

(12)

# Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 51012/2021  
(22) Anmeldetag: 16.12.2021  
(45) Veröffentlicht am: 15.02.2025

(51) Int. Cl.: G01R 31/00 (2006.01)  
G01M 15/00 (2006.01)  
G01M 17/00 (2006.01)  
G05B 17/02 (2006.01)  
B60L 50/00 (2019.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
DE 102018200441 A1  
DE 102020201807 A1  
EP 3316477 A1

(73) Patentinhaber:  
AVL List GmbH  
8020 Graz (AT)

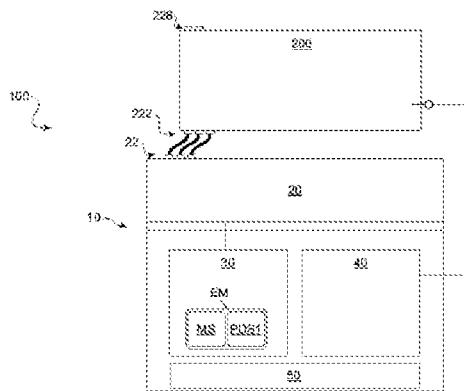
(72) Erfinder:  
SCHMIDT Martin Dr.-Ing.  
63225 Langen (DE)  
DUCHI Francesco Dott. Mag.  
8020 Graz (AT)  
IVARSON Mats  
8111 Judendorf-Straßengel (AT)  
GARCIA DE MADINABEITIA MERINO Iñigo  
8010 Graz (AT)  
GIMPL Matthias  
93047 Regensburg (DE)

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

## (54) Prüfverfahren für ein Prüfen eines Komponentenprüfings einer Komponente eines Elektroantriebs eines Fahrzeugs auf einem Prüfstand

(57) Prüfverfahren zur Prüfung eines Komponentenprüfings (200) einer Komponente eines Elektroantriebs, insbesondere eines Fahrzeugs, auf einem Prüfstand (100), aufweisend die folgenden Schritte:  
– Anschließen des Komponentenprüfings (200) an eine Prüf-Schnittstelle (20) einer Prüfvorrichtung (10),  
– Emulieren eines Elektromotors eines Elektromotortyps mittels der Prüf-Schnittstelle (20) anhand eines mit einem ersten Parameterdatensatz (PDS1) parametrisierten Elektromotormodells (EM) über eine Vielzahl von Betriebspunkten (BP) des Elektromotors,  
– Erfassen von Prüfparametern (PP) des Komponentenprüfings (200) für die Vielzahl der emulierten Betriebspunkte (BP) für den ersten Parameterdatensatz (PDS1),  
– Emulieren eines anderen Elektromotors desselben Elektromotortyps mittels der Prüf-Schnittstelle (20) anhand eines mit einem zweiten Parameterdatensatz (PDS2) parametrisierten Elektromotormodells (EM) über eine Vielzahl von Betriebspunkten (BP) des Elektromotors,

– Erfassen von Prüfparametern (PP) des Komponentenprüfings (200) für die Vielzahl der emulierten Betriebspunkte (BP) für den zweiten Parameterdatensatz (PDS2),  
– Vergleich der erfassten Prüfparameter (PP) mit wenigstens einer Prüfvorgabe (PV).



## Beschreibung

### PRÜFVERFAHREN FÜR EIN PRÜFEN EINES KOMPONENTENPRÜFLINGS EINER KOMPONENTE EINES ELEKTROANTRIEBS EINES FAHRZEUGS AUF EINEM PRÜFSTAND

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Prüfverfahren für ein Prüfen eines Komponentenprüflings einer Komponente eines Elektroantriebs eines Fahrzeugs auf einem Prüfstand, ein Erzeugungsverfahren für ein Erzeugen von Parameterdatensätzen für ein parametrisiertes Elektromotormodell für einen Einsatz in einem solchen Prüfverfahren und eine Prüfvorrichtung zur Durchführung eines solchen Prüfverfahrens.

**[0002]** Es ist bekannt, dass Prüfstände eingesetzt werden, um Komponentenprüflinge von Komponenten von Elektroantrieben eines Fahrzeugs hinsichtlich ihrer Betriebstauglichkeit zu überprüfen. Insbesondere handelt es sich dabei um Komponenten wie eine Umrichtervorrichtung, welche zwischen einer Gleichstromseite und einer Wechselstromseite eine Umrichtfunktionalität gewährleistet. Solche Umrichtervorrichtungen, auch Inverter genannt, dienen dazu, elektrische Leistung von einer Batterievorrichtung zu erhalten und an einen Elektromotor eines Elektroantriebs eines Fahrzeugs weiterzugeben. In umgekehrter Richtung dienen diese Umrichtervorrichtungen dazu, Rekuperationsleistung eines als Generator betriebenen Elektromotors an die Batterievorrichtung zum Einspeichern weiterzuleiten. Aus dem Stand der Technik sind hier beispielsweise die Dokumente DE 102018200441 A1, DE 102020201807 A1 oder EP 3316477 A1 bekannt.

**[0003]** Dadurch, dass die Umrichtervorrichtung als Schnittstelle zwischen der Batterievorrichtung und dem Elektromotor ein entscheidendes elektrisches Bauteil für die Funktionssicherheit, den robusten Betrieb aber auch den Wirkungsgrad des gesamten Elektroantriebs ist, ist hier ein hohes Maß an Qualität und Genauigkeit in der Auslegung notwendig.

**[0004]** Nachteilhaft bei dem bisherigen Vorgehen ist es, dass eine Umrichtervorrichtung auf einem Prüfstand mit einem realen Elektromotor geprüft werden musste. Prüfläufe konnten mit einem realen Elektromotor verschiedene Betriebspunkte und damit ein ganzes Betriebsfeld ab-scanen und somit einen Prüfdurchlauf gewährleisten. In der Realität sind jedoch eine Vielzahl von Fahrzeugen mit diesem Elektromotortyp ausgestattet. Jeder einzelne Elektromotor weist dabei, obwohl er dem gleichen Elektromotortyp angehört, unterschiedliche Feinheiten auf. Diese beruhen insbesondere auf Fertigungstoleranzen, welche sich zum Beispiel in minimalen Abweichungen der geometrischen Korrelationen der einzelnen Bauteile, beispielsweise zwischen dem Rotordurchmesser und dem Statorinnendurchmesser des Elektromotors, darstellen lassen. Neben Fertigungstoleranzen, welche zu Bauteiltoleranzen und Ungenauigkeiten führen, kommen über die Betriebsdauer eines Elektromotors noch Alterungsscheinungen hinzu. In Summe führt dies dazu, dass jeder Elektromotor, obwohl er zu einem gemeinsamen Elektromotortyp gehört, auf Basis seiner Alterungssituation und seiner spezifischen Fertigungstoleranzen einzigartig ist, was sich neben den geometrischen Verhältnisse selbstverständlich auch in den elektrischen Eigenschaften niederschlägt. An einem Prüfstand gemessene Umrichtervorrichtungen sind demnach ausschließlich auf den spezifischen Elektromotor geprüft, welcher in Realität auch am Prüfstand eingesetzt worden ist. Ein Überprüfen einer Vielzahl unterschiedlicher spezifischer Elektromotoren des gleichen Elektromotortyps ist jedoch sehr ineffizient, und kann in der Konstruktion und Auslegung der Komponenten nicht geleistet werden. Dies führt dazu, dass bei der bisherigen Auslegung diese Ungenauigkeit berücksichtigt werden musste, indem die Umrichtervorrichtung entsprechend robuster für alle unterschiedlichen Toleranzfelder ausgebildet werden musste. Für eine Vielzahl von Elektromotoren führte dies zu einem Kompromiss in der Auslegung der Umrichtervorrichtung, sodass nicht der maximale Wirkungsgrad und die minimale Größe der Umrichtervorrichtung erzielt werden konnte.

**[0005]** Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise eine möglichst variable Prüfmöglichkeit für Komponenten eines Elektroantriebs zu schaffen.

**[0006]** Die voranstehende Aufgabe wird gelöst, durch ein Prüfverfahren mit den Merkmalen des

Anspruchs 1, ein Erzeugungsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 11 sowie eine Prüfvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 14. Weitere Merkmale und Details der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, der Beschreibung und den Zeichnungen. Dabei gelten Merkmale und Details, die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Prüfverfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Erzeugungsverfahren sowie der erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

**[0007]** Erfindungsgemäß dient ein Prüfverfahren einem Prüfen eines Komponentenprüflings einer Komponente eines Elektroantriebs, insbesondere eines Fahrzeugs, auf einem Prüfstand. Ein solches Prüfverfahren weist die folgenden Schritte auf:

- Anschließen des Komponentenprüflings an eine Prüf-Schnittstelle einer Prüfvorrichtung,
- Emulieren eines Elektromotors eines Elektromotortyps mittels der Prüf-Schnittstelle anhand eines mit einem ersten Parameterdatensatz parametrisierten Elektromotormodells über eine Vielzahl von Betriebspunkten des Elektromotors,
- Erfassen von Prüfparametern des Komponentenprüflings für die Vielzahl der emulierten Betriebspunkte für den ersten Parameterdatensatz,
- Emulieren eines anderen Elektromotors desselben Elektromotortyps mittels der Prüf-Schnittstelle anhand eines mit einem zweiten Parameterdatensatz parametrisierten Elektromotormodells über eine Vielzahl von Betriebspunkten des Elektromotors,
- Erfassen von Prüfparametern des Komponentenprüflings für die Vielzahl der emulierten Betriebspunkte für den zweiten Parameterdatensatz,
- Vergleich der erfassten Prüfparameter mit wenigstens einer Prüfvorgabe.

**[0008]** Ein erfindungsgemäßes Prüfverfahren dient dazu, einen Komponentenprüfling auf seine Tauglichkeit hinsichtlich eines Einsatzes im Betrieb an einem Elektroantrieb, insbesondere eines Fahrzeugs, zu prüfen. Dabei kann es sich, wie dies später noch erläutert wird, sowohl um eine qualitative, aber auch um eine quantitative Prüfung handeln. Der erfindungsgemäße Kerngedanke beruht darauf, einen virtuellen Teil des Prüfstands mit einem realen Komponentenprüfling zu koppeln. Um diese Kopplung zwischen virtuellem Elektromotormodell und realem Komponentenprüfling zur Verfügung stellen zu können, ist der Prüfstand mit einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung ausgestattet, wie diese später noch näher erläutert wird. Diese Prüfvorrichtung erlaubt einen Anschluss des Komponentenprüflings an eine Prüf-Schnittstelle. Diese Prüf-Schnittstelle ist wiederum in der Lage, eine Emulation eines Elektromotors auf Basis eines parametrisierten Elektromotormodells zu gewährleisten.

