

(21) Anmeldenummer: A 50908/2021
(22) Anmeldetag: 12.11.2021
(45) Veröffentlicht am: 15.11.2024

(51) Int. Cl.: **B60L 15/20** (2006.01)
H02P 23/14 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 102015210247 A1
US 2014265952 A1

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

(72) Erfinder:
IVARSON Mats
8111 Judendorf-Sträbengel (AT)
DUCHI Francesco Dott. Mag.
8020 Graz (AT)
GIMPL Matthias
93047 Regensburg (DE)
WALTER Konstantin
84085 Langquaid (DE)
SCHARNAGL Michael
92712 Pirk (DE)
GARCIA DE MADINABEITIA MERINO Inigo
8010 Graz (AT)
SCHMITT Alexander Dr.
88239 Wangen (DE)

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

(54) Kontrollverfahren für eine Kontrolle von Betriebsparametern eines Elektromotors, insbesondere zum Antrieb eines Fahrzeugs

(57) Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren für eine Kontrolle von Betriebsparametern (BP) eines Elektromotors (100), insbesondere zum Antrieb eines Fahrzeugs, aufweisend die folgenden Schritte:

- Erfassen von Ist-Betriebsparametern (IBP) des Elektromotors (100),
- Bestimmen wenigstens eines Ist-Elektromotorparameters (IEP) des Elektromotors (100) auf Basis der erfassten Ist-Betriebsparameter (IBP) als Maß für eine Vorgabeabweichung des Elektromotors (100),
- Auswählen eines Ist-Kontroll-Kennfeldes (IKK) aus einer Menge an Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern (AKK) auf Basis des wenigstens einen bestimmten Ist-Elektromotorparameters (IEP),
- Anwenden des ausgewählten Ist-Kontroll-Kennfeldes (IKK) für die Vorgabe von wenigstens einem Soll-Betriebsparameter (SBP) für den Betrieb des Elektromotors (100).

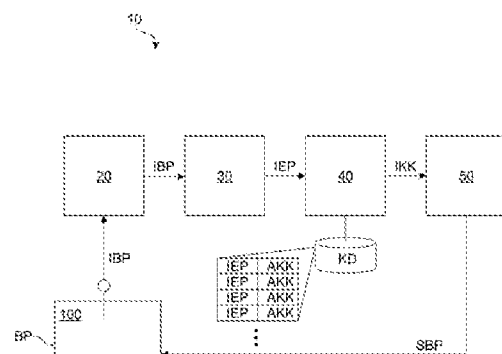


Fig. 1

Beschreibung

KONTROLLVERFAHREN FÜR EINE KONTROLLE VON BETRIEBSPARAMETERN EINES ELEKTROMOTORS, INSBESONDERE ZUM ANTRIEB EINES FAHRZEUGS

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Kontrollverfahren für eine Kontrolle von Betriebsparametern eines Elektromotors eines Fahrzeugs, eine Kontrollvorrichtung zur Durchführung eines solchen Verfahrens, ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung eines solchen Kontrollverfahrens auf einem Computer sowie ein Erstellungsverfahren zum Erstellen einer Menge von Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern für einen Einsatz in einem solchen Kontrollverfahren.

[0002] Es ist bekannt, dass Elektromotoren für den Antrieb von Fahrzeugen verwendet werden. Um die Elektromotoren zu regeln, werden dabei häufig sogenannte Kennfeldregelungen verwendet. Darunter ist zu verstehen, dass auf Basis einer vorgegebenen Drehmomentanforderung, zum Beispiel auf Basis der Pedalstellung des Fahrzeugs, aus dem Kennfeld ein oder mehrere Betriebsparameter als Soll-Betriebsparameter ausgewählt und für den Betrieb des Elektromotors vorgegeben werden. Nachfolgend können Feed-Back-Schleifen und/oder Feed-Forward-Schleifen vorgesehen sein, um die tatsächlichen Betriebsparameter wie auch das tatsächlich abgegebene Drehmoment des Elektromotors auf Basis der vorgegebenen Soll-Betriebsparameter zu erfassen.

[0003] Aus dem Stand der Technik sind hierzu die Dokumente DE 1102015210247 A1 und US 2014265952 A1 bekannt.

