten möglich.

[0041] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist das Verfahren des Weiteren den Arbeitsschritt auf:

Bestimmen von Werten einer Temperatur wenigstens einer elektrischen Komponente;

Ermitteln eines Werts eines Schädigungseintrags in Bezug auf die wenigstens eine elektrische Komponente in Abhängigkeit eines Werts der Temperatur und eines Schädigungszustands, welcher sich aus dem Schädigungseintrag über einen vordefinierten Zeitraum ergibt,

wobei die elektrisch angetriebenen Achsen zusätzlich unter Berücksichtigung des Schädigungszustands der wenigstens einen elektrischen Komponente geregelt werden.

[0042] Bei elektrischen Komponenten, z. B. Elektromaschinen oder Invertern, wird die Lebensdauer stark über die Komponententemperatur beeinflusst. Ein Überhitzen elektrischer Komponenten führt zu einer Lebensdauerreduktion und sollte möglichst verhindert werden. Durch eine adaptive Anpassung der Regelstrategie wird die Wahrscheinlichkeit des Überhitzens einer Elektromaschine oder eines Inverters reduziert und die Komponentenlebensdauer erhöht. Dazu ist es nötig, die Temperatur an der jeweiligen Komponente zu beobachten, d. h. zum Beispiel Elektromaschinen und Inverter mit Temperatursensoren auszustatten. Übersteigt die Temperatur an einer Elektromaschine oder einem Inverter eine vorher festgelegte Maximaltemperatur, so kann der Regler diese Komponente thermisch durch die folgenden Maßnahmen entlasten:

[0043] Die von den elektrisch angetriebenen Achsen angeforderte Leistung wird in erster Linie über den nichtbetroffenen Leistungspfad aufgebracht. Der Leistungspfad mit der zu heißen bzw. überhitzten Komponente ist nur noch unterstützend aktiv, indem er die noch fehlende Leistung bereitstellt. Die Leistungsaufteilung verschiebt sich dann zugunsten der kühleren Komponenten. An den überhitzten Komponenten entsteht weniger Verlustleistung, was eine weitere Erwärmung verhindert, bzw. zu einem Abkühlen führt.

[0044] Wenn die von den elektrisch angetriebenen Achsen angeforderte Leistung ausschließlich über einen Leistungsübertragungspfad aufgebracht werden kann, kann jener Leistungsübertragungspfad, in dem die betroffene Komponente sitzt, über ein gegebenenfalls vorgelagertes Getriebe weggeschaltet werden.

[0045] Nachdem eine dieser beiden Maßnahmen getroffen wurde und die betroffene Komponente wieder einen akzeptablen Temperaturbereich erreicht hat, können diese Maßnahmen wieder eingestellt werden.

[0046] Entsprechend weist das Verfahren in einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Weiteren die folgenden Arbeitsschritte auf:

[0047] Prüfen, ob der Wert des Schädigungszustands oder des relativen Schädigungszustands einer elektrischen Komponente einen zweiten Grenzwert überschreitet;

[0048] Festlegen, falls der zweite Grenzwert überschritten wird, eines Schwellenwerts für eine von der ersten Elektromaschine und/oder von der zweiten Elektromaschine bereitgestellte Leistung, insbesondere in Abhängigkeit des durch die Temperatur verursachten Schädigungseintrags, wobei die elektrisch angetriebenen Achsen unter Berücksichtigung des Schwellenwerts für die bereitgestellte Leistung geregelt werden.

[0049] Durch das Festlegen eines Schwellenwerts für die bereitgestellten Leistungen kann der Schädigungseintrag in Bezug auf die Temperatur begrenzt werden. Hierdurch kann eine Zunahme des Schädigungszustands reduziert werden bis ein für die jeweilige Betriebsdauer gerechtfertigter Wert erreicht ist.

[0050] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung wird die elektrische Komponente in Abhängigkeit des Werts der Temperatur gekühlt. Hierdurch kann der Schädigungseintrag vermindert werden.

[0051] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung weist das Verfahren die folgenden Arbeitsschritte auf:

- Bereitstellen eines Referenz-Schädigungszustands für die wenigstens eine mechanische Komponente und/oder die wenigstens eine elektrische Komponente; und
- Ermitteln eines relativen Schädigungszustands auf der Grundlage des ermittelten Schädigungszustands und des Referenz-Schädigungszustands, wobei der erste Grenzwert und/oder der zweite Grenzwert in Bezug auf den relativen Schädigungszustand definiert ist.

[0052] Aus der Auslegung der Komponenten eines Fahrzeugs ist im Allgemeinen ein über die Lebensdauer erlaubter Schädigungseintrag und somit ein maximal erlaubter Schädigungszustand nach Ablauf dieser gewünschten Lebensdauer für jede Komponente bekannt. Die bis zu einem bestimmten Zeitpunkt angefallenen Schädigungseinträge, welche zusammen den Schädigungszustand ergeben, können mit dem bis dahin maximal anteiligen Schädigungseintrag, also einem erlaubten Schädigungszustand, in Relation gesetzt werden und auf diese Weise ein relativer Schädigungszustand R bestimmt werden. In Bezug auf diesen relativen Schädigungszustand R können dann Maßnahmen zur Anpassung des Schädigungseintrags getroffen werden.

[0053] Die Werte des relativen Schädigungszustands R können dabei vorzugsweise wie folgt interpretiert werden:

- R>1:
  Wird die Komponente weiter so beansprucht wie bisher, wird eine gewünschte Lebensdauer wahrscheinlich nicht erreicht. Ein Ausfall der Komponente vor Ablauf der gewünschten Betriebsdauer ist möglich bzw. wahrscheinlicher.
- R=1:
  Wird die Komponente weiter so beansprucht wie bisher, wird die gewünschte Lebensdauer für diese Komponente wahrscheinlich erreicht.
- R<1:
  Wird die Komponente weiter so beansprucht wie bisher, wird die gewünschte Lebensdauer bei gleichbleibender Benutzung wahrscheinlich überschritten. Ein Ausfall der Komponente vor Ablauf der gewünschten Betriebsdauer ist unwahrscheinlich.

[0054] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens wird beim Regeln der beiden Elektromotoren des Weiteren eine Effizienz der elektrisch angetriebenen Achsen berücksichtigt, wobei Paare von Betriebspunkten der ersten und zweiten Elektromotoren in der Weise gewählt werden, dass sich unter Einhaltung des Schwellenwerts für das Drehmoment und/oder des Schwellenwerts für die Leistung an wenigstens einem der beiden Elektromotoren ein im Hinblick auf die Effizienz optimierter Betrieb einstellt.

[0055] In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens können der Schwellenwert oder die Schwellenwerte zur Abfederung von Drehmomentspitzen und/oder Leistungsspitzen durch den ersten und/oder den zweiten Elektromotor überstiegen werden.

[0056] Durch die flexible Anwendung der Schwellenwerte können höhere Leistungen bzw. Drehmomente bereitgestellt werden, ohne die Komponenten so auszulegen, als wenn diese Leistung dauerhaft abgerufen werden müsste. Hierdurch wird ein guter Kompromiss zwischen der erbrachten Leistung, der Leistungsfähigkeit des Systems und dessen Gewicht erreicht.

[0057] Weitere Merkmale und Vorteile ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung im Zusammenhang mit den Figuren.

[0058] Es zeigen wenigstens teilweise schematisch:

[0059] Figur 1: ein Ausführungsbeispiel von zwei elektrisch angetriebenen Achsen eines Fahrzeugs

[0060] Figur 2: eine Detailansicht der mechanischen Komponenten eines ersten Ausführungsbeispiels der elektrisch angetriebenen Achsen;

[0061] Figur 3: eine Detailansicht der mechanischen Komponenten eines zweiten Ausführungsbeispiels der elektrisch angetriebenen Achse;

[0062] Figur 4: ein Blockdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens zum Regeln einer elektrisch angetriebenen Achse;

[0063] Figur 5a: ein Diagramm für den zeitlichen Verlauf eines Schädigungszustands im Verhältnis zu einem zeitlichen Verlauf eines maximalen anteiligen Schädigungszustands;

[0064] Figur 5b: den zeitlichen Verlauf eines relativen Schädigungszustands;

[0065] Figur 6: Diagramme mit verschiedenen Drehmomentaufteilungen zwischen Elektromotoren einer elektrisch angetriebenen Achse;

[0066] Figur 7: ein Ausführungsbeispiel eines Prozesses zum Festlegen eines Schwellenwerts für ein von einer der Elektromaschinen bereitgestellten Drehmoments;

[0067] Figur 8: ein Blockdiagramm eines Prozesses zum Festlegen einer Drehmomentaufteilung zwischen zwei Elektromotoren einer elektrisch angetriebenen Achse; und

[0068] Figur 9: verschiedene Diagramme in Bezug auf ein Beispiel einer Regelstrategie für eine elektrisch angetriebene Achse; und

[0069] Figur 10: ein Ausführungsbeispiel eines Systems zum Regeln einer elektrisch angetriebenen Achse mit zwei Elektromotoren.

[0070] Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel von zwei elektrisch angetriebenen Achsen 1a, 1b eines Fahrzeugs. Diese werden durch zwei Elektromotoren EM1 und EM2 angetrieben. Jeder dieser Elektromotoren EM1, EM2 ist jeweils über ein Getriebe 3, 4 mit den eigentlichen Achsen 2a, 2b drehmomentübertragend verbunden oder, soweit eine Kupplung vorhanden ist, verbindbar.

[0071] Die mechanische Anordnung ist derart ausgebildet, dass beide der Elektromaschinen EM1, EM2 gleichzeitig in die jeweilig verbundene Achse 2a, 2b eintreiben können.

[0072] Die beiden Getriebe 3, 4 können hierbei als einfache Stirnradstufen, d.h. Einganggetriebe, aber auch als Mehrganggetriebe mit oder ohne Kupplung ausgeführt sein.

[0073] Von der ersten Elektromaschine EM1 wird mithin über das erste Getriebe 3 ein erster Leistungspfad zu der ersten Achse 2a gebildet. Von der zweiten Elektromaschine EM2 wird ein zweiter Leistungspfad über das zweite Getriebe 4 zu der zweiten Achse 2b gebildet.

[0074] Vorzugsweise weist jedes der beiden Getriebe 3, 4 die Möglichkeit auf, den jeweiligen Leistungsübertragungspfad, beispielsweise über eine Trennkupplung oder durch eine neutrale Stellung wegzuschalten.

[0075] Jeder der zwei Elektromotoren EM1, EM2 wird vorzugsweise über jeweils einen Wechselrichter bzw. Inverter 12a, 12b mit elektrischer Leistung versorgt. Vorzugsweise beinhalten die Wechselrichter 12a, 12b jeweils eine Regeleinheit, die vom sogenannten E-Achsenregler 14 (englisch: E-Axe-Control Unit; EACU) ein Soll-Drehmoment für jeden Elektromotor EM1, EM2 vorgegeben bekommt. Das aktuell anliegende Drehmoment sowie die aktuell anliegende Drehzahl der Elektromaschinen EM1, EM2 werden dem E-Achsenregler 14 zur Verfügung gestellt.