**[0009]** Unter einem Fahrzeug sind im Rahmen der vorliegenden Erfindung neben normalen Kraftfahrzeugen und Lastkraftfahrzeugen insbesondere auch Flugzeuge und maritime Fahrzeuge, wie beispielsweise Schiffe, zu verstehen. Auch Leichtkrafträder oder E-Bikes fallen unter diese Definition. Neben einer Anwendung in Fahrzeugen ist der erfindungsgemäße Kerngedanke auch für alle anderen Elektroantriebe einsetzbar. Beispielsweise können auch Komponentenprüflinge für Elektronenantriebe für Klimakompressoren, Stromaggregate oder ähnliches in einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren geprüft werden.

**[0010]** Eine Prüf-Schnittstelle dient im Sinne der vorliegenden Erfindung dem elektrischen Anschluss an den Komponentenprüfling. Neben der elektrischen Anschlussmöglichkeit weist die Prüf-Schnittstelle die notwendigen Elektronikbauteile auf, um das Emulieren des Elektromotors für den angeschlossenen Komponentenprüfling durchzuführen. Eine solche Prüf-Schnittstelle kann auch zumindest teilweise als Prüf-Leistungselektronik ausgebildet sein.

**[0011]** Die Schritte des Erfassens dienen insbesondere der Bedeutung eines Kennfeldes. Dabei sind auch Interpolationen denkbar, um zwischen den explizit erfassten Prüfparametern das Kennfeld durch Interpolation zu füllen.

**[0012]** Das erfindungsgemäß eingesetzte Elektromotormodell ist ein parametrisiertes Simulationsmodell. Darunter ist zu verstehen, dass dieses Elektromotormodell im Wesentlichen zwei Hauptkomponenten aufweist. Zum einen handelt es sich dabei um eine Modellstruktur des Elektromotormodells, welches die physikalischen Zusammenhänge zwischen einzelnen Parametern festlegt. Diese Modellstruktur ist vorgegeben für einen Elektromotortyp. Die einzelne Bedatung, also die Auswahl der Modellparameter, wird als Parameterdatensatz für diese Modellstruktur vorgegeben. Dabei handelt es sich durch den Parameterdatensatz für diesen Elektromotortyp gemäß der Modellstruktur um einen spezifischen Elektromotor dieses Elektromotortyps. Mit anderen Worten spiegelt die Modellstruktur den Elektromotortyp wider, während die Bedatung dieser Modellstruktur in Form der Modellparameter in der Zusammenschau des jeweiligen Parameterdatensatzes einen ganz speziellen Elektromotor dieses Elektromotortyps widerspiegelt und damit sämtliche Toleranzen und Alterungsscheinungen genau dieses spezifischen Elektromotors beinhaltet. Ein anderer spezifischer Elektromotor mit entsprechend anderer Toleranz- und Alterssituation wird durch andere einzelne Werte für die Parameter und damit durch einen eigenen anderen Parameterdatensatz wiedergespiegelt.

**[0013]** Erfindungsgemäß wird nun der Komponentenprüfling mit der Prüf-Schnittstelle der Prüfvorrichtung verbunden, sodass anschließend wenigstens zwei separate Emulierschritte durchgeführt werden. Jeder Emulierschritt wird mit dem Elektromotormodell und damit mit der gleichen Modellstruktur für diesen Elektromotortyp durchgeführt. Jedoch unterscheiden sich die beiden Emulierschritte durch den verwendeten Parameterdatensatz. Hinsichtlich der Bedeutung ist dies so zu verstehen, dass beim ersten Emulierschritt ein erster spezifischer Elektromotor eines Elektromotortyps emuliert wird, während im zweiten Emulierschritt durch die Verwendung eines anderen, zweiten Parameterdatensatzes, ein anderer, zweiter Elektromotor desselben Elektromotortyps emuliert wird. Mit anderen Worten erfolgt ein Emulieren des gleichen Elektromotortyps mit unterschiedlichen Toleranzsituationen und/oder unterschiedlichen Alterungssituationen für den jeweiligen Emulierschritt. Selbstverständlich kann es vorteilhaft sein, nicht nur zwei, sondern eine Vielzahl anderer, beispielsweise 20, 200 oder sogar über 2000 unterschiedliche, Parameterdatensätze durchzuprüfen, um ein möglichst genaues Abbild über ein möglichst breites Varianzspektrum von Toleranzmöglichkeiten und Alterungsmöglichkeiten eines Elektromotors im Prüfverfahren abbilden zu können.

**[0014]** Erfindungsgemäß erfolgt ein Abscannen einer Vielzahl von Betriebspunkten des Elektromotors durch die Emulation mit dem Elektromotormodell. Beispielsweise können für fest eingestellte Betriebspunkte in Form von Drehmoment, Anforderung und Drehzahl eine Vielzahl unterschiedlicher Kombinationen als Betriebspunkte emuliert werden und mithilfe eines Erfassungsmoduls die Prüfparameter für jeden dieser emulierten Betriebspunkte erfasst werden. Die Prüfparameter sind also das Prüfzwischenergebnis für den jeweiligen Parameterdatensatz, sodass für jeden Durchlauf des Emulierens und des Erfassens entsprechend für die durch den jeweiligen Parameterdatensatz spezifisch wiedergespiegelte, spezifische Ausführungsform des Elektromotors dieses Elektromotortyps ein Prüfzwischenergebnis erstellt werden kann. Abschließend, also nach Durchlauf von wenigstens zwei Emulierschritten und Erfassungsschritten, werden alle erfassten Prüfparameter mit wenigstens einer Prüfvorgabe verglichen und vorzugsweise ein später noch näher erläutertes Prüfergebnis ausgegeben. Dieses kann einfach qualitativ ausgestaltet sein und zum Beispiel eine Information über die Funktionalität, also „pass“ oder „no pass“ beinhalten. Selbstverständlich sind auch quantifizierbare Prüfergebnisse durch den quantitativen Vergleich der erfassten Prüfparameter mit ein oder mehreren Prüfvorgaben im Sinne der vorliegenden Erfindung möglich.

**[0015]** Ein wesentlicher Vorteil ist es, dass bei dem erfindungsgemäßen Prüfverfahren eine virtuelle Emulation des Elektromotors mit einem realen Prüfdurchgang kombiniert wird. Dies erlaubt es, insbesondere schneller als bei einem Prüfen mit einem realen Elektromotor gegen eine reale Komponente, eine Variabilität unterschiedlichster Alterungssituationen und Toleranzsituationen durchführen zu können. Darüber hinaus ist man jedoch auch schneller im Vergleich zu einer rein softwarebasierten Lösung, bei welcher auch die Komponente auf einem Simulationsmodell basieren würde. Insbesondere aufgrund der Tatsache, dass viele Schaltvorgänge, Messvorgänge

und Ähnliches innerhalb kürzester Zeitspannen simuliert werden müssen, würde dies bei einer Software zu Software Simulation, also einer rein virtuellen Prüfung, deutlich länger dauern, als in Echtzeit benötigt wird. Die Kombination eines virtuellen Teils durch die Emulierschritte und eines realen Teils durch den realen Komponentenprüfing bringt also eine optimierte Lösung hinsichtlich Genauigkeit und Zeitbedarf für den Prüfvorgang mit sich.

**[0016]** Ebenfalls vorteilhaft ist es, dass hier keine Temperaturkompensation notwendig ist. Im Betrieb mit einem realen Elektromotor müsste dieser sich einschwingen, also je nach Lastsituation abgewartet werden, bis sich ein Temperaturgleichgewicht einstellt. Dieses Abwarten als Haltezeit oder Einschwingzeit ist bei einem virtuellen Emulieren mithilfe des Elektromotormodells nicht notwendig, sodass hier ein zusätzlicher Zeitvorteil erzielt werden kann.

**[0017]** Vorteile bringt es mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren für die Schritte des Emulierens und des Erfassens für alle Parameterdatensätze die gleichen oder im Wesentlichen die gleichen Betriebspunkte verwendet werden. Mit anderen Worten wird für die Betriebspunkte ein Betriebsbereich definiert, um für minimale Drehmoment- und/oder Drehzahlanforderungen bis zu maximaler Drehmoment- und/oder Drehzahlanforderungen mit gegebener Schrittweite möglichst exakt alle möglichen Betriebssituationen für die Umrichtervorrichtung im Prüfdurchlauf abzudecken. Dieser Betriebsbereich, welcher durch die einzelnen Betriebspunkte definiert und aufgespannt wird, wird vorzugsweise für alle Parameterdatensätze gleich gelassen. Dies gilt insbesondere auch für die Reihenfolge in der diese Betriebspunkte durchgeprüft werden. Dies erhöht die Vergleichbarkeit der Prüfparameter für die unterschiedlichen Parameterdatensätze und erlaubt damit eine genauere Aussage auf Basis des Vergleichs mit der wenigstens einen Prüfvorgabe. Alternativ oder zusätzlich zu gleichen oder im Wesentlichen gleichen Betriebspunkten erfolgt das Emulieren und Erfassen vorzugsweise für gleiche oder im Wesentlichen gleiche Kennfelder. Dabei können auch unterschiedliche Betriebspunkte erfasst werden, um anschließend durch Interpolation wieder gleiche oder im Wesentlichen gleiche Kennfelder für eine bessere Vergleichbarkeit aufzuspannen.

**[0018]** Ebenfalls vorteilhaft ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren der Wechsel vom ersten Parameterdatensatz auf den zweiten Parameterdatensatz erfolgt, nachdem die Vielzahl der Betriebspunkte für den ersten Parameterdatensatz vollständig oder im Wesentlichen vollständig emuliert worden ist. Beim Durchlauf und der Kontrolle eines Emulierschrittes ist es relativ einfach, unterschiedliche Betriebspunkte zu variieren. Dies geschieht im Wesentlichen ähnlich einem normalen Betrieb des Komponentenprüfings, insbesondere einer Umrichtervorrichtung, sodass einfach unterschiedliche Strom- und Spannungsvorgaben zum Widerspiegeln unterschiedlicher Betriebspunkte angesetzt werden. Ein Wechsel des Parameterdatensatzes entspricht einem virtuellen Wechsel von einem spezifischen Elektromotor des Elektromotortyps zu einem anderen spezifischen Elektromotor desselben Elektromotortyps. Hier ist insbesondere eine Unterbrechung der Leistungsabgabe und Umsetzung des Komponentenprüfings vorteilhaft. Dadurch, dass zuerst sämtliche Betriebspunkte für einen Parameterdatensatz abgearbeitet und emuliert werden und erst danach das Umschalten auf den nächsten, zweiten Parameterdatensatz erfolgt, wird die Gesamtzeit für den Durchlauf für alle Parameterdatensätze weiter reduziert. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn nicht nur zwei, sondern eine Vielzahl von mehreren Hundert oder sogar mehreren Tausend unterschiedlicher Parameterdatensätzen in einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren durchlaufen werden sollen.