[0004] Um diese Kennfelder zu erstellen, werden üblicherweise mit hohem Aufwand auf Prüfständen für jeden Elektromotortyp diese Kennfelder erstellt, indem die Elektromotortypen über ihr gesamtes Betriebsfeld vermessen werden. Nachteilhaft bei den bekannten Lösungen ist es, dass die erzeugten Kennfelder jedoch weder Fertigungstoleranzen der Elektromotoren noch Alterungseffekte berücksichtigen können. So sind beispielsweise beim Fertigen von Elektromotoren gewisse Fertigungstoleranzen gegeben, zum Beispiel hinsichtlich des Durchmessers des Rotors, hinsichtlich der Spaltbreite zwischen Rotor und Stator, hinsichtlich der Abstände zwischen den Statorwicklungen und Ähnlichem, wie allgemeine Fertigungstoleranzen des Rotors und/oder des Stators, Toleranzen von Materialeigenschaften, Materialzusammensetzungen und/oder Magnetisierungseigenschaften. Darüber hinaus entstehen durch den Betrieb des Elektromotors beim Antrieb des Fahrzeugs Alterungseffekte und Verschleiß, welche ebenfalls zu Veränderungen am Elektromotor führen. Bei bekannten Lösungen werden die Elektromotoren am Ende der Fertigungslinie kalibriert und mit den Kennfeldern ausgestattet, wie sie aus dem Prüfstandsversuchen resultieren. Ein späteres Anpassen ist bisher weder vorgesehen noch technisch möglich. Dies kann dazu führen, dass die Kennfelder, welche gemittelt für möglichst alle Elektromotoren eines Typs erfasst worden sind, bei starken Toleranzabweichungen nicht oder nur bedingt passen. Gleiches gilt auch bei längerem Betrieb eines Elektromotors, wenn Alterungseffekte eine sich immer mehr vergrößernde Abweichung vom Mittelwert des Elektromotortyps mit sich bringen oder sogar zu einer Demagnetisierung führen. In beiden Fällen können solche Vorgabeabweichungen dazu führen, dass entweder das Drehmoment, welches zur Erfüllung der Drehmomentanforderung vom Elektromotor abgegeben wird, stark von der Anforderung abweicht. Es kann beispielsweise bei einem Soll Drehmoment von ca. 400 Newtonmeter um bis zu 30 Newtonmeter zu hoch oder zu niedrig sein. Darüber hinaus kann das Anwenden eines auf Mittelwerten basierenden Kennfeldes zu Disharmonie in der Kontrolle des Elektromotors führen, was insbesondere mit einer verstärkten Geräuschemission und darüber hinaus auch verstärktem Verschleiß im Elektromotor einhergeht. Auch die Stabilität der Regelung im Allgemeinen kann hierunter leiden.

[0005] Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, die voranstehend beschriebenen Nachteile zumindest teilweise zu beheben. Insbesondere ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, in kostengünstiger und einfacher Weise eine Anpassung der Kontrollmöglichkeiten im Betrieb des Elektromotors zur Verfügung stellen zu können.

[0006] Die voranstehende Aufgabe wird gelöst, durch ein Kontrollverfahren mit den Merkmalen

des Anspruchs 1, eine Kontrollvorrichtung mit den Merkmalen des Anspruchs 11, ein Computerprogrammprodukt mit den Merkmalen des Anspruchs 12 sowie durch ein Erstellungsverfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 13. 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 Kontrollverfahren beschrieben sind, selbstverständlich auch im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung, dem erfindungsgemäßen Computerprogrammprodukt sowie dem erfindungsgemäßen Erstellungsverfahren und jeweils umgekehrt, sodass bezüglich der Offenbarung zu den einzelnen Erfindungsaspekten stets wechselseitig Bezug genommen wird beziehungsweise werden kann.

[0007] Erfindungsgemäß dient ein Kontrollverfahren der Kontrolle von Betriebsparametern eines Elektromotors zum Antrieb eines Fahrzeugs. Hierfür weist ein solches Kontrollverfahren die folgenden Schritte auf:

- [0008]** - Erfassen von Ist-Betriebsparametern des Elektromotors,
- [0009]** - Bestimmen wenigstens eines Ist-Elektromotorparameters des Elektromotors auf Basis der erfassten Ist-Betriebsparameter als Maß für eine Vorgabeabweichung des Elektromotors,
- [0010]** - Auswählen eines Ist-Kontroll-Kennfeldes aus einer Menge von Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern auf Basis des wenigstens einen bestimmten Ist-Elektromotorparameters,
- [0011]** - Anwenden des ausgewählten Ist-Kontroll-Kennfeldes für die Vorgabe von wenigstens einem Soll-Betriebsparameter für den Betrieb des Elektromotors.