[0076] Vorzugsweise wird die Drehzahl der Elektromotoren EM1, EM2 auch jeweils über Drehzahlsensoren 15a, 15b gemessen und dem E-Achsenregler 14 zur Verfügung gestellt.

[0077] Für eine Regelstrategie unter Berücksichtigung des mechanischen Schädigungseintrags ist es umso vorteilhafter, je exakter der E-Achsenregler 14 die tatsächliche Drehzahl der Elektromotoren EM1, EM2 und das in den jeweiligen Leistungsübertragungspfaden anliegende Drehmoment bzw. an den jeweils betroffenen Komponenten anliegt, kennt.

[0078] Die eigentlichen Achse 2a, 2b treiben wiederum Räder 17a, 17b, 18a, 18b eines Fahrzeugs an.

[0079] Figur 2 zeigt eine Detailansicht eines ersten Ausführungsbeispiels einer ersten elektrisch angetriebenen Achse 1a und einer zweiten elektrisch angetriebenen Achse 1b eines Fahrzeugs. In dieser Detailansicht sind die einzelnen Zahnräder und Lager der Leistungsübertragungspfade dargestellt. Dies sind auch jene Komponenten, welche im Betrieb der elektrisch angetriebenen Achsen 1a, 1b der größten mechanischen Schädigung unterliegen. Das erste Getriebe 3, welches im Wesentlichen den ersten Leistungsübertragungspfad bildet, weist vorzugsweise eine erste Stirnradstufe 8a sowie eine zweite Stirnradstufe 9a, 10a auf. Die zweite Stirnradstufe 9a, 10a ist hierbei schaltbar ausgebildet, wobei zwischen den beiden Gängen bzw. Übersetzungen als erste Übersetzung 9a und zweite Übersetzung 10a ausgewählt werden kann.

[0080] Das zweite Getriebe 4, welches im Wesentlichen den zweiten Leistungsübertragungspfad bildet, weist ebenfalls zwei Stirnradstufen 9b, 10b auf, jedoch ohne die Möglichkeit einer Veränderung der Übersetzung. Die beiden Getriebe 3, 4 treiben vorzugsweise jeweils in ein Differential 11a, 11b ein, welche wiederum die eigentlichen Achsen 2a, 2b antreiben.

[0081] Figur 3 zeigt eine Detailansicht der mechanischen Komponenten eines zweiten Ausführungsbeispiels einer elektrisch angetriebenen Achse 1. Dieses Ausführungsbeispiel ist im Wesentlichen identisch mit dem ersten Ausführungsbeispiel nach Fig. 2. Im Unterschied zu diesem ist jedoch auch das zweite Getriebe 4 mit einer zwischen zwei Übersetzungen schaltbaren zweiten Übersetzungsstufe ausgebildet. Im Übrigen kann mittels des Kupplungsmechanismus auch eine Neutralstellung des ersten Getriebes 3 und des zweiten Getriebes 4 realisiert werden.

[0082] Figur 4 zeigt ein Blockdiagramm eines Ausführungsbeispiels eines Verfahrens 100 zum Regeln einer elektrisch angetriebenen Achse 1 mit zwei Elektromotoren EM1, EM2, welche gemeinsam einen Abtrieb 2 antreiben.

[0083] Mittels des Verfahrens ist eine Lebensdauer, welche mit der Schädigung der mechanischen Komponenten korreliert, bei der Gangwahl und bei der Drehmomentaufteilung zwischen den zwei Leistungsübertragungspfaden zu überwachen und adaptiv in der Betriebsstrategie zu berücksichtigen.

[0084] In einem ersten Schritt wird die Schädigung durch mechanische Einwirkung berücksichtigt. Darüber hinaus kann auch ein Schädigungseintrag durch thermische Belastung, insbesondere bei elektrischen Komponenten, bei der Betriebsstrategie berücksichtigt werden.

[0085] In einem ersten Arbeitsschritt 101a) werden daher Werte einer Drehzahl und eines Drehmoments, welche an wenigstens einer mechanischen Komponente 5 der Übertragungspfade der Leistungsübertragungspfade und der Elektromotoren anliegen, ermittelt. Insbesondere werden die Werte direkt oder indirekt mittels Sensoren gemessen. Solche mechanischen Komponenten 5, an welchen die Momente anliegen, sind insbesondere die Lager und die Zahnräder.

[0086] In einem zweiten Arbeitsschritt 102a) wird ein Wert eines Schädigungseintrags in Bezug auf die wenigstens eine mechanische Komponente 5 in Abhängigkeit des Werts der anliegenden Drehzahl und des Werts des anliegenden Drehmoments ermittelt und ein Wert eines Schädigungszustandes der wenigstens eine mechanische Komponente 5, welche durch Schädigungseinträge über einen vordefinierten Zeitraum entstanden ist, ermittelt.

[0087] Vorzugsweise wird in einem dritten Arbeitsschritt 103a) ein maximaler anteiliger Schädigungszustand $D_{max}(t)$ für die wenigstens eine mechanische Komponente und/oder die wenigstens eine elektrische Komponente bereitgestellt.

[0088] In einem vierten Arbeitsschritt 104a) wird ein relativer Schädigungszustand $R_j(t)$ auf der Grundlage des ermittelten Schädigungszustandes $D_j(t)$ und des maximalen anteiligen Schädigungszustands $D_{max}(t)$ ermittelt, wobei der erste Grenzwert und/oder der zweite Grenzwert in Bezug auf den relativen Schädigungszustand definiert sind/ist.

[0089] Weiter wird in einem fünften Arbeitsschritt 105a) vorzugsweise geprüft, ob der Wert des Schädigungszustands einen ersten Grenzwert überschreitet.

[0090] In einem sechsten Arbeitsschritt 106a) wird vorzugsweise, falls der erste Grenzwert überschritten wird, ein Schwellenwert für eine von der ersten Elektromaschine EM1 und/oder von der

zweiten Elektromaschine EM2 bereitgestelltes Drehmoment festgelegt, insbesondere in Abhängigkeit des durch das bereitgestellte Drehmoment verursachten Schädigungseintrags und/oder des Schädigungszustandes, wobei die elektrisch angetriebene Achse unter Berücksichtigung des Schwellenwerts für die bereitgestellte Leistung geregelt wird.

[0091] Schließlich wird die elektrisch angetriebene Achse 1 in einem siebten Arbeitsschritt 107 unter Berücksichtigung des Schädigungszustandes der wenigstens einen mechanischen Komponente 5 geregelt.

[0092] Vorzugsweise wird die elektrisch angetriebene Achse 1 hierbei in der Weise geregelt, dass der relative Schädigungszustand und/oder der momentane Schädigungseintrag verschiedener Leistungsübertragungspfade 3, 4 zueinander berücksichtigt wird. Weiter vorzugsweise wird in der Weise geregelt, dass der relative Schädigungszustand verschiedener Leistungsübertragungspfade möglichst ausgeglichen ist.

[0093] Zum Regeln der elektrisch angetriebenen Achse 1 gibt es hierbei im Wesentlichen zwei Alternativen: Entweder wird eine Übersetzung in wenigstens einem der beiden Leistungsübertragungspfade 3, 4 in der Weise angepasst, dass die wenigstens eine mechanische Komponente 5 nicht oder in definierter Weise beansprucht wird. Oder eine Leistungsaufteilung zwischen den beiden Elektromotoren EM1, EM2 wird in der Weise angepasst, dass ebenfalls die mechanische Komponente nicht oder nur in definierter Weise beansprucht wird.

[0094] Weiter vorzugsweise wird zum Regeln der elektrisch angetriebenen Achse entweder eine Übersetzung in wenigstens einem der beiden Leistungsübertragungspfade in der Weise angepasst, dass jener Elektromotor EM1, EM2, für welchen der Schwellenwert festgelegt ist, an einem anderen Betriebspunkt mit einer anderen, insbesondere höheren Drehzahl betrieben werden kann, oder eine Leistungsaufteilung zwischen den beiden Elektromotoren in der Weise angepasst wird, dass jener Elektromotor EM1, EM2, für welchen der Schwellenwert festgelegt ist, weniger Drehmoment bereitstellen oder aufnehmen muss.

[0095] In dem zweiten Arbeitsschritt 102a) wird der Schädigungszustand vorzugsweise durch folgende Formeln ermittelt:

$$\int n \cdot T^p \cdot dt$$

oder

$$\sum_i n_i T_i^p \Delta t$$

[0096] Hierbei ist n eine Drehzahl, T ein Drehmoment, Δt eine Zeitschrittweite und p ein Parameter, welcher eine Intensität des Schädigungseintrags für die wenigstens eine mechanische Komponente 5 angibt. Der Parameter p muss für jede mechanische Komponente 5 vorgegeben werden.

[0097] Wie in Fig. 4 dargestellt (rechter Ast), kann das Verfahren 100 zum Regeln der elektrischen Achse parallel auch für elektrische Komponenten (nicht im Detail dargestellt) durchgeführt werden. Diese elektrischen Komponenten sind zum Beispiel Bestandteile der Elektromaschinen EM1, EM2 oder der Wechselrichter 12a, 12b.

[0098] Im Wesentlichen sind die Arbeitsschritte hierbei ähnlich wie in Bezug auf das Bestimmen des Werts eines Schädigungseintrags in Bezug auf die wenigstens eine mechanische Komponente 5, insbesondere ein Lager oder ein Zahnrad.

[0099] Auch hier werden in einem ersten Arbeitsschritt 101b) Werte einer Temperatur wenigstens einer elektrischen Komponente bestimmt.

[00100] In einem zweiten Arbeitsschritt 102b) wird ein Wert eines Schädigungseintrags in Bezug auf die wenigstens eine elektrische Komponente in Abhängigkeit eines Werts der Temperatur und des Weiteren eines Schädigungszustands ermittelt, welcher sich aus dem Schädigungseintrag über einen vordefinierten Zeitraum ergibt.

[00101] In einem dritten Arbeitsschritt 103b) wird auch für die Temperatur ein Referenz-Schädi-

gungszustand für die wenigstens eine elektrische Komponente bereitgestellt.

[00102] In einem vierten Arbeitsschritt 104b) wird ein relativer Schädigungszustand der elektrischen Komponente 7 auf der Grundlage des ermittelten Schädigungszustands und des Referenz-Schädigungszustands ermittelt, wobei der zweite Grenzwert in Bezug auf den relativen Schädigungszustand definiert ist.

[00103] In einem fünften Arbeitsschritt 105b) wird vorzugsweise geprüft, ob der Wert des Schädigungszustands den zweiten Grenzwert überschreitet.