**[0019]** Ebenfalls von Vorteil kann es sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs ein Prüfergebnis ausgegeben wird. Wie bereits angesprochen, kann es sich dabei um ein rein qualitatives Ergebnis, also beispielsweise „pass“ oder „no pass“ handeln. Jedoch können auch quantitative Aussagen, also ein Abstand zu einer oder mehreren Prüfvorgaben beinhaltet sein. Zusätzlich kann ein solches Prüfergebnis auch einen Hinweis für die später noch näher erläuterte Optimierung geben, also beispielsweise eine Optimierungsanforderung an eine Kennfeldoptimierung und/oder sogar an eine physische Optimierung geben.

**[0020]** Weitere Vorteile bringt es mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren nach jedem Schritt des Emulierens und/oder während jedem Schritt des Emulierens direkt die

erfassten Prüfparameter mit wenigstens einer Prüfvorgabe verglichen werden und insbesondere bei einem Verfehlten der Prüfvorgabe das Prüfverfahren abgebrochen wird. Insbesondere dann, wenn Grenzwerte als Prüfvorgaben für Prüfparameter vorgesehen sind, kann es notwendig sein, dass der Komponentenprüfling für alle Parameterdatensätze alle Prüfvorgaben einhält. Überschreitet und verfehlt damit ein einziger Prüfparameter bei einem einzigen Parameterdatensatz diese Prüfvorgabe, so ist dieser Komponentenprüfling als nicht geeignet anzusehen. Ein weiteres Prüfen führt demnach nicht zu einem weiteren Erkenntnisgewinn, da selbst bei einer vollständigen Erfüllung aller anderen Prüfvorgaben dieser Komponentenprüfling als nicht tauglich eingestuft werden würde. Der Vergleich bereits während dem Emulieren oder direkt nach jedem Schritt des Emulierens, erlaubt es also, ein Zwischen-Abbruchkriterium zur Verfügung zu stellen, um als nicht tauglich definierte Komponentenprüflinge bereits vor Ablauf aller weiteren Emulierschritte für alle Parameterdatensätze das Prüfverfahren zu beenden. Nicht notwendiges weiteres Prüfen wird dadurch vermieden.

**[0021]** Weitere Vorteile kann es mit sich bringen, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren auf Basis der direkt erfassten Prüfparameter eine Anpassung der Reihenfolge der zu emulierenden Betriebspunkte und/oder der Auswahl des zweiten Parameterdatensatzes erfolgt. Dieser Schritt kann als aktiver Einfluss auf den Ablauf des Prüfverfahrens verstanden werden. Insbesondere kann dies als sogenanntes Design of Experiment bezeichnet werden. Mit anderen Worten können direkt erfasste Prüfparameter im Vergleich zur Prüfvorgabe einen Hinweis geben, ob beispielsweise die Prüfparameter sich von einer Prüfvorgabe in positiver Richtung beabstanden, also mit immer höherer Sicherheit in dieser Veränderungsrichtung die Prüfvorgabe erfüllt wird. Dies kann dazu führen, dass nun in der entgegengesetzten Veränderungsrichtung die Prüfparameter erfasst werden, indem gezielt Betriebspunkte ausgewählt werden, welche auf Basis des bisherigen Prüfverlaufs als möglicherweise riskante Betriebspunkte hinsichtlich der Erfüllung der Prüfvorgabe verstanden werden. Zusätzlich oder alternativ kann auch ein zweiter Parameterdatensatz so ausgewählt werden, dass er als möglichst risikanter Parameterdatensatz ausgewählt wird, um insbesondere bei einem Zwischen-Abbruchkriterium, wie es weiter oben erläutert worden ist, dieses möglichst früh zu erreichen, um weiteren unnötigen Prüfdurchlauf zu verhindern.

**[0022]** Darüber hinaus von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren als Prüfparameter wenigstens einer der folgenden erfasst wird:

- Drehmoment,
- Drehzahl,
- Prüfstrom zwischen einem Leistungseingang und einem Gegen-Leistungsausgang,
- Prüfspannung zwischen einem Leistungseingang und einem Gegen-Leistungsausgang,
- Prüfleistung zwischen einem Leistungseingang und einem Gegen-Leistungsausgang,
- Prüfarbeit zwischen einem Leistungseingang und einem Gegen-Leistungsausgang,
- Batteriestrom zwischen einem Versorgungsanschluss und einem Gegen-Versorgungsanschluss,
- Batteriespannung zwischen einem Versorgungsanschluss und einem Gegen-Versorgungsanschluss,
- Batterieleistung zwischen einem Versorgungsanschluss und einem Gegen-Versorgungsanschluss,
- Batteriearbeit zwischen einem Versorgungsanschluss und einem Gegen-Versorgungsanschluss,
- Emulierte mechanische Leistung,
- Wirkungsgrad.

**[0023]** Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Bevorzugt werden kombiniert zwei oder mehr Prüfparameter überwacht, sodass im Wesentlichen

eine beliebig komplexe Prüfsituation und vor allem auch Prüfvorgabesituation mit einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren abgedeckt werden kann. Insbesondere dann, wenn ein erfindungsgemäße Prüfverfahren bei einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung mit einer Leistungsversorgung angewendet wird, sind die auf eine Batterievorrichtung bezogenen Prüfparameter anwendbar. Eine solche Leistungsversorgung kann dabei eine Batterievorrichtung aufweisen oder andere technische Mittel, um eine elektrische Leistungsversorgung für den Prüfling zur Verfügung zu stellen und eine reale Leistungsversorgung zu simulieren. Für Ausführungsformen zur Simulation anderer realer Gegebenheiten mit anderen Leistungsversorgungen, wie beispielsweise Super Kondensatoren, sogenannten Super-Caps, Brennstoffzellensystem oder Ähnlichem kann ganz allgemein auch ein Versorgungsstrom, eine Versorgungsspannung, eine Versorgungsleistung und/oder eine Versorgungsarbeit zwischen einem Versorgungsanschluss und einem Gegen-Versorgungsanschluss als Prüfparameter erfasst werden.

**[0024]** Weiter von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren für das Umschalten des Emulierens von dem ersten Parameterdatensatz auf den zweiten Parameterdatensatz der Anschluss an den Komponentenprüfling lastfrei oder im Wesentlichen lastfrei geschaltet wird. Wie bereits erläutert worden ist, gleicht das Umschalten zwischen Parameterdatensätzen einem Austausch von Elektromotoren am Prüfstand. Um unerwünschte elektrische Situationen, Überspannungen oder elektrische Lastspitzen zu vermeiden, kann dieses nun virtuell gestaltete Umschalten zwischen den Parameterdatensätzen vorzugsweise ebenfalls frei oder im Wesentlichen frei von elektrischer Last am Komponentenprüfling durchgeführt werden. Dies geschieht insbesondere im Millisekundenbereich, um die dadurch entstehende Umschaltzeit ebenfalls so gering wie möglich zu halten.

**[0025]** Darüber hinaus ist es von Vorteil, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren auf Basis des Vergleichs der erfassten Prüfparameter mit der wenigstens einen Prüfvorgabe eine Optimierung des Komponentenprüflings durchgeführt wird. Ein solcher Vergleich erlaubt also eine Anschlussoptimierung und kann beispielsweise softwareseitig Kontrollkennfelder des Komponentenprüflings gezielt so anpassen, dass bei einem weiteren Durchlauf des Prüfverfahrens die Qualität der Prüfparameter sich verbessert und die Prüfvorgabe erfüllt. Wie ebenfalls bereits erläutert worden ist, kann ein Prüfergebnis durch den Vergleich mit der Prüfvorgabe auch einen Hinweis auf eine externe Optimierungsschleife, also beispielsweise eine physische Optimierung durch Austausch von einzelnen Bauteilen an dem Komponentenprüfling, erzielt werden. Nicht zuletzt wird es hier auch möglich, bewusst unterschiedliche Optimierungsprioritäten und/oder Optimierungsziele zu setzen. Beispielsweise kann der Wirkungsgrad, die Genauigkeit des erzielten Drehmoments oder aber eine Reichweitenfunktion eine unterschiedliche Optimierungspriorität darstellen.

**[0026]** Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Erzeugungsverfahren für ein Erzeugen von Parameterdatensätzen für ein parametrisiertes Elektromotormodell für einen Einsatz in einem erfindungsgemäßen Prüfverfahren. Ein solches Erzeugungsverfahren weist die folgenden Schritte auf:

- Zurverfügungstellen einer parametrisierten Modellstruktur des Elektromotormodells für einen spezifischen Elektromotortyp,
- Zurverfügungstellen eines ersten Konstruktionsdatensatzes für den spezifischen Elektromotortyp,
- Bestimmen von Modellparametern für die parametrisierte Modellstruktur, welche den zur Verfügung gestellten ersten Konstruktionsdatensatz ergeben,
- Speichern der bestimmten Modellparameter als erster Parameterdatensatz,
- Zurverfügungstellen eines zweiten Konstruktionsdatensatzes für denselben spezifischen Elektromotortyp,
- Bestimmen von Modellparametern für die parametrisierte Modellstruktur, welche den zur Verfügung gestellten zweiten Konstruktionsdatensatz ergeben,

- Speichern der bestimmten Modellparameter als zweiter Parameterdatensatz.

**[0027]** Ein erfindungsgemäßes Erzeugungsverfahren basiert auf dem Zurverfügungstellen einer Modellstruktur in parametrisierter Weise. Diese Modellstruktur beinhaltet, wie dies bereits erläutert worden ist, physikalische Zusammenhänge spezifisch für einen Elektromotortyp. Die Modellstruktur sieht also beispielsweise für einen Synchronmotor anders aus als für einen Asynchronmotor. Um nun unterschiedliche Toleranzzustände und Alterungszustände in unterschiedlicher Weise in diese Modellstruktur implementieren zu können, sind unterschiedliche Bedatungsmöglichkeiten als Parameterdatensätze notwendig. Diese müssen selbstverständlich auch auf realen Toleranzsituationen und/oder Alterungssituationen des Elektromotortyps beruhen.