[0012] Ein erfindungsgemäßes Verfahren zielt nun darauf ab, dass auch während des Betriebs des Elektromotors, also insbesondere nach der Inbetriebnahme, eine Anpassung der Kontrollmöglichkeiten stattfinden kann. Diese Anpassung passiert jedoch nicht wahllos, sondern gezielt auf Basis einer abgeschätzten Vorgabeabweichung. Eine Vorgabeabweichung ist dabei im Sinne der vorliegenden Erfindung eine Abweichung von einem Mittelwert eines Elektromotortyps. Beispielsweise bezogen auf den Durchmesser des Rotors kann der Mittelwert dieses Durchmessers die Vorgabe sein. Findet bei der Fertigung beispielsweise eine Fertigungsgenauigkeit von plus/minus 5 Mikrometer Anwendung, so bedeutet dies, dass der Durchmesser bis zu 5 Mikrometer größer oder bis zu 5 Mikrometer kleiner als dieser Mittelwert sein kann. Dies wirkt sich selbstverständlich auf die Betriebscharakteristik dieses Elektromotors aus. In gleicher Weise gilt eine Vorgabeabweichung im Sinne der vorliegenden Erfindung auch als Alterungseffekt. Beispielsweise kann sich durch Verschleiß oder Veränderung der Magnetisierung eine elektromagnetische Komponente aber auch eine mechanische Komponente innerhalb des Elektromotors über die Zeit ändern, sodass dies ebenfalls die Betriebscharakteristik des Elektromotors über die Nutzungsdauer verändert.

[0013] Unter einem Fahrzeug ist im Sinne der vorliegenden Erfindung neben einem Automobil auch jedes andere Fahrzeug, beispielsweise schienengebundene Fahrzeuge, maritime Fahrzeug, aber auch Flugzeuge zu verstehen.

[0014] Kennfelder sind im Sinne der vorliegenden Erfindung insbesondere klassische Kennfelder mit Kontrollzusammenhängen. Jedoch sind unter Kennfeldern in dieser Anmeldung auch weitergehende Zusammenhänge, beispielsweise Parameterzusammenhänge, tabellarische Zusammenhänge oder Arrays zu verstehen.

[0015] Der erfindungsgemäße Kerngedanke beruht nun darauf, dass ähnlich der bekannten Regelschleife Ist-Betriebsparameter des Elektromotors erfasst werden. Solche Ist-Betriebsparameter sind beispielsweise Ströme und/oder Spannungen beim Betrieb des Elektromotors. Die Erfassung erfolgt vorzugsweise bei einem dreiphasig, sechsphasig oder sogar neunphasig betriebenen Elektromotor im entsprechend dreiachsigen Koordinatensystem, wobei die weitere Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens umgesetzt wird durch Transformation in ein zweiachsiges, mitrotierendes und rotorbasiertes Koordinatensystem (q/d-Transformation).

[0016] Diese erfassten Ist-Betriebsparameter stehen nun in einem physikalischen Zusammen-

hang mit Elektromotorparametern des Elektromotors. Auf Basis dieses physikalischen Zusammenhangs ist es nun möglich, dass aus vielen von diesen bestimmten Ist-Betriebsparametern Ist-Elektromotorparameter bestimmt werden können. Die Bestimmung kann zum Beispiel durch Rückrechnen aus dem physikalischen Zusammenhang zwischen den erfassten Ist-Betriebsströmen und den Induktivitäten entlang der jeweiligen Achse des Koordinatensystems bestehen. So ist es zum Beispiel möglich, dass als Ist-Elektromotorparameter die Induktivitäten L_d und L_q bestimmt werden und damit hinsichtlich ihrer Abweichung von dem Mittelwert ein Maß für die Vorgabeabweichung des Elektromotors darstellen. Die bestimmten Ist-Elektromotorparameter sind also ein quantitatives Anzeichen dafür, wie weit und in welche Richtung die aktuelle Betriebscharakteristik des Elektromotors von dem vorgegebenen Mittelwert abweicht.