[00104] In einem sechsten Arbeitsschritt 106b) wird, falls der zweite Grenzwert überschritten wird, ein Schwellenwert für eine von der ersten Elektromaschine EM1 und/oder zweiten Elektromaschine EM2 bereitgestellte Leistung festgelegt, insbesondere in Abhängigkeit des durch die Temperatur verursachten Schädigungseintrags und/oder des Schädigungszustands, wobei die elektrisch angetriebene Achse unter Berücksichtigung des Schwellenwerts für die bereitgestellte Leistung geregelt wird.

[00105] Wird der thermische Schädigungseintrag berücksichtigt, so wird die elektrisch angetriebene Achse 1 zusätzlich unter Berücksichtigung des Schädigungszustands der wenigstens einen elektrischen Komponente in dem siebten Arbeitsschritt 107 geregelt.

[00106] Zusätzlich oder alternativ zum siebten Arbeitsschritt 107 kann in diesem Fall in einem achten Arbeitsschritt 108 vorgesehen sein, dass die wenigstens eine elektrische Komponente in Abhängigkeit des Werts der Temperatur gekühlt wird. In Bezug auf die elektrischen Komponenten bestehen also ebenfalls zwei Möglichkeiten, diese zu entlasten. Die eine besteht darin, für die Elektromaschine, der die elektrische Komponente zugeordnet ist, die Leistung zu reduzieren. Die zweite besteht darin, die elektrische Komponente zu kühlen.

[00107] Des Weiteren kann, sofern dies leistungsmäßig möglich ist, einer der Leistungsübertragungspfade, in dem die betroffene elektrische Komponente sitzt, über ein vorgelagertes Getriebe, sofern dies schaltbar ist, weggeschaltet werden.

[00108] Figur 5a zeigt ein Diagramm eines Schädigungszustands D in Abhängigkeit von der Zeit. Die gestrichelte Linie $D_{max}(t)$ zeigt den maximalen anteiligen Schädigungszustand über die Zeit, wobei am Ende der gewünschten Lebensdauer der Komponente der als horizontale Linie dargestellte maximal empfohlene Schädigungszustand exakt erreicht wird (gestrichelte Linie: linearer Anstieg). Ein Überschreiten des maximal empfohlene Schädigungszustandes führt zu einer erhöhten Ausfallswahrscheinlichkeit. $D_j(t)$ gibt hingegen den akkumulierten Schädigungseintrag, also den Schädigungszustand, der Komponente 5 in der Realität zum Zeitpunkt t wieder, das heißt, den aus den realen Belastungen durch Drehmoment und Drehzahl in Bezug auf die Komponente bestimmten Schädigungszustand. Diese Kurve $D_j(t)$ ist monoton steigend. Wie das Diagramm zeigt, übersteigt dieser reale Schädigungszustand $D_j(t)$ ab dem Zeitpunkt t_1 den zu diesem Zeitpunkt vorgesehenen maximalen anteiligen Schädigungszustand $D_{max}(t)$. Das Setzen von Maßnahmen zur Reduktion des Schädigungseintrags nach dem Zeitpunkt t1 führt zu einem Abflachen der Kurve $D_j(t)$. Die Kurve $D_j(t)$ kann so wieder unter die Kurve $D_{max}(t)$ gebracht werden. Zum Zeitpunkt t_2 fällt die Kurve des realen Schädigungszustands dann wieder unter den maximalen anteiligen Schädigungszustand $D_{max}(t_2)$. Würde in dem Zeitraum zwischen t_1 und t_2 keine Maßnahme gesetzt, würde die Kurve $D_i(t)$ nicht abflachen und der maximal empfohlene Schädigungszustand vor Ablauf der gewünschten Lebensdauer (z.B. 20 Jahre wie im Beispiel) erreicht werden. Eine erhöhte Ausfallwahrscheinlichkeit der Komponente 5 vor Ablauf der gewünschten Lebensdauer ist gegeben.

[00109] In Figur 5a beträgt die gewünschte Lebensdauer beispielsweise zwanzig Jahre.

[00110] In Figur 5b ist der relative Schädigungszustand $R_j(t)$ in einem Diagramm entsprechend der Zeitschiene von Figur 5a dargestellt.

[00111] Der relative Schädigungszustand $R_j(t)$ ergibt sich dabei aus einer Division des realen Schädigungszustands $D_j(t)$ durch den jeweiligen maximalen anteiligen Schädigungszustand zu einem bestimmten Zeitpunkt t.

[00112] Der Zeitraum zwischen t_1 und t_2 zeichnet sich dadurch aus, dass der relative Schädigungszustand R über 1 steigt. Dies sollte verhindert werden, um einem verfrühten Ausfall der Komponente vorzubeugen. Entsprechend werden vorzugsweise Grenzwerte R_{inc} und R_{dec} definiert, in Figur 5b durch gestrichelte Linien dargestellt, ab denen Maßnahmen ergriffen oder zurückgenommen werden, um den weiteren Schädigungseintrag zu reduzieren. So müssen ab dem Grenzwert R_{inc}, welcher den maximal gewünschten relativen Schädigungszustand angibt, Maßnahmen zur Reduzierung des Schädigungseintrags ergriffen oder verstärkt werden. R_{dec} gibt hingegen jenen Wert des relativen Schädigungszustands an, unter dem Maßnahmen zur Reduzierung des Schädigungseintrags reduziert werden können. Beide Grenzwerte R_{inc} und R_{dec} liegen vorzugsweise unter R = 1.

[00113] Wenn der Wert des relativen Schädigungszustands $R_j(t)$ über 1 ansteigt, kann vorgesehen sein, dass beispielsweise eine Warnlampe aktiviert wird. Diese zeigt an, dass die Komponente bis zum jetzigen Zeitpunkt überdurchschnittlich belastet wurde.

[00114] Ein Schädigungszustand $D_{max}(t)$ stellt mithin einen zeitlich abhängigen Grenzwert für den Schädigungszustand dar. Der Wert ist dabei für jede Komponente (j) unterschiedlich

[00115] In der Figur 5b entspricht der Wert R = 1 diesem Grenzwert.

[00116] Figur 6 stellt einen Prozess dar, um einen Schwellenwert für ein von einer Elektromaschine bereitgestelltes Drehmoment oder auch eine bereitgestellte Leistung in Abhängigkeit von Grenzwerten für den Schädigungszustand festzulegen.

[00117] Hierbei bezeichnet j jeweils die betrachtete Komponente.

[00118] Figur 6 zeigt einen Prozess zur Festlegung eines Schwellenwerts für ein von dem ersten Elektromotor EM1 oder von dem zweiten Elektromotor EM2 bereitzustellendes Drehmoment. Die Maßnahmen sollen dabei eine Überlastung der mechanischen Komponenten 5 und/oder der elektrischen Komponenten der elektrisch angetriebenen Achse entgegenwirken. Wie im Vorhergehenden beschrieben, kann es sich bei den Maßnahmen um einen Schwellenwert für ein von dem ersten Elektromotor EM1 oder von dem zweiten Elektromotor EM2 bereitzustellendes Drehmoment handeln oder auch um einen Schaltvorgang der den Betriebspunkt des ersten Elektromotors EM1 oder des zweiten Elektromotor EM2 zu höheren Drehzahlen verschiebt, oder den jeweiligen Elektromotor völlig wegschaltet oder um ein Kühlen der mechanischen Komponenten 5 und/oder der elektrischen Komponenten handeln.

[00119] Der Prozess wird in Bezug auf eine Drehmoment-Limitierung erläutert. Es ist für den Fachmann jedoch offensichtlich, dass dieser Prozess auch auf andere Maßnahmen übertragen werden kann.

[00120] Im folgenden Prozess bezeichnet T_{max} das maximal mögliche Drehmoment am Elektromotor EM1 bzw. EM2 des betrachteten Leistungspfades. Sei die Komponente j eine der Komponenten von Interesse im betrachteten Leistungspfad, so bezeichnet T_j einen Vorschlag für eine Drehmomentlimitierung aufgrund des aktuellen relativen Schädigungszustandes dieser Komponente j. Am Elektromotor wird schließlich die Drehmomentlimitierung T_{lim} umgesetzt. Diese wird basierend auf den Limitierungsvorschlägen T_j aller Komponenten j von Interesse gewählt. Es gilt also einerseits, dass T_{lim} kleiner oder gleich T_j ist, andererseits ist T_{lim} auch immer kleiner oder gleich T_{max}. Zum Start des Prozesses bei t = 0 besteht kein Drehmomentlimitierungsvorschlag T_j in Bezug auf irgendeine Komponente j. Daher gilt zu diesem Zeitpunkt für alle Komponenten, $T_j = T_{lim} = T_{max}$. D.h., es liegt keine aktive Drehmomentlimitierung aufgrund eines Drehmomentlimitierungsvorschlags irgendeiner Komponente j vor und beide Elektromotoren EM1 und EM2 können jeweils mit ihrem maximalem Drehmoment T_{max} betrieben werden, sofern dies notwendig ist.

[00121] In einem ersten Prozessschritt wird der aktuelle relative Schädigungszustand R_j in Bezug auf alle Komponenten j abgefragt. Da zu diesem Zeitpunkt noch keine Maßnahme zur Drehmomentlimitierung ergriffen wurde, bewegt man sich auf dem rechten Ast des Blockdiagramms. Nun wird geprüft, ob der aktuelle relative Schädigungszustand R_j größer ist als der maximal gewünschte relative Schädigungszustand R_{inc}, bei dem Maßnahmen eingeführt oder erhöht werden

müssen. Ist dies der Fall, wird eine neue Maßnahme in Bezug auf die Komponente festgelegt, im vorliegenden Fall ein Drehmomentlimitierungsvorschlag T_j. Ist der relative Schädigungszustand R_j dagegen kleiner als der Grenzwert R_{inc}, so wird keine Maßnahme ergriffen. Der Drehmomentlimitierungsvorschlag in Bezug auf die Komponente T_j ist damit weiter gleich dem maximal möglichen Moment T_{max} an dem jeweiligen Elektromotor EM1, EM2, welcher den jeweiligen Leistungsübertragungspfad 3, 4 antreibt.

[00122] Diese Überprüfung wird für alle Komponenten eines Leistungsübertragungspfads 3, 4 durchgeführt. Die aktive Drehmomentlimitierung T_{lim} für diesen Leistungsübertragungspfad wird dann auf den minimal festgestellten Drehmomentlimitierungsvorschlag T_j einer Komponente j eingestellt. Danach beginnt der Prozess wiederum von vorn. Da nun eine Maßnahme, d.h. eine aktive Drehmomentlimitierung T_{lim} vorliegt, geht der Prozess auf dem linken Ast weiter. Nun wird der aktuelle relative Schädigungszustand R_j vorzugsweise mit drei verschiedenen Grenzwerten verglichen. Hierbei ist R_{inc}, wie bereits erläutert, der maximal gewünschte relative Schädigungszustand, bei dem Maßnahmen eingeführt oder verstärkt werden müssen.