**[0028]** Um diesen Realitätsbezug zu gewährleisten, werden erfindungsgemäß Konstruktionsdatensätze zur Verfügung gestellt. Ein Konstruktionsdatensatz ist zum Beispiel eine Rückmeldung aus der realen Vermessung eines Elektromotors. Dies kann an einem physisch vorhandenen Elektromotor, aber auch aus einem virtuell überprüften Elektromotor, geschehen. So können reale Elektromotoren vermessen werden. Auch Toleranzvorgaben und damit Toleranzbereiche können als Konstruktionsdatensätze eine Vorgabe bilden. Gleichermaßen gilt auch für die später noch näher erläuterten Materialinformationen, Ergebnisse aus Finite-Elemente-Methode (FEM)-Rechnungen oder Ähnlichem. Im Ergebnis wird nun die Modellstruktur so bedatet, dass die eingesetzten Daten als Modellparameter den zur Verfügung gestellten ersten Konstruktionsdatensatz beim Durchlauf der parametrisierten Modellstruktur ergeben. Mit anderen Worten erfolgt ein Rückschluss von dem Ergebniswunsch des ersten Konstruktionsdatensatzes auf die dafür notwendige Bedatung in Form der Parametrisierung mit entsprechenden Modellparametern. Für diesen Konstruktionsdatensatz ist also ein definierter erster Parameterdatensatz notwendig, um mit dessen Bedatung die Parametrisierung der Modellstruktur zu einem ersten Konstruktionsdatensatz zu führen. Dies wird so häufig durchgeführt, dass für eine Vielzahl von Konstruktionsdatensätzen nun vorzugsweise eine Datenbank mit einer gleichen Vielzahl von Parameterdatensätzen erstellt werden kann. Es ist noch darauf hinzuweisen, dass die Modellstruktur möglichst robust ausgebildet ist, insbesondere hinsichtlich auftretender Mess- und oder Regellatenz. Diese Modellstruktur basiert insbesondere auf dem Wissen und dem Können der Prüfingenieure, welche die Zusammenhänge auf Basis ihrer bisherigen Erfahrung und/oder Einsätzen auf realen Prüfständen mitbringen.

**[0029]** Selbstverständlich sind neben konstruktiv oder bereits vorhandenen Konstruktionsdatensätzen auch virtuelle Konstruktionsdatensätze möglich. So kann beispielsweise auf Basis von Fertigungstoleranzen als Fertigungsvorgabe eine Vielzahl von zwischen den Toleranzgrenzen liegenden Konstruktionsdatensätzen virtuell erzeugt werden und damit ebenfalls in der Lage sein, Parameterdatensätze zu erzeugen.

**[0030]** Es kann vorteilhaft sein, wenn bei einem erfindungsgemäßem Erzeugungsverfahren als Konstruktionsdaten wenigstens eine der folgenden Datenarten verwendet wird:

- CAD-Daten eines Elektromotors,
- FEM-Daten eines Elektromotors,
- Simulationsdaten einer Strömungssimulation eines Elektromotors,
- Reale Messdaten eines Elektromotors,
- Materialdaten,
- Toleranzvorgaben,
- Simulationsdaten einer Magnetfeldsimulation,
- Simulationsdaten einer Magnetkreissimulation,
- Simulationsdaten einer mechanischen Simulation, insbesondere einer Simulation der Biegekritischen,
- Simulationsdaten einer Kühlungssimulation,

- Simulationsdaten einer Temperatursimulation, insbesondere im Rotor und/oder im Stator.

**[0031]** Bei der voranstehenden Aufzählung handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Selbstverständlich können auch komplexe Konstruktionsdaten in kombinierter Weise unterschiedliche Datenarten aufweisen. Die Datenarten sind vorzugsweise relativiert durch die jeweils vorhandene Messgenauigkeit, insbesondere bei real vorhandenen Messdaten. Unter CAD Daten sind Daten zu verstehen, welche aus einer CAD (Computer Aided Design) Software stammen. Unter FEM Daten sind Daten zu verstehen, welche aus einer FEM (Finite Elemente Methode) Software stammen.

**[0032]** Weiter von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Erzeugungsverfahren nach einer Speicherung der Modellparameter wenigstens einer der Parameterdatensätze gegen einen realen Elektromotor verifiziert wird. Dies erlaubt es, das Elektromotormodell hinsichtlich seiner Struktur und/oder hinsichtlich seiner Parameterdatensätze zu verifizieren und damit eine Qualitätsabsicherung für die nachfolgenden Einsätze an einem Prüfverfahren zu gewährleisten. Eine solche Verifizierung kann auch Feedback als Verifizierungsfehler in den Parameterdatensatz und/oder die Modellstruktur zurückspiegeln.

**[0033]** Ebenfalls vorteilhaft ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Prüfungsverfahren die Auswahl des ersten Parameterdatensatzes und die Auswahl des zweiten Parameterdatensatzes und/oder die Parametrisierung des Elektromotormodells mit dem ersten Parameterdatensatz und mit dem zweiten Parameterdatensatz automatisch oder im Wesentlichen automatisch erfolgt. Für die automatisierte Auswahl kann zum Beispiel eine Variationsautomatik verwendet werden, welche die unterschiedlichen Parameterdatensätze auswählt und damit die Variation zwischen den aufeinander folgenden Prüfläufen automatisch erzeugt. Für die automatisierte Parametrisierung kann beispielsweise eine Betriebsautomatik verwendet, um das Elektromotormodell mit dem ausgewählten Parameterdatensatz zu bedienen und insbesondere anschließend auch das Emulieren durchzuführen. Bevorzugt werden beide Schritte, also die Auswahl und die Parametrisierung automatisiert durchgeführt, so dass die Prüfläufe für alle gewünschten Variationen des Elektromotormodells ohne manuellen Eingriff oder im Wesentlichen ohne manuellen Eingriff durchlaufen können.

**[0034]** Darüber hinaus ist ein Gegenstand der vorliegenden Erfindung eine Prüfvorrichtung für die Durchführung eines Verfahrens eines Prüfverfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung. Eine solche Prüfvorrichtung weist eine Prüf-Schnittstelle für ein Emulieren eines Elektromotors auf Basis eines parametrisierten Elektromotormodells auf.

**[0035]** Darüber hinaus ist ein Emuliermodul für das Durchführen des Emulierens sowie ein Erfassungsmodul für ein Erfassen der Prüfparameter vorgesehen. Das Emuliermodul und das Erfassungsmodul sind ausgebildet für die Durchführung eines erfindungsgemäßen Prüfverfahrens. Bei dem Elektromotormodell handelt es sich vorzugsweise um eines, welches mithilfe eines erfindungsgemäßen Erzeugungsverfahrens erzeugt worden ist. Eine solche Prüfvorrichtung bringt damit die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Prüfverfahren sowie ein erfindungsgemäßes Erzeugungsverfahren erläutert worden sind. Die Prüf-Schnittstelle ist dabei vorzugsweise möglichst minimal ausgebildet und insbesondere frei von Widerständen oder ähnlichen aufwendigen elektrischen Einbauten ausgebildet. Die Maximierung der Leistungselektronik und damit die Minimierung anderer elektrischer Bauteile führt dazu, dass Messungenauigkeiten durch das Mitmessen der Prüf-Schnittstelle beim Erfassen der Prüfparameter minimiert werden.

**[0036]** Es kann von Vorteil sein, wenn bei einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung diese ein Kontrollmodul für wenigstens einen der folgenden Schritte aufweist:

- Variieren der verwendeten Parameterdatensätze,
- Kontrolle einer Leistungsversorgung für den Komponentenprüfling,
- Vorgabe von Betriebspunkten für das Emulieren.

**[0037]** Auch hierbei handelt es sich um eine nicht abschließende Liste. Das Variieren der Para-

meterdatensätze erfolgt insbesondere durch Auswahl von Parameterdatensätzen aus einer Datenbank für Parameterdatensätze. Ist eine Leistungsversorgung für den Komponentenprüfing vorgesehen, so stellt diese zum Beispiel eine Simulation einer Batterievorrichtung dar. Diese kann Teil der Prüfvorrichtung sein und eine Kontrolle derselben ermöglichen. Nicht zuletzt werden für jeden Emulierschritt alle Betriebspunkte ebenfalls vorzugsweise von einem solchen Kontrollmodul vorgegeben. Dies kann für verschiedene Betriebsbereiche, aber auch für das Darstellen von Fahrprofilen oder Fahrstrecken, gelten.

**[0038]** Weitere Vorteile kann es mit sich bringen, wenn bei einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung die Prüf-Schnittstelle eine Mehrzahl von Leistungseingängen pro elektrischer Phase aufweist, für einen elektrischen Anschluss an Leistungsausgänge des Komponentenprüflings. Ein multiples Vorsehen von mehreren Leistungseingängen pro elektrischer Phase kann die Realität am besten widerspiegeln. Um eine möglichst robuste technische Ausgestaltung für Fahrzeugantriebe zu schaffen, sind die einzelnen Phasen der Elektroantriebe häufig redundant und damit doppelt oder dreifach ausgelegt. Die entsprechende Abbildung von mehreren Leistungseingängen bildet diese Realität ab. Nicht zu nutzende Phasen können vorzugsweise mit einem Schalter abgeschaltet werden, sodass diese Prüfvorrichtung noch flexibler und universeller einsetzbar ist.

**[0039]** Ebenfalls kann es Vorteile mit sich bringen, wenn bei einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung die Prüf-Schnittstelle wenigstens eine Signalschnittstelle für eine signalkommunizierende Verbindung mit einer Gegen-Signalschnittstelle des Komponentenprüflings aufweist. Häufig sind Komponentenprüflinge mit einer Signalverbindung zum Elektromotor ausgebildet, um von diesem Signale zu empfangen oder an diesen Signale zu senden. Um die Simulationssituation aus Sicht des Komponentenprüflings möglichst realitätsnah auszubilden, kann auch eine solche Signalkommunikation durch die signalkommunizierende Verbindung zwischen Signalschnittstelle und Gegen-Signalschnittstelle nachgebildet werden. Selbstverständlich können auch zwei oder mehr dieser signalkommunizierenden Verbindungen vorgesehen sein.

**[0040]** Darüber hinaus kann es vorteilhaft sein, wenn bei einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung zusätzlich eine kontrollierbare Leistungsversorgung mit einem Versorgungsanschluss für einen elektrischen Anschluss an einen Gegen-Versorgungsanschluss des Komponentenprüflings vorgesehen ist. Dabei kann es sich um einen zusätzlichen Versorgungsanschluss handeln, welcher zum Beispiel an einer externen Leistungsquelle angeschlossen sein kann. Jedoch kann die Leistungsquelle auch Teil der Prüfvorrichtung sein. In allen Fällen ist vorzugsweise eine galvanische Trennung zwischen der Leistungsversorgung und der Prüf-Schnittstelle vorgesehen, um eine möglichst geringe Querbeeinflussung beim Durchlauf der Prüfvorgänge zu erzielen.