[00123] R_{dec} ist der relative Schädigungszustand, unter dem Maßnahmen reduziert werden können.

[00124] R_{min} ist der relative Schädigungszustand, unter dem keine Maßnahmen erforderlich sind.

[00125] Hierbei gilt folgender Zusammenhang:

$$R_{inc} > R_{dec} > R_{min}$$

[00126] Ist der aktuelle relative Schädigungszustand R_j größer als R_{inc}, so muss die Maßnahme erhöht werden, im Falle des Drehmoments bedeutet dies, dass der Schwellenwert für die Drehmomentlimitierung T_j herabgesetzt werden muss.

[00127] Ist der aktuelle relative Schädigungszustand R_j kleiner als R_{min}, so können die Maßnahmen in Bezug auf diese Komponente aufgehoben werden. In diesem Fall gilt in Bezug auf diese Komponente wiederum, dass das maximale Drehmoment T_{max} des jeweiligen Elektromotors EM1, EM2 bereitgestellt werden kann.

[00128] In dem Fall, in dem der aktuelle relative Schädigungszustand R_j kleiner ist als R_{dec}, aber größer als R_{inc}, so kann die jeweilige Maßnahme reduziert werden. Im Falle einer Drehmomentlimitierung bedeutet dies, dass der Schwellenwert heraufgesetzt werden kann.

[00129] Ist der aktuelle relative Schädigungszustand R_j kleiner als R_{inc}, aber größer als R_{dec}, so sollte die Maßnahme in Bezug auf die Komponente j unverändert belassen werden.

[00130] Auch dieser Teilprozess wird für alle Komponenten j wiederholt. Die aktive Drehmomentlimitierung T_{lim} wird dann für jeden Leistungsübertragungspfad 3, 4 so eingestellt, dass sie dem jeweiligen Schwellenwert der stärksten Maßnahme für eine Komponente j in dem jeweiligen Leistungsübertragungspfad 3, 4 entspricht. In Bezug auf das Drehmoment bedeutet dies, dass die aktive Drehmomentlimitierung T_{lim} den Minimalwert der Drehmomentlimitierungsvorschläge T_j über alle Komponenten j entspricht.

[00131] Figur 7 zeigt zwei Diagramme, in welchen jeweils die Motorkennlinie des ersten Elektromotors EM1 und des zweiten Elektromotors EM2 eingezeichnet sind. Hierbei ist jeweils das Drehmoment über der Motordrehzahl aufgetragen.

[00132] Anhand der beiden Diagramme kann eine Drehmomentaufteilung zwischen dem ersten Elektromotor EM1 und dem zweiten Elektromotor EM2 bei einer vorgegebenen Leistung und vorgegebenen Drehzahlen n_1, n_2 an den beiden Elektromotoren EM1, EM2 ermittelt werden. Hierbei existiert für die erste Elektromaschine EM1 bzw. für den ersten Leistungsübertragungspfad 3, welchen diese bedient, eine aktive Drehmomentlimitierung T_{lim}.

[00133] Entsprechend können nur solche Paarungen der Drehmomentaufteilungen gewählt werden, bei welchen das von dem ersten Elektromotor EM1 bereitgestellte Drehmoment unter T_{lim} liegt. Ansonsten wird die Drehmomentaufteilung vorzugsweise so gewählt, dass sich ein in Bezug auf die Effizienz der elektrisch angetriebenen Achse 1 optimierter Betrieb einstellt.

[00134] Figur 8 stellt einen Prozess dar, mit welchem eine solche Drehmomentaufteilung unter Berücksichtigung der Gesamteffizienz des Systems gewählt wird.

[00135] Die Vorgaben für diesen Prozess sind ein geforderter Lastpunkt am Abtrieb 2a, 2b, insgesamt und eine mögliche aktive Drehmomentlimitierung T_{lim} in einem oder beiden der Leistungsübertragungspfade 3, 4. Gibt es eine Drehmomentlimitierung T_{lim}, so wird die Drehmomentaufteilung mit Fokus auf Effizienz und unter Berücksichtigung der aktiven Drehmomentlimitierung T_{lim} bestimmt. Gibt es hierfür keine Lösung, so wird dagegen die Drehmomentaufteilung mit Fokus auf Effizienz und ohne Berücksichtigung einer Drehmomentlimitierung bestimmt.

[00136] Gleiches gilt, wenn von vornherein keine aktive Drehmomentlimitierung T_{lim} vorlag.

[00137] Figur 9 zeigt anhand von vier Diagrammen (a), (b), (c) (d), welche ein Drehmoment über der Zeit darstellen, ein konkretes Beispiel, in welchem eine Regelstrategie nach Fig. 8 zum Einsatz kommt. Die Figuren 9a und 9b stellen hierbei jeweils zeitdiskret bereitgestellte Drehmomente dar, welche von dem ersten Elektromotor EM1 bereitgestellt werden.

[00138] Die Figuren 9c und 9d stellen hingegen jene Werte des Drehmoments dar, welche durch den zweiten Elektromotor EM2 bereitgestellt werden. In den Figuren 9a und 9c existiert hierbei keine aktive Drehmomentlimitierung T_{lim}. In den Figuren 9b und 9d existiert hingegen eine Drehmomentlimitierung T_{lim} für den ersten Elektromotor EM1.

[00139] Überschreitet ein an dem ersten Elektromotor EM1 angefordertes Drehmoment eine aktive Drehmomentlimitierung T_{lim} in Bezug auf diesen ersten Elektromotor EM1 oder auf den ersten Leistungsübertragungspfad 3, so wird das übermäßig angeforderte Drehmoment, wie in den Figuren 9b und 9d dargestellt, dem zweiten Elektromotor EM2 aufgebürdet. Dieser muss während den bezeichneten Zeitpunkten t_1, t_2, t_3 ein größeres Drehmoment T liefern, damit der erste Elektromotor EM1 sein bereitgestelltes Drehmoment T reduzieren kann. Zu den späteren Zeitpunkten t_4, t_5, t_6 ist dies nicht mehr möglich, da der zweite Elektromotor EM2 ebenfalls bereits am Leistungslimit bzw. Drehmomentlimit T_{max} liefert. In diesem Fall wird vorzugsweise, um das geforderte Drehmoment bereitstellen zu können, von einer Drehmomentumverteilung abgesehen und die aktive Drehmomentlimitierung T_{lim} ignoriert.

[00140] Figur 10 zeigt ein System 20 zum Regeln einer elektrisch angetriebenen Achse 1 mit zwei Elektromotoren EM1, EM2.

[00141] Ein solches System 20 weist vorzugsweise Mittel 21, insbesondere Sensoren, zum Bestimmen von Werten einer Drehzahl und eines Drehmoments, welche an wenigstens einer mechanischen Komponente 5 der Leistungsübertragungspfade 3, 4 und/oder der Elektromotoren EM1, EM2 anliegen. Des Weiteren weist ein solches System 20 vorzugsweise Mittel 22 zum Ermitteln eines Werts eines Schädigungseintrags in Bezug auf die wenigstens eine mechanische Komponente 5 in Abhängigkeit des Wertes der anliegenden Drehzahl und des Werts des anliegenden Drehmoments und Ermitteln eines Werts eines Schädigungszustands der wenigstens einen mechanischen Komponente 5, welcher durch Schädigungseintrag über einen vordefinierten Zeitraum entstanden ist. Schließlich weist ein solches System 20 vorzugsweise Mittel 23 zum Regeln der elektrisch angetriebenen Achse 1 unter Berücksichtigung des Schädigungszustands der wenigstens einen mechanischen Komponente 5 auf.

[00142] Ein Mittel im Sinne der Erfindung kann hard- und/oder softwaretechnisch ausgebildet sein und insbesondere eine, vorzugsweise mit einem Speicher- und/oder Bussystem daten- bzw. signalverbundene, insbesondere digitale, Verarbeitungs-, insbesondere Mikroprozessoreinheit (CPU) und/oder ein oder mehrere Programme oder Programmmodule aufweisen. Die CPU kann dazu ausgebildet sein, Befehle, die als ein in einem Speichersystem abgelegtes Programm implementiert sind, abzuarbeiten, Eingangssignale von einem Datenbus zu erfassen und/oder Ausgangssignale an einen Datenbus abzugeben. Ein Speichersystem kann ein oder mehrere, insbesondere verschiedene, Speichermedien, insbesondere optische, magnetische, Festkörper- und/oder andere nicht-flüchtige Medien, aufweisen. Das Programm kann derart beschaffen sein, dass es die hier beschriebenen Verfahren verkörpert bzw. auszuführen imstande ist, so dass die CPU die Schritte solcher Verfahren ausführen kann.

[00143] Vorzugsweise weist das System 20 weitere Mittel auf, um weitere Arbeitsschritte des Verfahrens 100 auszuführen. Weiter vorzugsweise sind wenigstens einige der Mittel, insbesondere das ganze System 20, in den E-Achsenregler 14 integriert.

[00144] Es wird darauf hingewiesen, dass es sich bei den Ausführungsbeispielen lediglich um Beispiele handelt, die den Schutzbereich, die Anwendung und den Aufbau in keiner Weise einschränken sollen. Vielmehr wird dem Fachmann durch die vorausgehende Beschreibung ein Leitfaden für die Umsetzung von mindestens einem Ausführungsbeispiel gegeben, wobei diverse Änderungen, insbesondere im Hinblick auf die Funktion und Anordnung der beschriebenen Bestandteile, vorgenommen werden können, ohne den Schutzbereich zu verlassen, wie er sich aus den Ansprüchen und diese äquivalenten Merkmalsbeschreibungen ergibt.

Patentansprüche

1. Verfahren (100) zum Regeln von zwei elektrisch angetriebenen Achsen (1a, 1b) eines Fahrzeugs, mit jeweils einem Elektromotor (EM1, EM2), wobei der erste Elektromotor (EM1) mit einem ersten Abtrieb (2a) über wenigstens einen ersten Leistungsübertragungspfad (3) verbunden ist und der zweite Elektromotor (EM2) mit einem zweiten Abtrieb (2b) über wenigstens einen zweiten Leistungsübertragungspfad (4) verbunden ist, folgende Arbeitsschritte aufweisend:

   Bestimmen (101a) von Werten einer Drehzahl und eines Drehmoments, welche an wenigstens einer mechanischen Komponente (5) der Leistungsübertragungspfade (3,4) und/oder der Elektromotoren (EM1, EM2) anliegen;

   Ermitteln (102a) eines Werts eines Schädigungseintrags in Bezug auf die wenigstens eine mechanische Komponente (5) in Abhängigkeit des Wertes der anliegenden Drehzahl und des Werts des anliegenden Drehmoments und Ermitteln eines Werts eines Schädigungszustands der wenigstens einen mechanischen Komponente (5), welcher durch Schädigungseinträge über einen vordefinierten Zeitraum entstanden ist;

   Regeln (107) der elektrisch angetriebenen Achsen (1a, 1b) unter Berücksichtigung des Schädigungszustands oder des relativen Schädigungszustands der wenigstens einen mechanischen Komponente (5), wobei

   die elektrisch angetriebenen Achsen (1a, 1b) in der Weise geregelt wird, dass der Schädigungszustand oder der relative Schädigungszustand verschiedener Leistungsübertragungspfade (3, 4) zueinander berücksichtigt wird, wobei der Schädigungszustand oder der relative Schädigungszustand verschiedener Leistungsübertragungspfade (3, 4) möglichst ausgeglichen ist.

2. Verfahren (100) nach Anspruch 1, wobei zum Regeln der elektrisch angetriebenen Achsen (1a, 1b) entweder eine Übersetzung in wenigstens einem der beiden Leistungsübertragungspfade (3, 4) in der Weise angepasst wird oder eine Leistungsaufteilung zwischen den beiden Elektromotoren (EM1, EM2) in der Weise angepasst wird, dass die wenigstens eine mechanische Komponente (5) nicht beansprucht wird.

3. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, des Weiteren die folgenden Arbeitsschritte aufweisend:

   Prüfen (105a), ob der aktuelle Wert des Schädigungszustands oder des relativen Schädigungszustands der wenigstens einen mechanischen Komponente (5) einen ersten Grenzwert überschreitet; und

   Festlegen (106a), falls der erste Grenzwert überschritten wird, eines Schwellenwerts für ein von der ersten Elektromaschine (EM1) bereitgestelltes Drehmoment und/oder ein von der zweiten Elektromaschine (EM2) bereitgestelltes Drehmoment, insbesondere in Abhängigkeit des durch das bereitgestellte Drehmoment verursachten Schädigungseintrags, wobei die elektrisch angetriebenen Achsen (1a, 1b) unter Berücksichtigung des Schwellenwerts für das Drehmoment geregelt werden.

4. Verfahren (100)) nach Anspruch 3, wobei zum Regeln der elektrisch angetriebenen Achsen (1a, 1b) entweder eine Übersetzung in wenigstens einem der beiden Leistungsübertragungspfade (3, 4) in der Weise angepasst wird, dass jener Elektromotor (EM 1; EM 2), für welchen der Schwellenwert festgelegt ist, in einem anderen Betriebspunkt mit einer anderen, insbesondere höheren, Drehzahl betrieben werden kann, oder eine Leistungsaufteilung zwischen den beiden Elektromotoren (EM1, EM2) in der Weise angepasst wird, dass jener Elektromotor (EM1, EM2), für welchen der Schwellenwert festgelegt ist, weniger Drehmoment bereitstellen oder aufnehmen muss.

5. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei der Schädigungszustand wie folgt ermittelt wird:

$$\int n \cdot T^p \cdot dt$$

oder

$$\sum_i n_i T_i^p \Delta t$$

wobei n eine Drehzahl, T ein Drehmoment, At eine Zeitschrittweite und p ein Parameter ist, welcher eine Intensität des Schädigungseintrags für die wenigstens eine mechanische Komponente (5) angibt, wobei der Parameter p für jede mechanische Komponente vorgegeben ist.

6. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 5, des Weiteren den Arbeitsschritt aufweisend:

Bestimmen (101b) von Werten einer Temperatur wenigstens einer elektrischen Komponente (7);

Ermitteln (102b) eines Werts eines Schädigungseintrags in Bezug auf die wenigstens eine elektrische Komponente (7) in Abhängigkeit eines Werts der Temperatur und eines Schädigungszustands, welcher sich aus dem Schädigungseintrag über einen vordefinierten Zeitraum ergibt,

wobei die elektrisch angetriebenen Achsen (1a, 1b) zusätzlich unter Berücksichtigung des Schädigungszustands der wenigstens einen elektrischen Komponente (7) geregelt werden.

7. Verfahren (100) nach Anspruch 6, des Weiteren die folgenden Arbeitsschritte aufweisend:

Prüfen (105b), ob der aktuelle Wert des Schädigungszustands oder des relativen Schädigungszustands einer elektrischen Komponente (7) einen zweiten Grenzwert überschreitet;

Festlegen (106b), falls der zweite Grenzwert überschritten wird, eines Schwellenwerts für eine von der ersten Elektromaschine (EM1) und/oder von der zweiten Elektromaschine (EM2) bereitgestellte Leistung, insbesondere in Abhängigkeit des durch die Temperatur verursachten Schädigungseintrags, wobei die elektrisch angetriebenen Achsen (1a, 1b) unter Berücksichtigung des Schwellenwerts für die bereitgestellte Leistung geregelt werden.

8. Verfahren (100) nach Anspruch 7, des Weiteren den Arbeitsschritt aufweisend:

Kühlen (108) der wenigstens einen elektrischen Komponente (7) in Abhängigkeit des Werts der Temperatur.

9. Verfahren (100) nach einem der Ansprüche 7 oder 8, des Weiteren den Arbeitsschritt aufweisend:

Bereitstellen (103a, 103b) eines maximalen anteiligen Schädigungszustands ($D_{max}(t)$) für die wenigstens eine mechanische Komponente (5) und/oder die wenigstens eine elektrische Komponente (7); und

Ermitteln (103a, 103b) eines relativen Schädigungszustands ($R_j(t)$) auf der Grundlage des ermittelten Schädigungszustands ($D_j(t)$) und des maximalen anteiligen Schädigungszustands ($D_{max}(t)$), wobei der erste Grenzwert und/oder der zweite Grenzwert in Bezug auf den relativen Schädigungszustand definiert ist.

10. Verfahren (100) nach einem der vorhergehenden Ansprüche 8 bis 9, wobei beim Regeln der beiden Elektromotoren des Weiteren eine Effizienz der elektrisch angetriebenen Achsen (1a, 1b) berücksichtigt wird, wobei Paare von Betriebspunkten der ersten und zweiten Elektromotoren (EM1, EM2) in der Weise gewählt werden, dass sich unter Einhaltung des Schwellenwerts für das Drehmoment und/oder des Schwellenwerts für die Leistung an wenigstens

einem der beiden Elektromotoren (EM1, EM2) ein im Hinblick auf die Effizienz optimierter Betrieb einstellt.

11. System (20) zum Regeln von zwei elektrisch angetriebenen Achsen (1a, 1b) eines Fahrzeugs, mit jeweils einem Elektromotor (EM1, EM2), wobei der erste Elektromotor (EM1) mit einem ersten Abtrieb (2a) über wenigstens einen ersten Leistungsübertragungspfad (3) verbunden ist und der zweite Elektromotor (EM2) mit einem zweiten Abtrieb (2b) über wenigstens einen zweiten Leistungsübertragungspfad (4) verbunden ist, aufweisend:

    Mittel (21) zum Bestimmen von Werten einer Drehzahl und eines Drehmoments, welche an wenigstens einer mechanischen Komponente (5) der Leistungsübertragungspfade (5,6) und/oder der Elektromotoren (EM1, EM2) anliegen;

    Mittel (22) zum Ermitteln eines Werts eines Schädigungseintrags in Bezug auf die wenigstens eine mechanische Komponente (5) in Abhängigkeit des Wertes der anliegenden Drehzahl und des Werts des anliegenden Drehmoments und Ermitteln eines Werts eines Schädigungszustands der wenigstens einen mechanischen Komponente (5), welcher durch Schädigungseintrag über einen vordefinierten Zeitraum entstanden ist;

    Mittel (23) zum Regeln der elektrisch angetriebenen Achsen (1a, 1b) unter Berücksichtigung des Schädigungszustands der wenigstens einen mechanischen Komponente (5) derart, dass der Schädigungszustand oder der relative Schädigungszustand verschiedener Leistungsübertragungspfade (3, 4) zueinander berücksichtigt wird, wobei der Schädigungszustand oder der relative Schädigungszustand verschiedener Leistungsübertragungspfade (3, 4) möglichst ausgeglichen ist.