**[0041]** Ebenfalls von Vorteil ist es, wenn bei einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung die Prüf-Schnittstelle wenigstens eine Schaltvorrichtung zum elektrischen Schalten eines Anschlusses an den Komponentenprüfing aufweist, insbesondere eine Vielzahl von Schaltvorrichtungen zum Schalten aller Anschlüsse an den Komponentenprüfing. Dies erlaubt eine reale mechanische Trennbarkeit der elektrischen Korrelationen, sodass insbesondere auch reale Fehlerfälle nachgebildet werden können. Für den Fall eines Austausches des Komponentenprüflings kann hier darüber hinaus eine elektrisch sichere Situation geschaffen werden, um ohne Kurzschlussrisiko unterschiedliche Komponentenprüflinge nacheinander auf dem Prüfstand anzuordnen.

**[0042]** Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in der unter Bezugnahme auf die Zeichnungen Ausführungsbeispiele der Erfindung im Einzelnen beschrieben sind. Dabei können die in den Ansprüchen und in der Beschreibung erwähnten Merkmale jeweils einzeln für sich oder in beliebiger Kombination erfindungswesentlich sein. Es zeigen schematisch:

**[0043]** Fig. 1 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung,

**[0044]** Fig. 2 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Prüfvorrichtung bei einem ersten Emulierschritt,

**[0045]** Fig. 3 die Ausführungsform der Figur 2 in einem zweiten Emulierschritt,

**[0046]** Fig. 4 ein erster Schritt eines erfindungsgemäßen Erzeugungsverfahrens,

**[0047]** Fig. 5 ein weiterer Schritt eines erfindungsgemäßen Erzeugungsverfahrens,

**[0048]** Fig. 6 ein weiterer Schritt eines erfindungsgemäßen Erzeugungsverfahrens,

**[0049]** Fig. 7 ein weiterer Schritt eines erfindungsgemäßen Erzeugungsverfahrens,

**[0050]** Fig. 8 eine mögliche Auswahl von unterschiedlichen Parameterdatensätzen.

**[0051]** Die Figur 1 zeigt schematisch eine Möglichkeit einer Prüfvorrichtung 10 für einen Prüfstand 100. Diese Prüfvorrichtung 10 weist zwei Hauptkomponenten auf. Dabei handelt es sich zum einen um den virtuellen Teil, welcher in Form eines Emuliermoduls 30, zum Beispiel in Form eines Computerprogramms, ein Elektromotormodell EM aufweist. Real ist zumindest eine Prüf-Schnittstelle 20 vorgesehen, welche über einen Leistungseingang 22 mit einem entsprechenden Leistungsausgang 222 des Komponentenprüflings 200 verbindbar ist. Um nun ein Prüfverfahren durchlaufen zu lassen, wird mithilfe des Emuliermoduls 30 das Elektromotormodell EM mit seiner Modellstruktur MS und seinem hier dargestellten ersten Parameterdatensatz PDS1 über die Prüf-Schnittstelle 20 emuliert. Im Ergebnis stellt dies eine emulierte Last für den Inverter oder Umrichter als Komponentenprüfling 200 dar. Während nun zum Beispiel mithilfe des Kontrollmoduls 50 der Komponentenprüfling 200 unterschiedliche Betriebspunkte BP anfährt, werden über diesen Durchlauf mithilfe des Erfassungsmoduls 40 Prüfparameter PP erfasst und gespeichert. Diese Prüfparameter PP werden insbesondere später noch mit den Figuren 2 und 3 näher erläutert. Darüber hinaus ist in der Figur 1 gut zu erkennen, dass für die Leistungsversorgung des Komponentenprüflings 200, dieser mit einem Gegen-Versorgungsanschluss 226 ausgebildet ist, welcher an eine externe Leistungsversorgung angeschlossen werden kann.

**[0052]** Die Figuren 2 und 3 zeigen zwei mögliche Schritte eines erfindungsgemäßen Prüfverfahrens. Hier ist wieder ausgegangen von einer Prüfvorrichtung gemäß der Figur 1. Diese wurde hier jedoch ergänzt um eine zusätzliche redundante Auslegung der Phasen an den Leistungseingängen 22 und den Leistungsausgängen 222. Darüber hinaus ist eine Signalkommunikation zwischen einer Signalschnittstelle 24 der Prüfvorrichtung 10 und einer Gegen-Signalschnittstelle 224 des Komponentenprüflings 200 vorgesehen. Nicht zuletzt ist hier eine galvanisch von der Leistungselektronik 20 getrennte Leistungsversorgung 60 vorgesehen, welche über einen Versorgungsanschluss 26 eine elektrische Leistung den Gegen-Versorgungsanschlüssen 226 des Komponentenprüflings 200 zur Verfügung stellen kann.

**[0053]** Für den Durchlauf des Prüfverfahrens wird gemäß der Figur 1 nun eine Vielzahl von Betriebsparametern BP von der Kontrollvorrichtung 50 vorgegeben. Mit anderen Worten werden unterschiedliche Drehmoment- und Drehzahlkombinationen an dem Komponentenprüfling 200 angelegt und die Reaktion des Elektromotors mithilfe des Elektromotormodells unter einer parametrischen Bedatung mit einem ersten Parameterdatensatz PDS1 durchgeführt. Für diesen ganzen Betriebsbereich, also alle Betriebspunkte BP, erfolgt ein Erfassen der Prüfparameter PP. Diese können direkt während der Erfassung, aber auch im Anschluss an diesen Emulierschritt, oder am Ende des Prüfverfahrens mit wenigstens einer Prüfvorgabe PV verglichen werden und insbesondere das Vergleichsergebnis als Prüfergebnis PE ausgegeben werden.

**[0054]** Sobald alle Betriebspunkte BP des ersten Betriebsbereichs für den ersten Parameterdatensatz PDS1 durchgeprüft worden sind, kann der Komponentenprüfling 200 kurzfristig lastfrei oder im Wesentlichen lastfrei geschaltet werden. Für diesen lastfreien Übergangszeitraum kann nun das Emuliermodul 30 einen Wechsel des Parameterdatensatzes PDS von dem ersten Parameterdatensatz PDS1 auf einen zweiten Parameterdatensatz PDS2 gemäß der Figur 3 durchführen. Im Anschluss werden vorzugsweise die identischen Betriebspunkte BP wieder vorzugsweise auch in gleicher Reihenfolge vom Kontrollmodul 50 durchgeprüft, sodass nun die Prüfparameter PP in gleicher Weise wie beim ersten Emulierdurchlauf erfasst werden können, wobei jedoch die tatsächlichen Werte der Prüfparameter PP sich vom ersten Durchlauf unterscheiden, da das Emulierergebnis aufgrund eines anderen Parameterdatensatzes PDS, hier dem zweiten Parameterdatensatz PDS2, ein anderes ist. Somit wird auch der Vergleich der Prüfparameter PP mit der wenigstens einen Prüfvorgabe PV und entsprechend das Prüfergebnis PE anders ausfallen als beim Durchlauf gemäß der Figur 2. Selbstverständlich können eine Vielzahl weiterer

Durchläufe mit weiteren anderen Parameterdatensätzen PDS anschließend durchgeführt werden.

**[0055]** Die Figuren 4, 5, 6 und 7 zeigen eine Möglichkeit, Parameterdatensätze PDS zu erzeugen. Dabei wird in einem ersten Schritt ein Elektromotormodell EM in einer zweiteiligen Weise vorgegeben. Ein Teil ist die Modellstruktur MS, welche die physikalischen Zusammenhänge spezifisch für einen Typ eines Elektromotors beinhaltet. Dieser Modellstruktur MS fehlt jedoch noch die Bedeutung in Form einzelner Modellparameter MP. Diese Modellparameter MP werden ermittelt, indem ein erster Konstruktionsdatensatz KDS1 vorgegeben wird. Die Wechselwirkung zwischen dem Elektromotormodell EM und diesem ersten Konstruktionsdatensatz KDS1 wird so erzielt, dass die Modellparameter gewählt werden, um genau diesen Konstruktionsdatensatz KDS als ersten Konstruktionsdatensatz KDS1 zu erreichen. Die für diesen ersten Konstruktionsdatensatz KDS1 demnach passenden Modellparameter MP werden als erster Parameterdatensatz PDS1 gespeichert. Dies ist in Figur 5 gezeigt.

**[0056]** Die Figuren 6 und 7 zeigen einen weiteren Durchlauf, welcher identisch abläuft, jedoch hier auf Basis eines vom ersten Konstruktionsdatensatz KDS1 unterschiedlichen zweiten Konstruktionsdatensatz KDS2. Damit ergeben sich wieder dafür passende Modellparameter MP, welche im Anschluss gemäß der Figur 7 als zweiter Parameterdatensatz PDS2 gesetzt werden. Auch dies ist beliebig fortführbar für eine beliebige Anzahl von Konstruktionsdatensätzen KDS und damit einem Ergebnis eine beliebige Anzahl von Parameterdatensätzen PDS.

**[0057]** Die Figur 8 zeigt, wie die Vielzahl der auf eine solche Weise erzeugten Parameterdatensätze PDS in einer Datenbank gespeichert werden können. Hier sind beispielsweise bis zu 2000 Parameterdatensätze PDS dargestellt. Beispielsweise für den Durchlauf des Prüfverfahrens kann nun ein Kontrollmodul 50 und/oder ein Emuliermodul 30 aus dieser Datenbank jeweils den gewünschten Parameterdatensatz PDS auswählen und neben der Modellstruktur zu dessen Bedeutung in das Elektromotormodell EM einbringen.