12. Fahrzeug mit einem System (20) nach Anspruch 11.

Hierzu 10 Blatt Zeichnungen

1/10

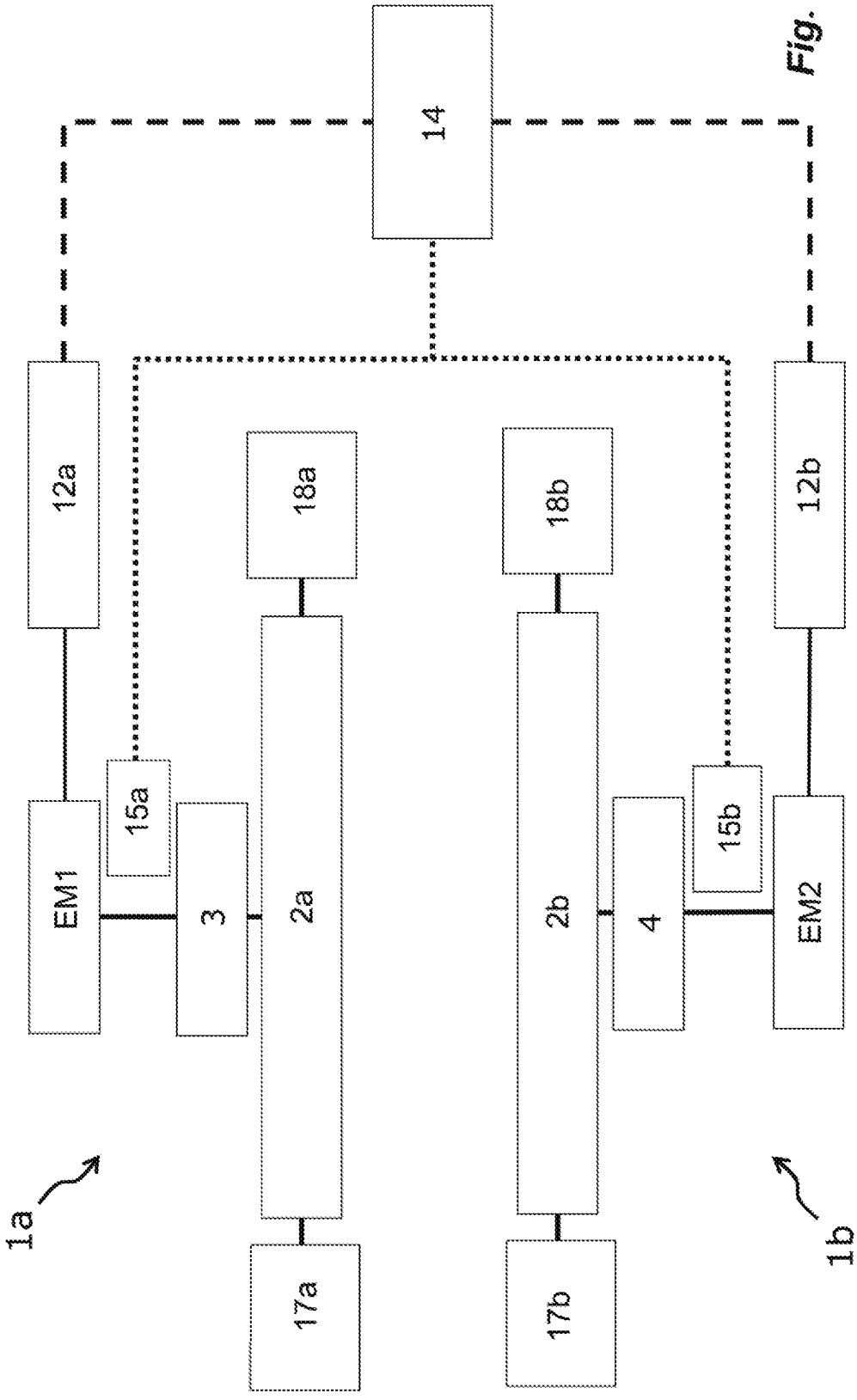


Fig. 1

2/10

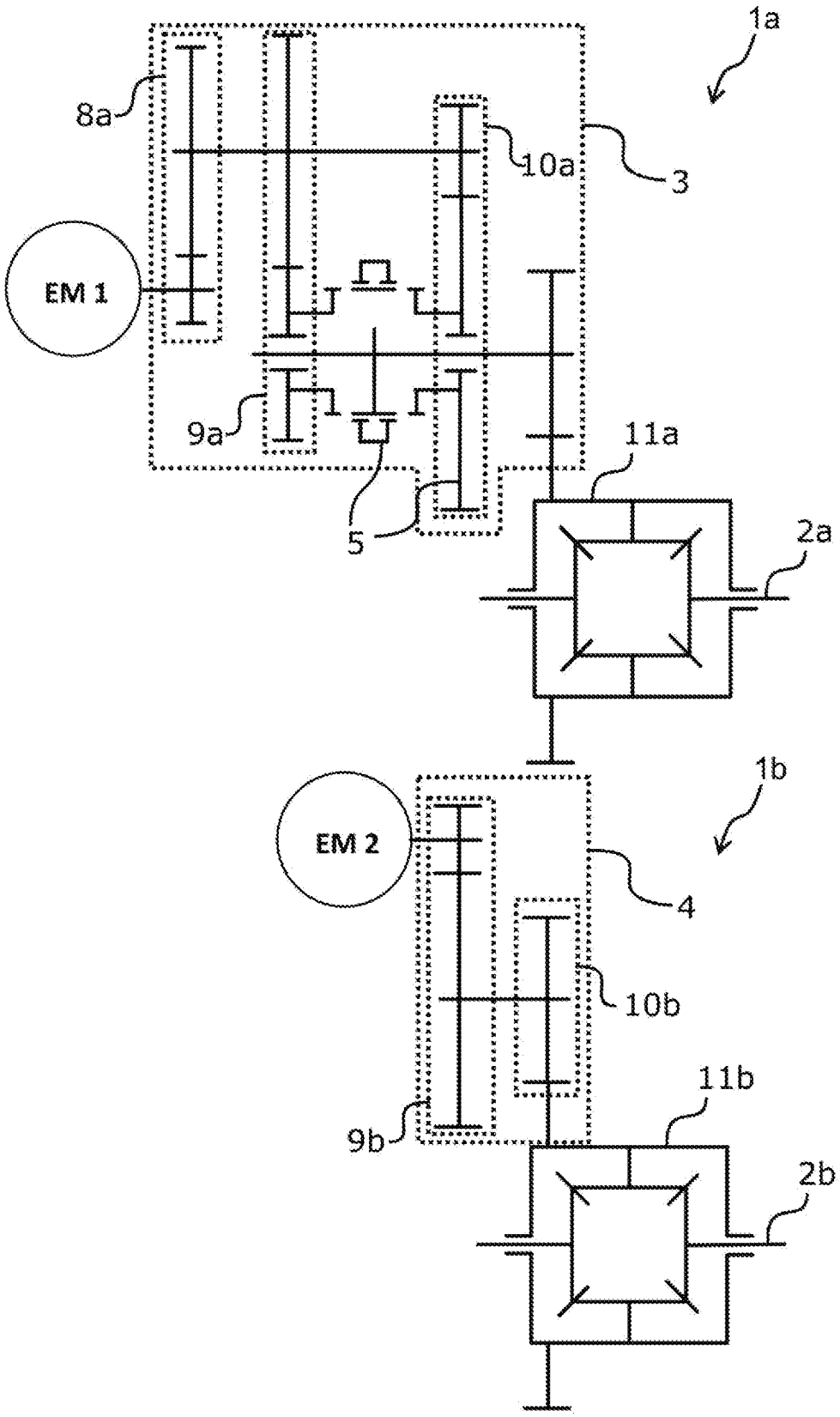


Fig. 2

3/10

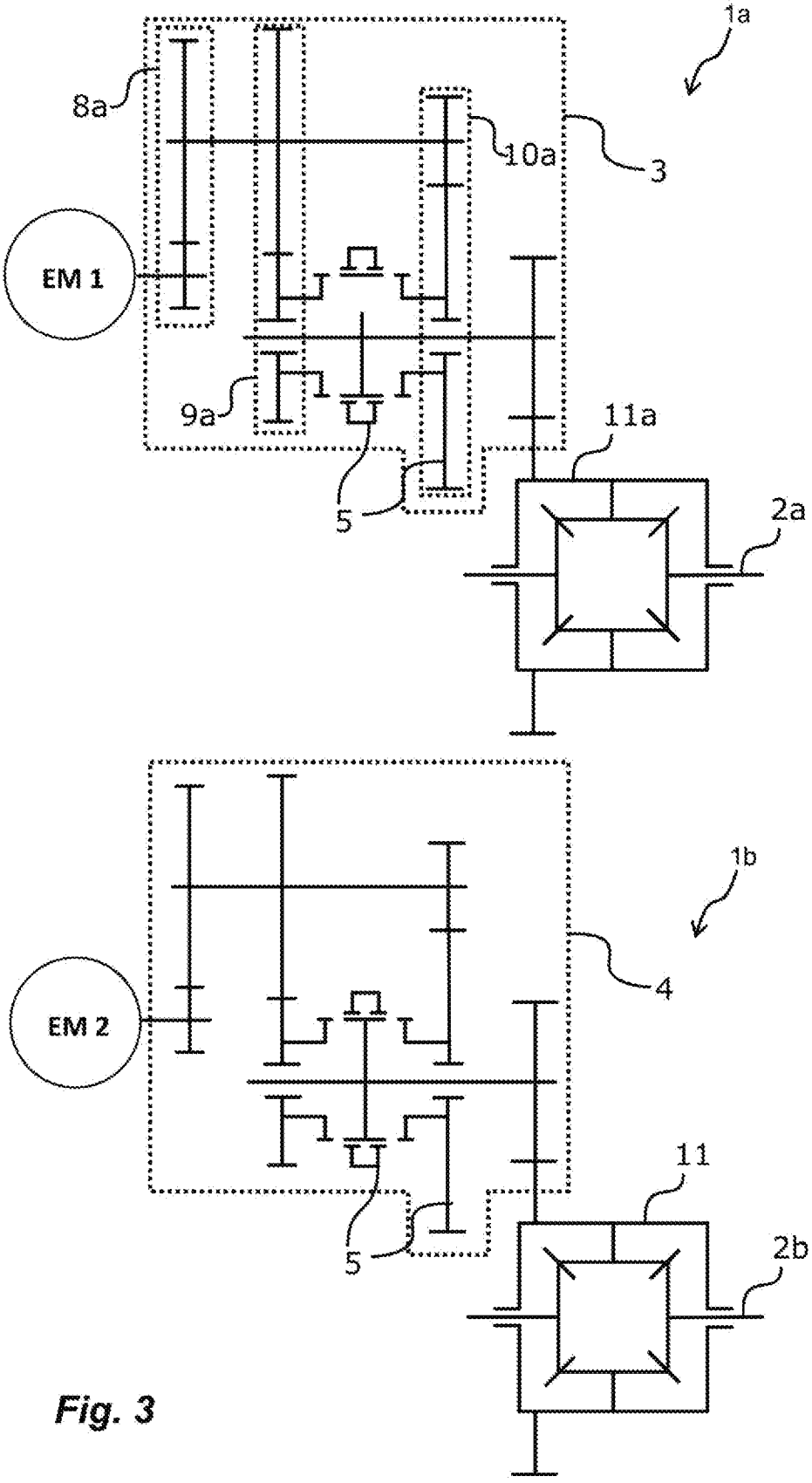


Fig. 3

4/10

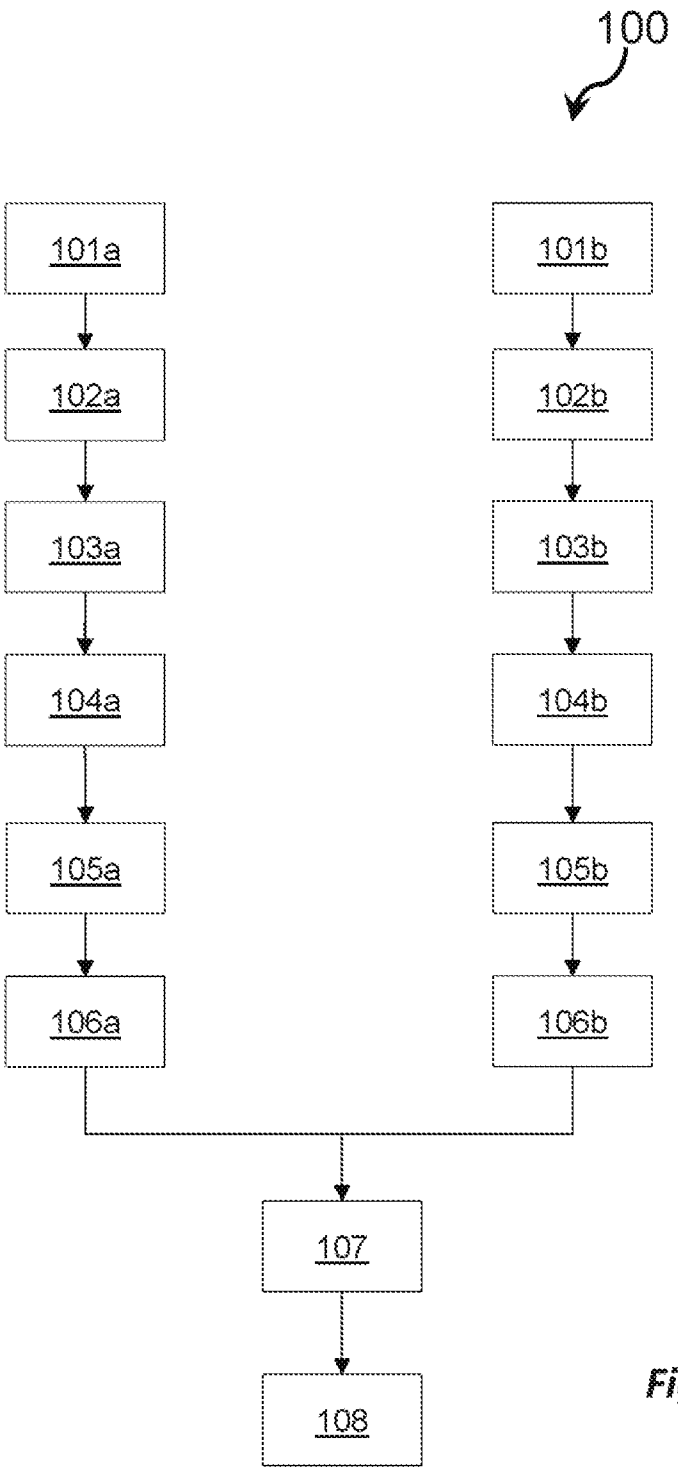

100
101a
101b
102a
102b
103a
103b
104a
104b
105a
105b
106a
106b
107
108

Fig. 4

5/10

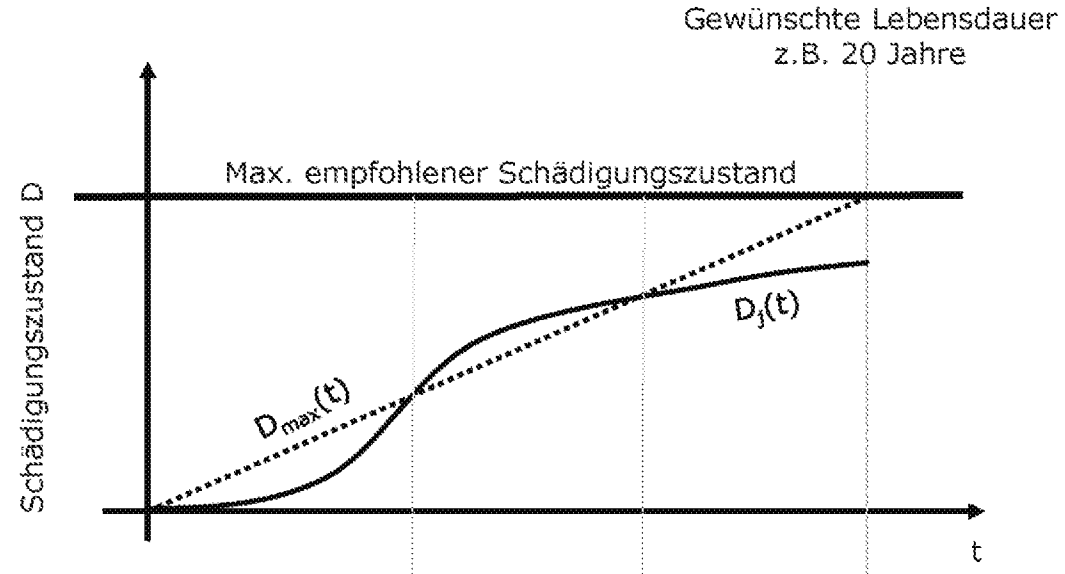


Fig. 5a

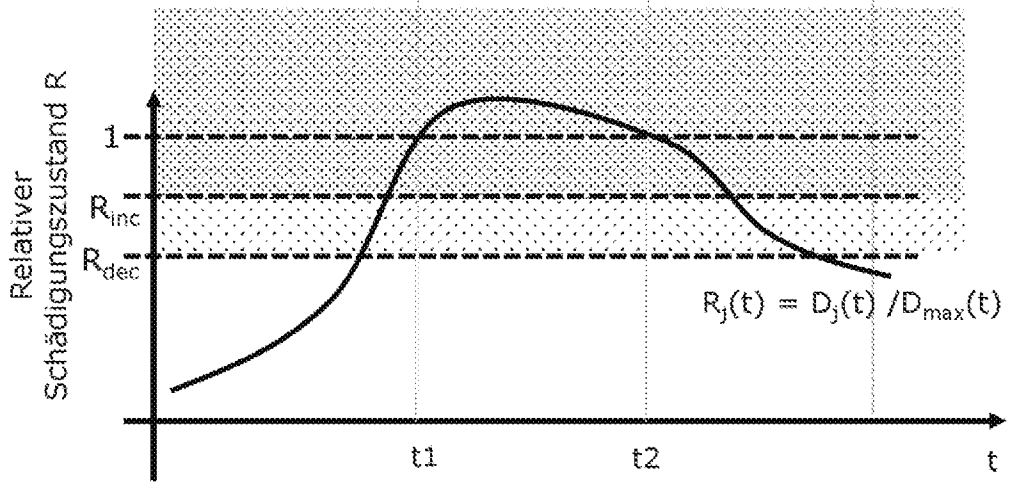


Fig. 5b

6/10

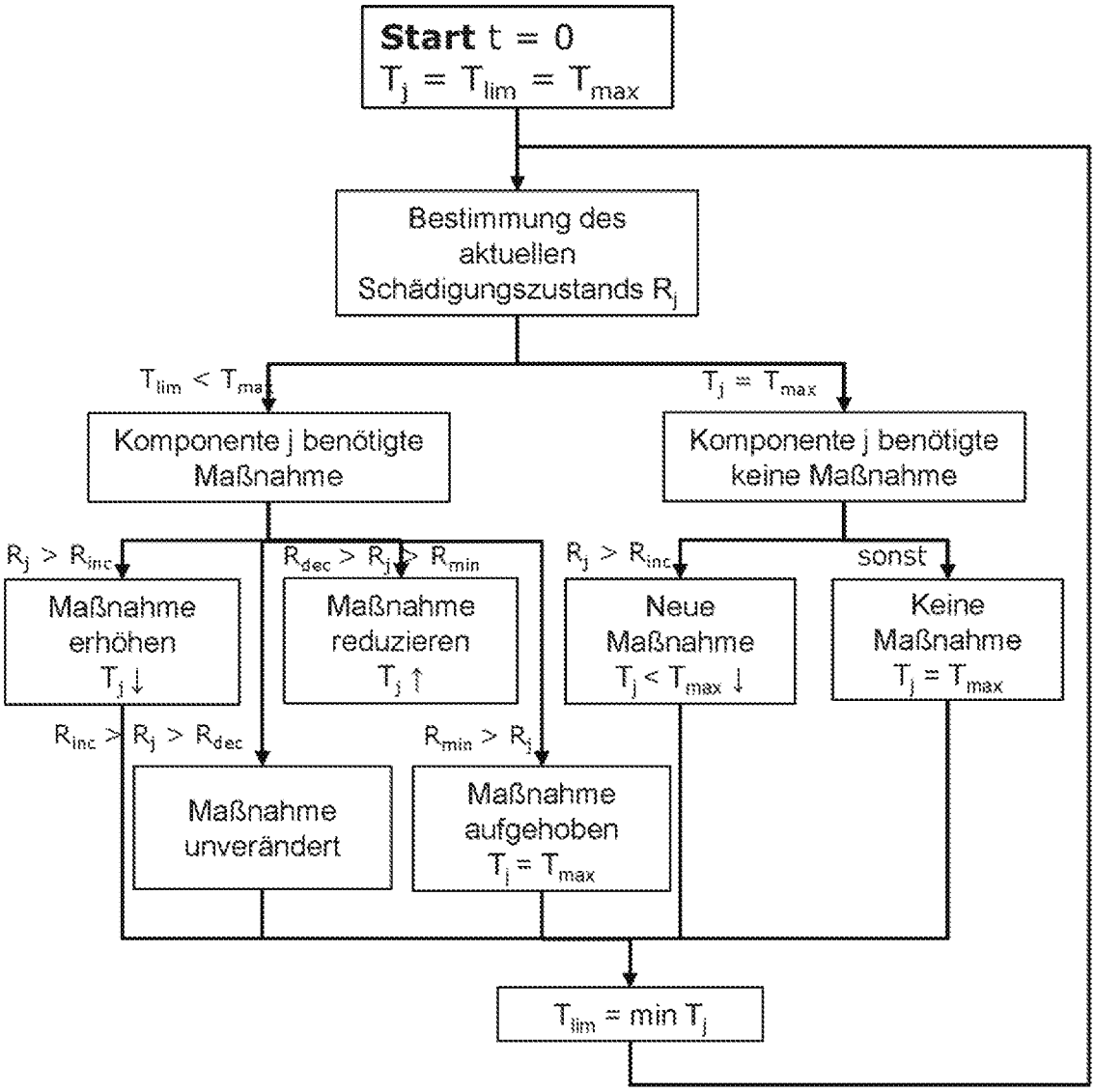

Start t = 0
$T_j = T_{lim} = T_{max}$
Bestimmung des aktuellen Schädigungszustands R_j
$T_{lim} < T_{max}$
$T_j = T_{max}$
Komponente j benötigte Maßnahme
Komponente j benötigte keine Maßnahme
$R_j > R_{inc}$
$R_{dec} > R_j > R_{min}$
$R_j > R_{inc}$
sonst
Maßnahme erhöhen $T_j \downarrow$
Maßnahme reduzieren $T_j \uparrow$
Neue Maßnahme $T_j < T_{max} \downarrow$
Keine Maßnahme $T_j = T_{max}$
$R_{inc} > R_j > R_{dec}$
$R_{min} > R_j$
Maßnahme unverändert
Maßnahme aufgehoben $T_j = T_{max}$
$T_{lim} = \min T_j$