**[0058]** Die voranstehende Erläuterung der Ausführungsformen beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

## BEZUGSZEICHENLISTE

10 Prüfvorrichtung  
20 Prüf-Schnittstelle  
22 Leistungseingang  
24 Signalschnittstelle  
26 Versorgungsanschluss  
30 Emuliermodul  
40 Erfassungsmodul  
50 Kontrollmodul  
60 Leistungsversorgung  
70 Schaltvorrichtung

100 Prüfstand

200 Komponentenprüfling  
222 Leistungsausgang  
224 Gegen-Signalschnittstelle  
226 Gegen-Versorgungsanschluss

EM Elektromotormodell

MS Modellstruktur

MP Modellparameter

PP Prüfparameter

PV Prüfvorgabe

PE Prüfergebnis

PDS Parameterdatensatz

KDS Konstruktionsdatensatz

BP Betriebspunkt

## Patentansprüche

1. Prüfverfahren für ein Prüfen eines Komponentenprüflings (200) einer Komponente eines Elektroantriebs, insbesondere eines Fahrzeugs, auf einem Prüfstand (100), aufweisend die folgenden Schritte:
  - Anschließen des Komponentenprüflings (200) an eine Prüf-Schnittstelle (20) einer Prüfvorrichtung (10),
  - Emulieren eines Elektromotors eines Elektromotortyps mittels der Prüf-Schnittstelle (20) anhand eines mit einem ersten Parameterdatensatz (PDS1) parametrisierten Elektromotormodells (EM) über eine Vielzahl von Betriebspunkten (BP) des Elektromotors,
  - Erfassen von Prüfparametern (PP) des Komponentenprüflings (200) für die Vielzahl der emulierten Betriebspunkte (BP) für den ersten Parameterdatensatz (PDS1),
  - Emulieren eines anderen Elektromotors desselben Elektromotortyps mittels der Prüf-Schnittstelle (20) anhand eines mit einem zweiten Parameterdatensatz (PDS2) parametrisierten Elektromotormodells (EM) über eine Vielzahl von Betriebspunkten (BP) des Elektromotors,
  - Erfassen von Prüfparametern (PP) des Komponentenprüflings (200) für die Vielzahl der emulierten Betriebspunkte (BP) für den zweiten Parameterdatensatz (PDS2),
  - Vergleich der erfassten Prüfparameter (PP) mit wenigstens einer Prüfvorgabe (PV).
2. Prüfverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Schritte des Emulierens und des Erfassens für alle Parameterdatensätze (PDS) die gleichen oder im Wesentlichen die gleichen Betriebspunkte (BP) verwendet werden.
3. Prüfverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Wechsel vom ersten Parameterdatensatz (PDS1) auf den zweiten Parameterdatensatz (PDS2) erfolgt, nachdem die Vielzahl der Betriebspunkte (BP) für den ersten Parameterdatensatz (PDS1) vollständig oder im Wesentlichen vollständig emuliert worden ist.
4. Prüfverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf Basis des Ergebnisses des Vergleichs ein Prüfergebnis (PE) ausgegeben wird.
5. Prüfverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach jedem Schritt des Emulierens und/oder während jedem Schritt des Emulierens direkt die erfassten Prüfparameter (PP) mit wenigstens einer Prüfvorgabe (PV) verglichen werden und insbesondere bei einem Verfehlten der Prüfvorgabe (PV) das Prüfverfahren abgebrochen wird.
6. Prüfverfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf Basis der direkt erfassten Prüfparameter (PP) eine Anpassung der Reihenfolge der zu emulierenden Betriebspunkte (BP) und/oder der Auswahl des zweiten Parameterdatensatzes (PDS2) erfolgt.
7. Prüfverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Prüfparameter (PP) wenigstens einer der folgenden erfasst wird:
  - Drehmoment
  - Drehzahl
  - Prüfstrom zwischen einem Leistungseingang (22) und einem Gegen-Leistungsausgang (222)
  - Prüfspannung zwischen einem Leistungseingang (22) und einem Gegen-Leistungs-ausgang (222)
  - Prüfleistung zwischen einem Leistungseingang (22) und einem Gegen-Leistungs-ausgang (222)
  - Prüfarbeit zwischen einem Leistungseingang (22) und einem Gegen-Leistungs-ausgang (222)

- Batteriestrom zwischen einem Versorgungsanschluss (22) und einem Gegen-Versorgungsanschluss (226)
  - Batteriespannung zwischen einem Versorgungsanschluss (22) und einem Gegen-Versorgungsanschluss (226)
  - Batterieleistung zwischen einem Versorgungsanschluss (22) und einem Gegen-Versorgungsanschluss (226)
  - Batteriearbeit zwischen einem Versorgungsanschluss (22) und einem Gegen-Versorgungsanschluss (226)
  - Emulierte mechanische Leistung
  - Wirkungsgrad
8. Prüfverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass für das Umschalten des Emulierens von dem ersten Parameterdatensatz (PDS1) auf den zweiten Parameterdatensatz (PDS2) der Anschluss an den Komponentenprüfling (200) lastfrei oder im Wesentlichen lastfrei geschaltet wird.
9. Prüfverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf Basis des Vergleichs der erfassten Prüfparameter (PP) mit der wenigstens einen Prüfvorgabe (PV) eine Optimierung des Komponentenprüflings (200) durchgeführt wird.
10. Prüfverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswahl des ersten Parameterdatensatzes (PDS1) und die Auswahl des zweiten Parameterdatensatzes (PDS2) und/oder die Parametrisierung des Elektromotormodells (EM) mit dem ersten Parameterdatensatz (PDS1) und mit dem zweiten Parameterdatensatz (PDS2) automatisch oder im Wesentlichen automatisch erfolgt.
11. Erzeugungsverfahren für ein Erzeugen von Parameterdatensätzen (PDS) für ein parametrisiertes Elektromotormodell (EM) für einen Einsatz in einem Prüfverfahren mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 10, aufweisend die folgenden Schritte:
- Zur Verfügung stellen einer parametrisierten Modellstruktur (MS) des Elektromotormodells (EM) für einen spezifischen Elektromotortyp,
  - Zur Verfügung stellen eines ersten Konstruktionsdatensatzes (KDS1) für den spezifischen Elektromotortyp,
  - Bestimmen von Modellparametern (MP) für die parametrisierte Modellstruktur (MS), welche den zur Verfügung gestellten ersten Konstruktionsdatensatz (KDS1) ergeben,
  - Speichern der bestimmten Modellparameter (MP) als erster Parameterdatensatz (PDS1),
  - Zur Verfügung stellen eines zweiten Konstruktionsdatensatzes (KDS2) für denselben spezifischen Elektromotortyp,
  - Bestimmen von Modellparametern (MP) für die parametrisierte Modellstruktur (MS), welche den zur Verfügung gestellten zweiten Konstruktionsdatensatz (KDS2) ergeben,
  - Speichern der bestimmten Modellparameter (MP) als zweiter Parameterdatensatz (PDS2).
12. Erzeugungsverfahren nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Konstruktionsdaten (KDS) wenigstens eine der folgenden Datenarten verwendet wird:
- CAD Daten eines Elektromotors
  - FEM Daten eines Elektromotors
  - Simulationsdaten einer Strömungssimulation eines Elektromotors
  - Reale Messdaten eines Elektromotors
  - Materialdaten
  - Toleranzvorgaben

- Simulationsdaten einer Magnetfeldsimulation
  - Simulationsdaten einer Magnetkreissimulation
  - Simulationsdaten einer mechanischen Simulation, insbesondere einer Simulation der Biegekritischen
  - Simulationsdaten einer Kühlungssimulation
  - Simulationsdaten einer Temperatursimulation, insbesondere im Rotor und/oder im Stator
13. Erzeugungsverfahren nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach einer Speicherung der Modellparameter (MP) wenigstens einer der Parameterdatensätze (PDS) gegen einen realen Elektromotor verifiziert wird.
14. Prüfvorrichtung (10) für die Durchführung eines Prüfverfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 10, aufweisend eine Prüf-Schnittstelle (20) für ein Emulieren eines Elektromotors auf Basis eines parametrisierten Elektromotormodells (EM), ein Emuliermodul (30) für das Durchführen des Emulierens und ein Erfassungsmodul (40) für ein Erfassen der Prüfparameter (PP), wobei das Emuliermodul (30) und das Erfassungsmodul (40) ausgebildet sind für eine Durchführung eines Prüfverfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 10.
15. Prüfvorrichtung (10) nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass diese ein Kontrollmodul (50) für wenigstens einen der folgenden Schritte aufweist:
- Variieren der verwendeten Parameterdatensätze (PDS)
  - Kontrolle einer Leistungsversorgung für den Komponentenprüfing (200)
  - Vorgabe von Betriebspunkten für das Emulieren
16. Prüfvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Prüf-Schnittstelle (20) eine Mehrzahl von Leistungseingängen (22) pro elektrischer Phase aufweist für einen elektrischen Anschluss an Leistungsausgänge (222) des Komponentenprüflings (200).
17. Prüfvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 14 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Prüf-Schnittstelle (20) wenigstens eine Signalschnittstelle (24) für eine signalkommunizierende Verbindung mit einer Gegen-Signalschnittstelle (224) des Komponentenprüflings (200) aufweist.
18. Prüfvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 14 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass zusätzlich eine kontrollierbare Leistungsversorgung (60) mit einem Versorgungsanschluss (26) für einen elektrischen Anschluss und einen Gegen-Versorgungsanschluss (226) des Komponentenprüflings (200) vorgesehen ist.
19. Prüfvorrichtung (10) nach einem der Ansprüche 14 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Prüf-Schnittstelle (20) wenigstens eine Schaltvorrichtung (70) zum elektrischen Schalten eines Anschlusses (22, 24, 26) an den Komponentenprüfing (200) aufweist, insbesondere eine Vielzahl von Schaltvorrichtungen (70) zum Schalten aller Anschlüsse (22, 24, 26) an den Komponentenprüfing (200).