Fig. 6

7/10

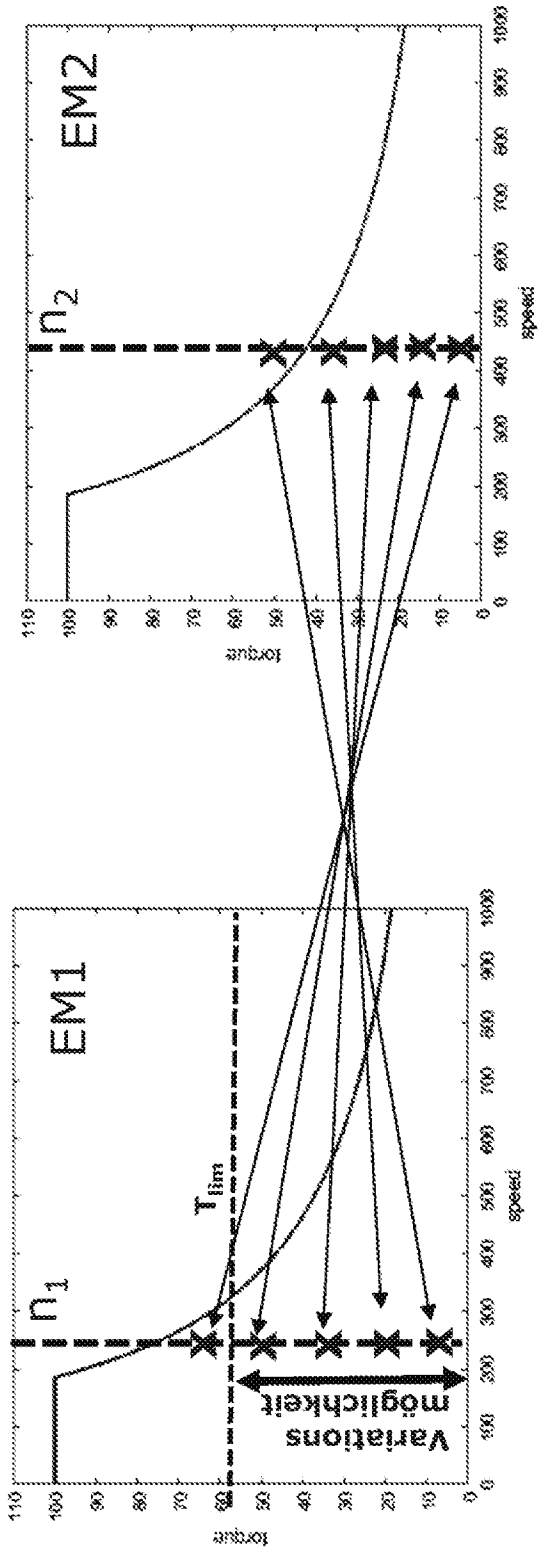

EM2
n_2
torque
speed
EM1
n_1
T_{lim}
Variations
möglichkeit
torque
speed

Fig. 7

8/10

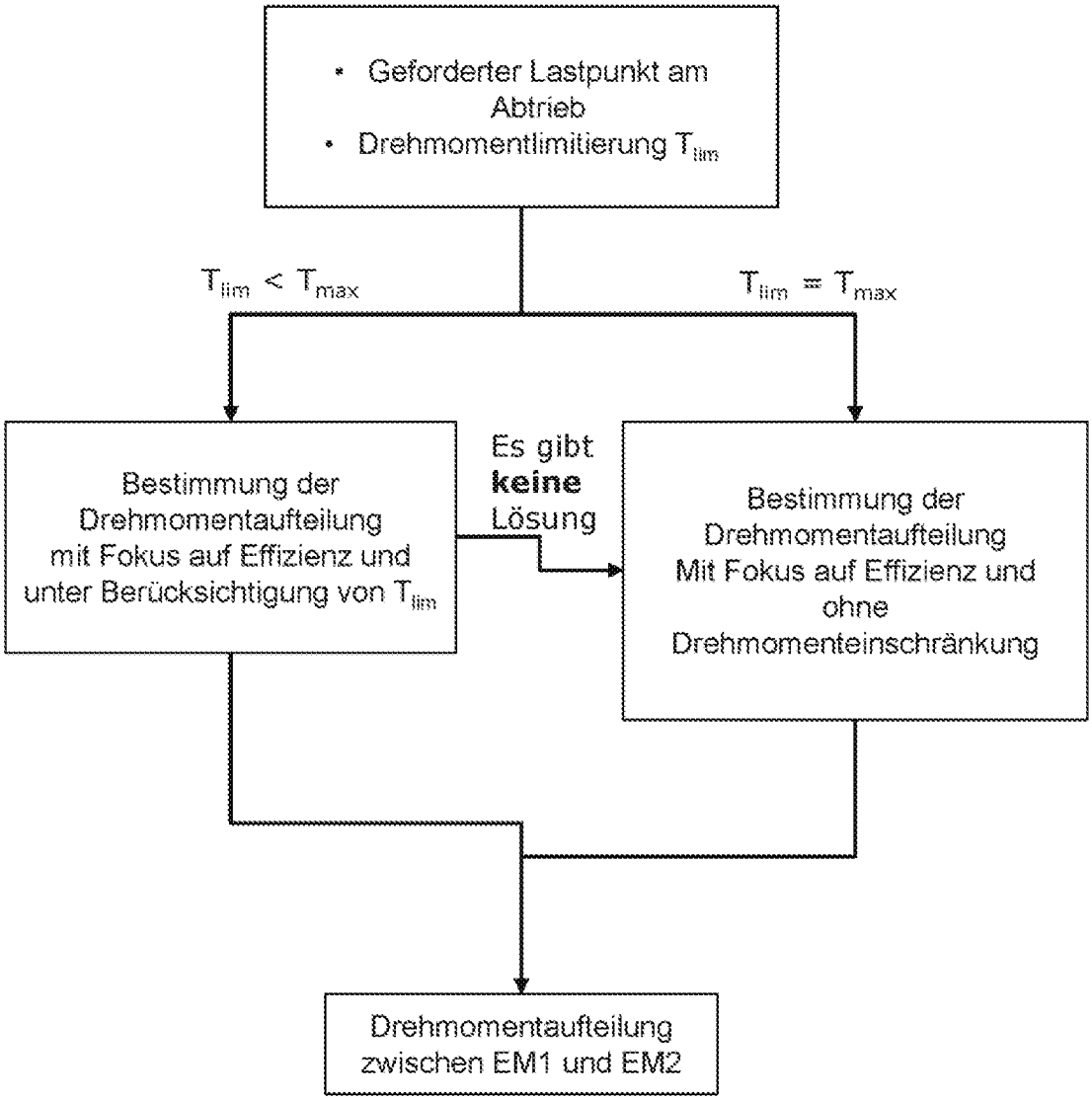

• Geforderter Lastpunkt am Abtrieb
• Drehmomentlimitierung T_{lim}
$T_{lim} < T_{max}$
$T_{lim} = T_{max}$
Bestimmung der Drehmomentaufteilung mit Fokus auf Effizienz und unter Berücksichtigung von T_{lim}
Es gibt **keine** Lösung
Bestimmung der Drehmomentaufteilung Mit Fokus auf Effizienz und ohne Drehmomenteinschränkung
Drehmomentaufteilung zwischen EM1 und EM2

Fig. 8

9/10

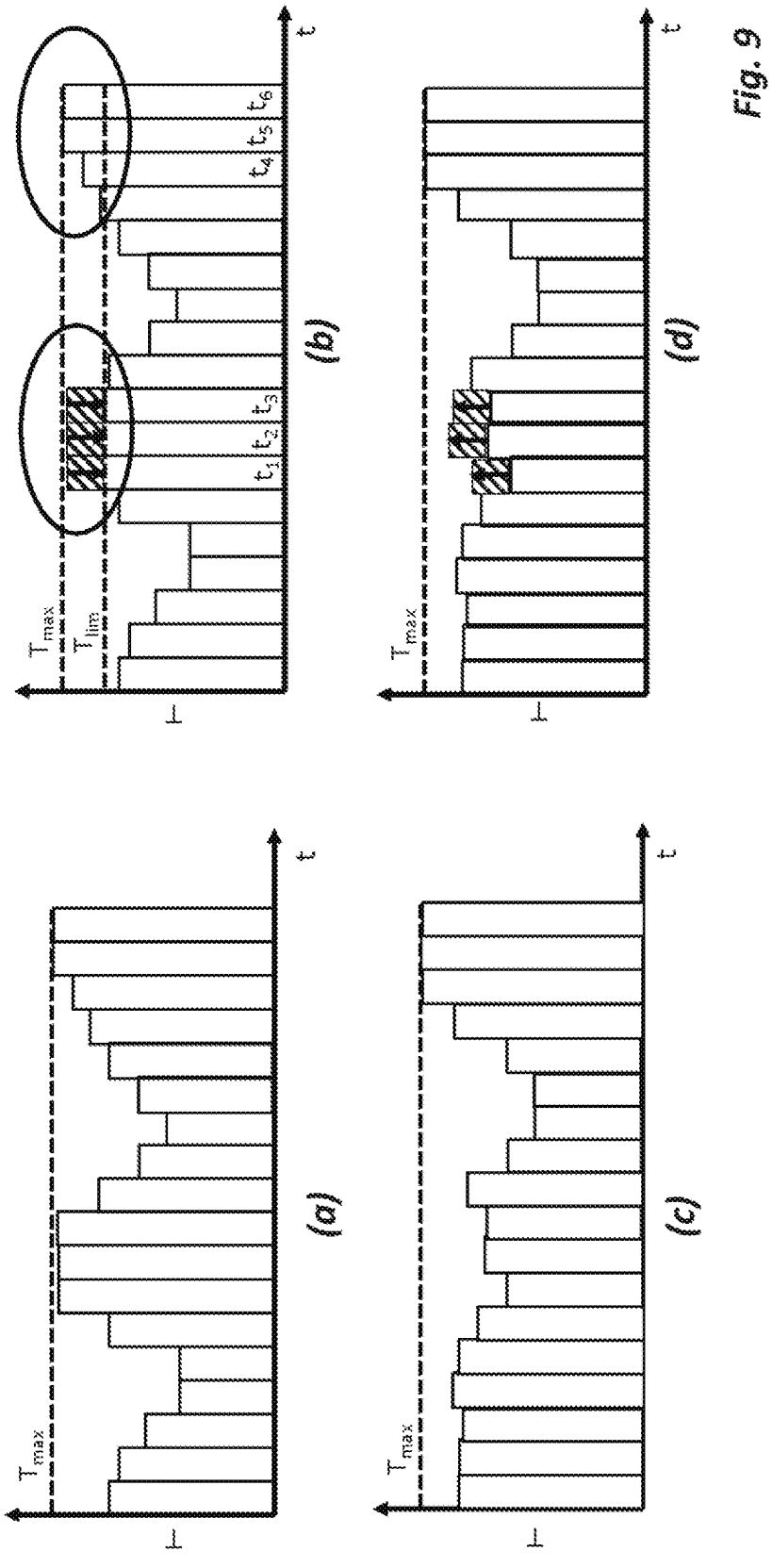


Fig. 9

10/10

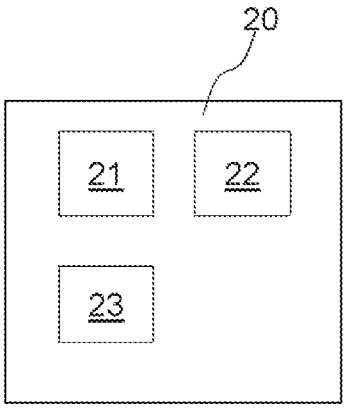


Fig. 10