**Hierzu 6 Blatt Zeichnungen**

1/6

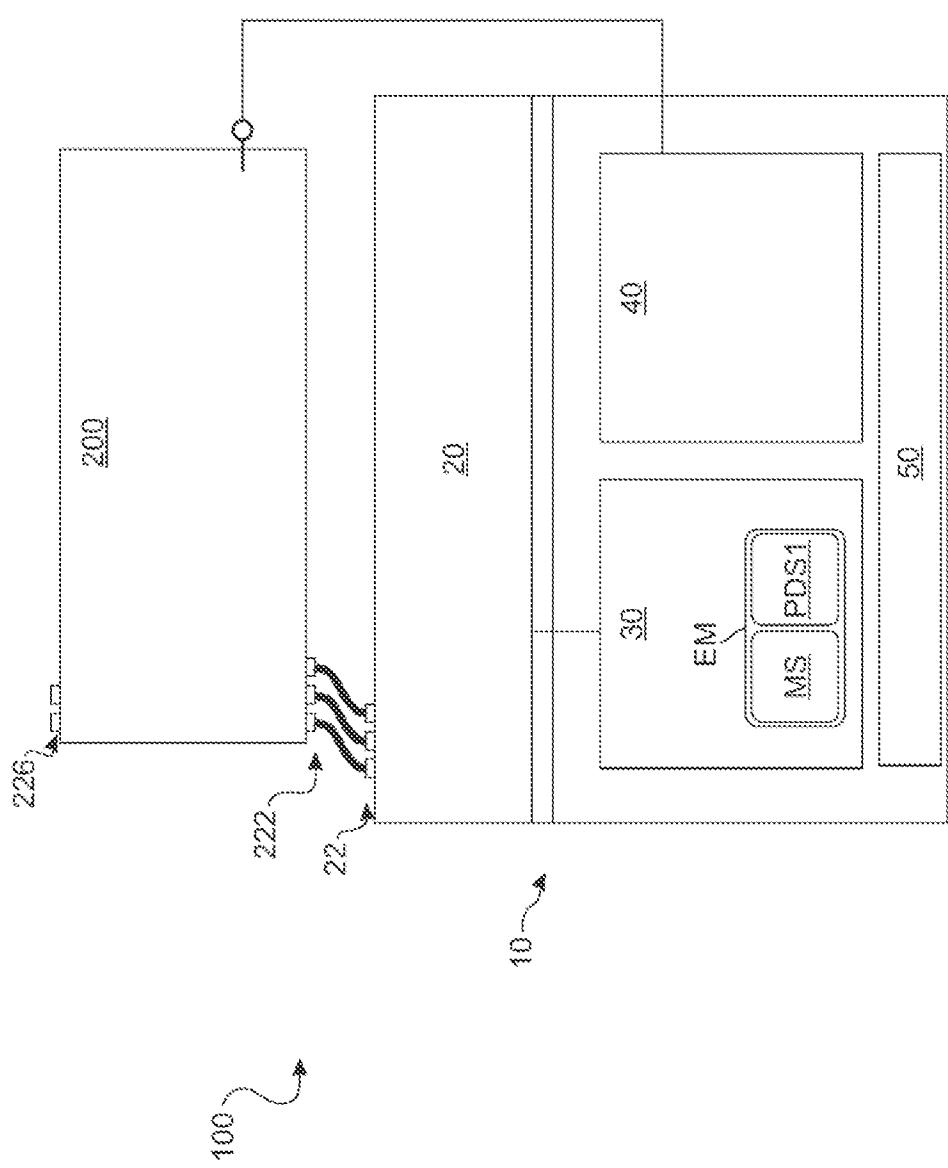


Fig. 1

2/6

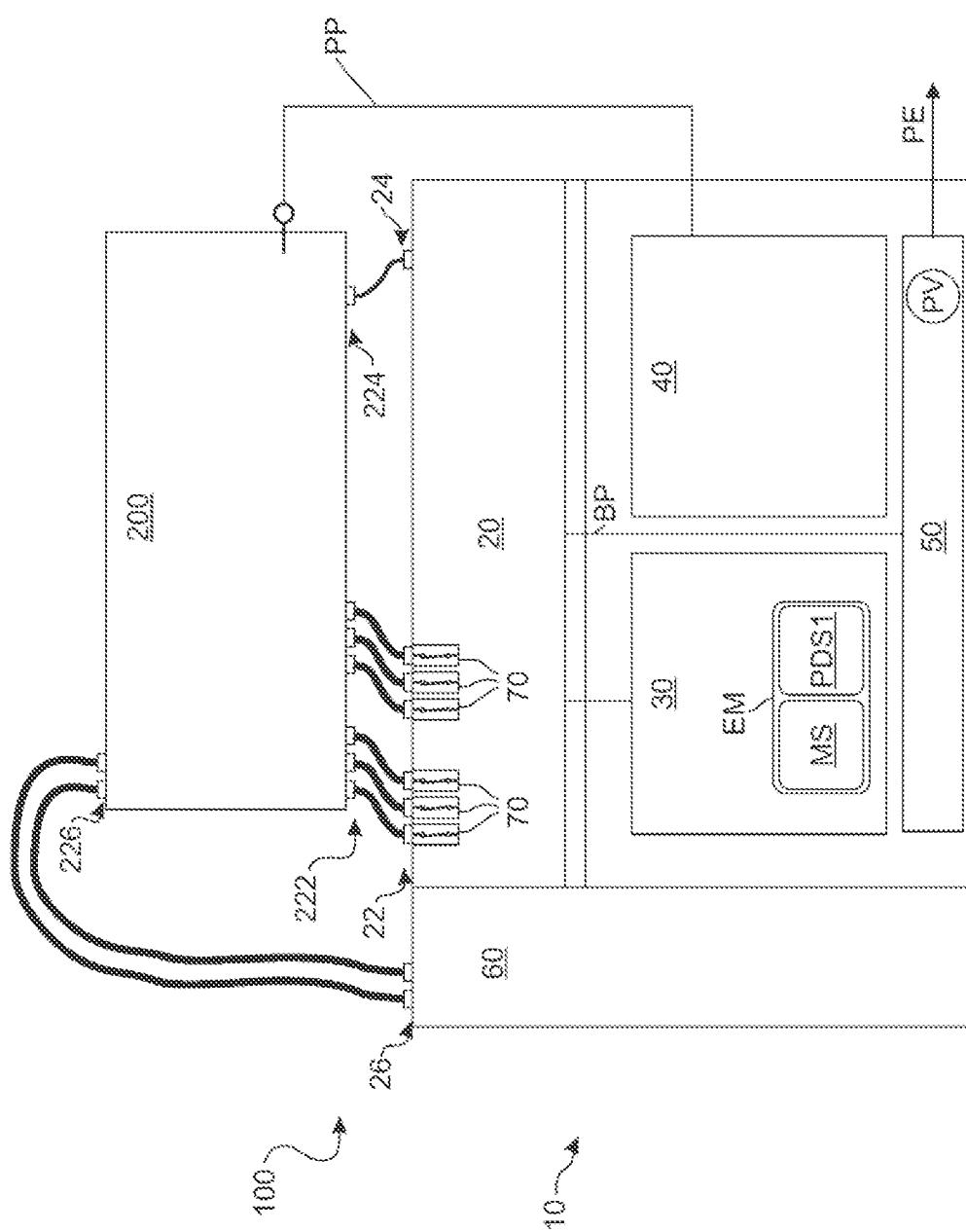


Fig. 2

3/6

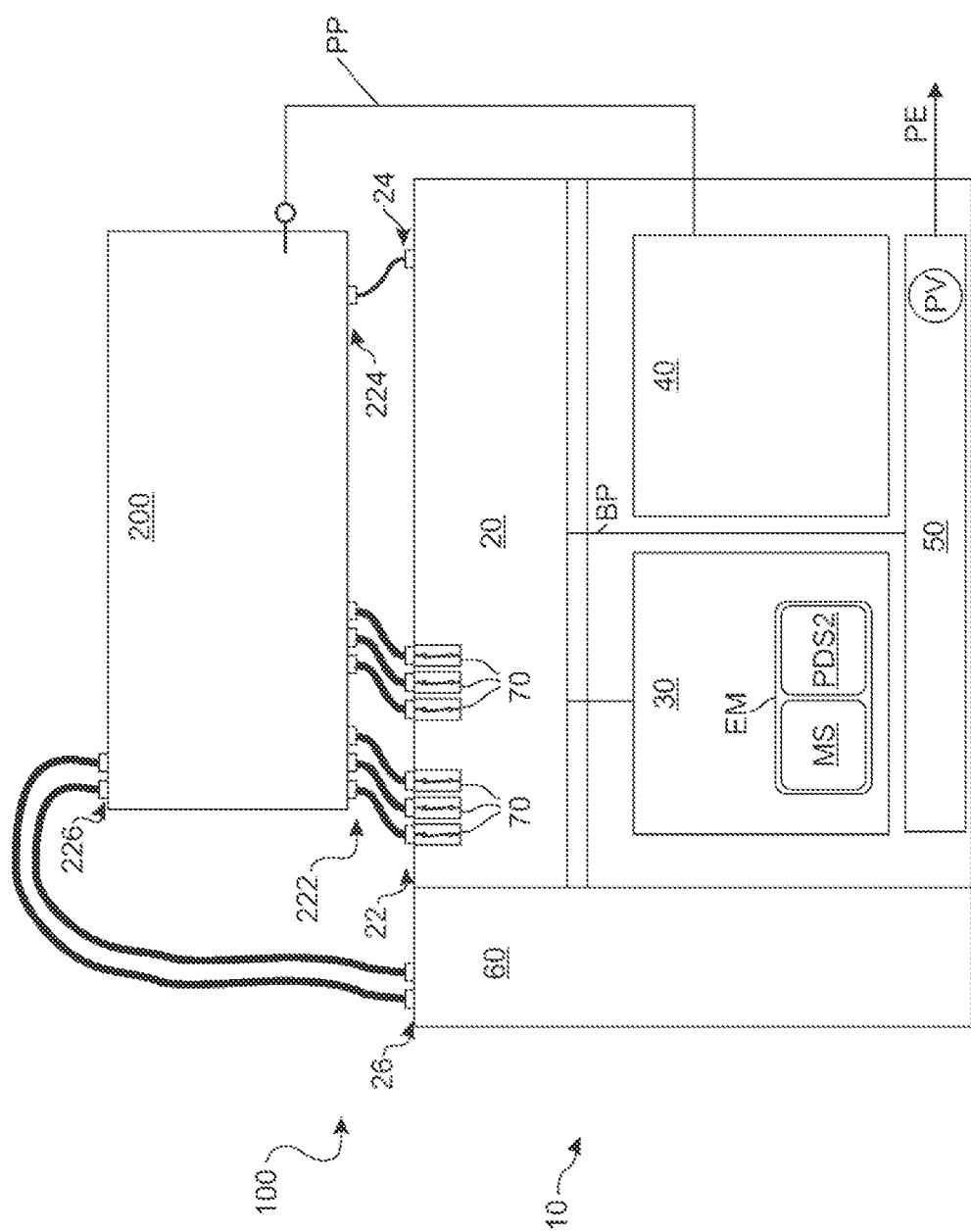
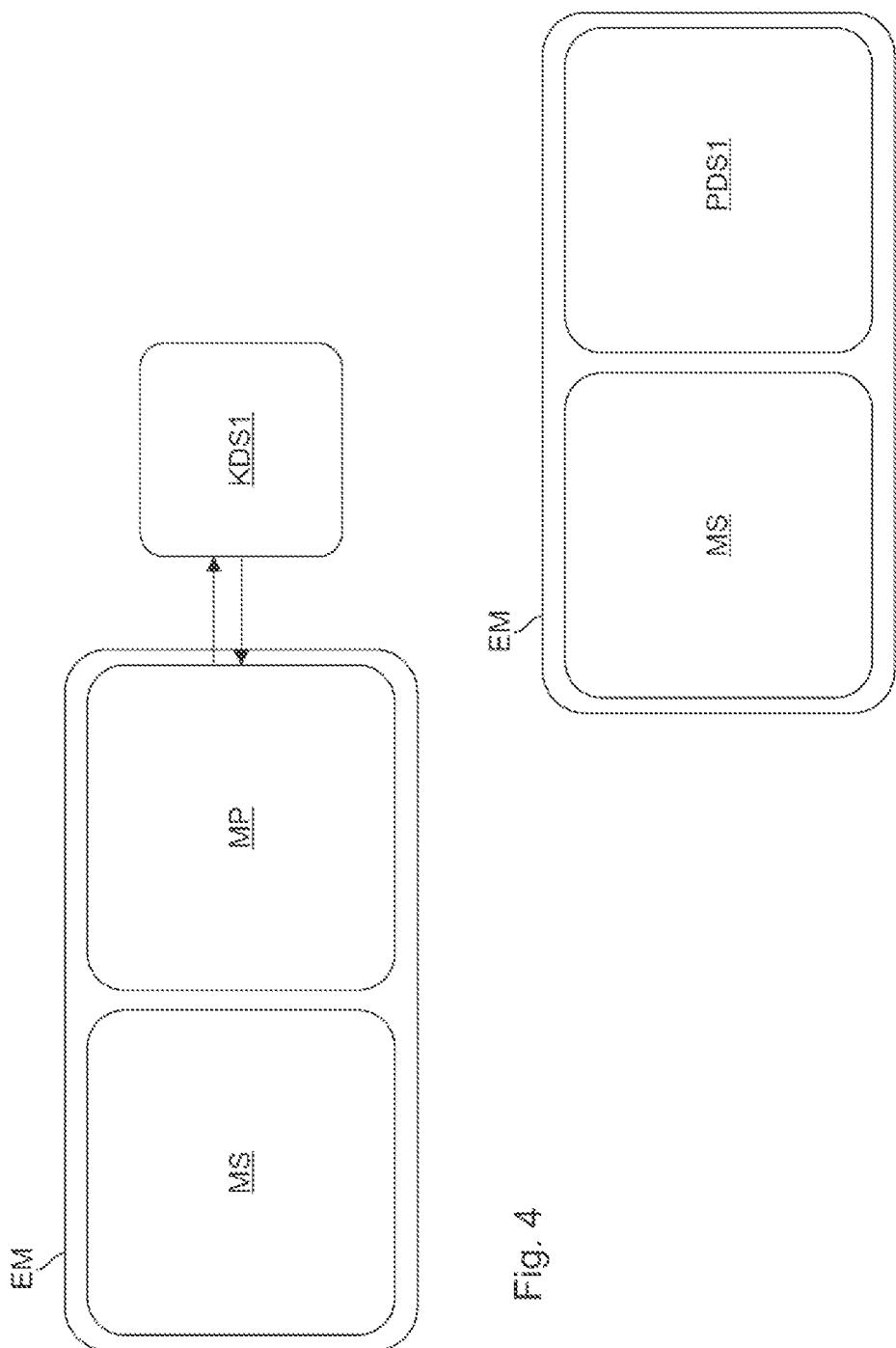


Fig. 3

4/6



5/6

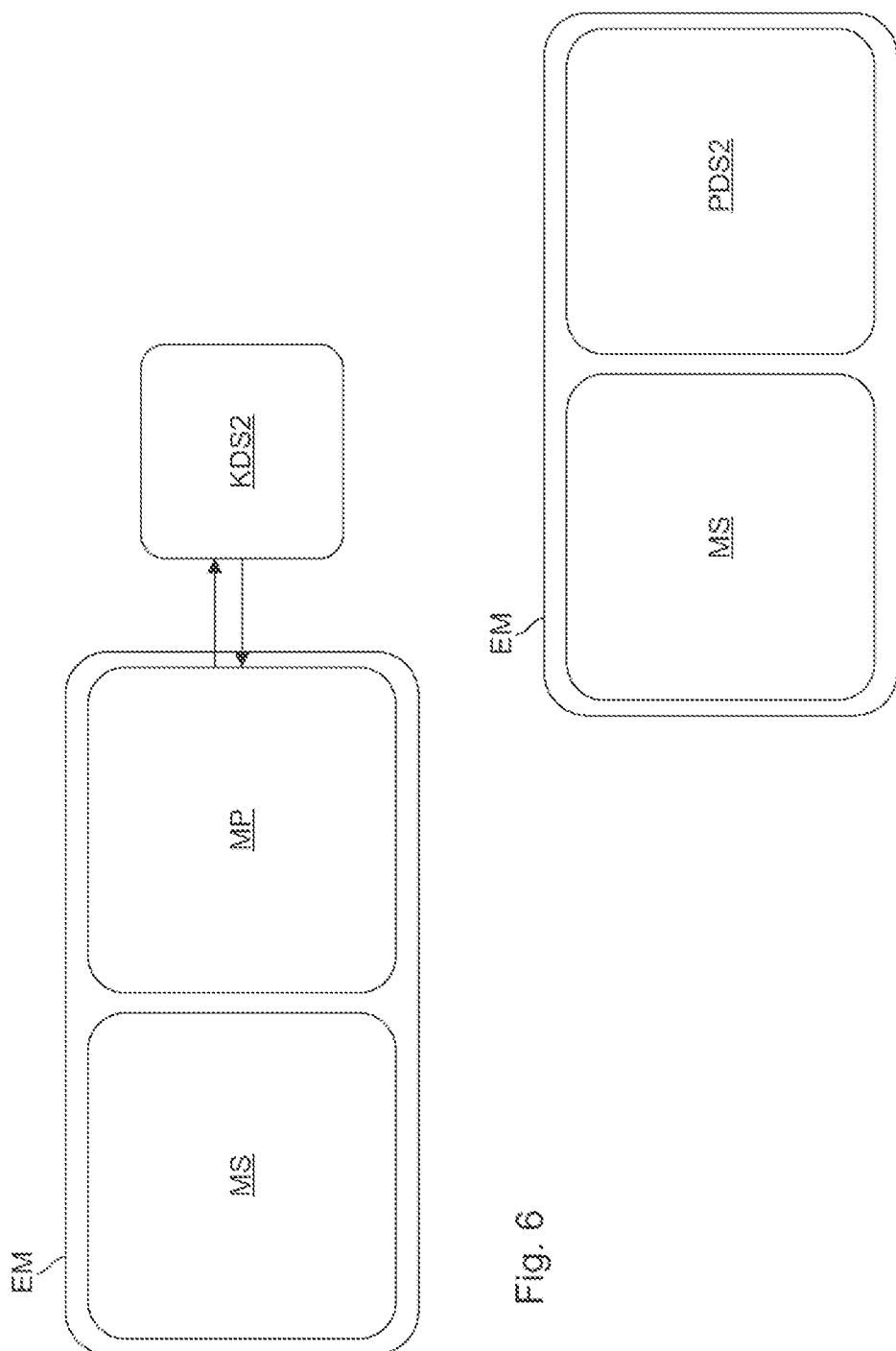


Fig. 6

Fig. 7

6/6

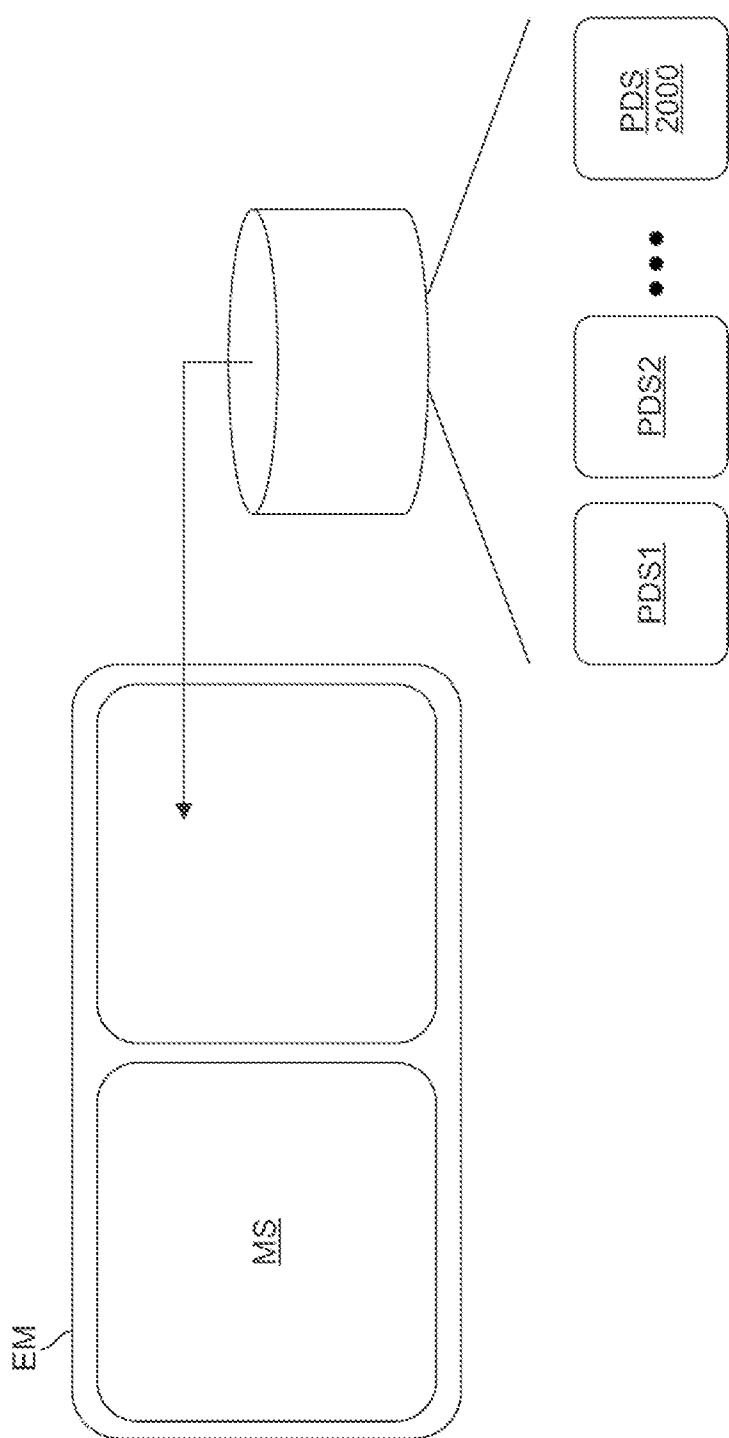


Fig. 8