[0017] Damit ist es nun möglich, dass auf Basis dieser Abschätzung der Abweichung von dem vorgegebenen Mittelwert im nächsten Schritt eine Anpassung der Kontrolle stattfindet. Um die Anpassung durchzuführen, erfolgt in erfindungsgemäßer Weise nun eine Auswahl eines Ist-Kontroll-Kennfeldes aus einer Menge an Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern. Wie bereits eingangs erläutert worden ist, findet bei der Kontrolle von Elektromotoren häufig eine Kennfeldregelung Anwendung. Diese Kennfelder sind bei den bekannten Lösungen einmalig kalibriert und werden für den Betrieb des Elektromotors über dessen komplette Betriebsdauer beibehalten. Erfindungsgemäß sind nun eine Vielzahl von Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern, beispielsweise in der später noch erläuterten Kennfeld-Datenbank, angeordnet. Dies erlaubt es, dass eine Auswahl zwischen unterschiedlichen Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern möglich ist, wobei eines dieser Abweichungs-Kontroll-Kennfelder als Ist-Kontroll-Kennfeld für die weitere Kontrolle gesetzt werden kann. Für die Auswahl eines möglichst genau auf die aktuelle Vorgabeabweichung passenden Ist-Kontrollfeldes wird hier die Korrelation zwischen dem bestimmten Ist-Elektromotorparameter und den damit jeweils zugehörigen Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern verwendet, sodass für die tatsächlich über den Abschätzungsschritt der Ist-Elektromotorparameter definierten Vorgabeabweichungszustand ein passendes Ist-Kontroll-Kennfeld auswählbar ist. In welcher Weise diese Abweichungs-Kontroll-Kennfelder ermittelt werden können, wird später noch mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Erstellungsverfahren näher erläutert.

[0018] Im letzten Schritt eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird nun das ausgewählte Ist-Kontrollfeld angewendet, beispielsweise indem es in einem laufenden Kontrollverfahren das bisher verwendete Ist-Kontroll-Kennfeld ersetzt und/oder überschreibt. Dies wird vorzugsweise für alle relevanten, insbesondere für sämtliche Ist-Kontrollfelder der Kontrollsituation des Elektromotors durchgeführt, sodass am Ende des erfindungsgemäßen Verfahrens die Kontrolle des Elektromotors nicht mehr auf Basis von für einen Mittelwert als Vorgabewert für den Elektromotor bestimmten Kennfeldern ausgegangen wird. Vielmehr sind die verwendeten Kennfelder nun spezifisch für die tatsächlich abgeschätzte Vorgabeabweichung und spiegeln damit die Toleranz- und/ oder die Alterungssituation des Elektromotors wider.

[0019] Am weiter oben beschriebenen Beispiel unterschiedlicher Durchmesser des Rotors führt dies dazu, dass somit eine Abschätzung der Toleranzabweichung stattfinden kann. Ist beispielsweise ein Rotor an einem Randbereich der Toleranz, also im genannten Beispiel mit einem vergrößerten Durchmesser von circa 5 Mikrometer, ausgestattet, so führt dies entsprechend der Änderung der Betriebscharakteristik des Elektromotors zu anderen Ist-Betriebsparametern und dementsprechend jetzt bei der Abschätzung zu veränderten Ist-Elektromotorparametern. Diese veränderten Ist-Elektromotorparameter erlauben es nun, ein verändertes Ist-Kontroll-Kennfeld aus der Menge der Abweichungs-Kontroll-Kennfelder auszuwählen, sodass das anschließend für die weitere Kontrolle gesetzte neue Ist-Kontroll-Kennfeld passend zu dieser maximalen Abweichung von 5 Mikrometern ist. Hier wird bereits gut ersichtlich, dass das erfindungsgemäße Verfahren nicht auf tatsächlich gemessenen Toleranzabweichungen oder Alterungszuständen beruht, sondern diese vielmehr ausschließlich indirekt über die Erfassung der Ist-Betriebsparameter und die entsprechende Bestimmung der Ist-Elektromotorparameter abschätzt. Dies führt dazu, dass keinerlei aufwendige mechanische Endkontrolle der Elektromotoren stattfinden muss, sondern vielmehr ein in das Kontrollverfahren des Elektromotors integriertes Optimierungsverfahren möglich ist. Ein weiterer Vorteil ist es, dass bei dieser Ausführungsform des Kontrollverfahrens

auch eine Online-Adaption im späteren Betrieb möglich ist. So kann dieses Kontrollverfahren auch im Laufe eines fortdauernden Betriebes des Elektromotors immer wieder eingesetzt werden, sodass die Ist-Kontrollfelder bei fortschreitendem Alterungszustand und sich entsprechend ändernder Betriebscharakteristik des Elektromotors, ebenfalls fortlaufend an die sich verändernde Situation angepasst werden können.

[0020] Das erfindungsgemäße Kontrollverfahren kann insbesondere in eine Feed-Back-Schleife und/oder in eine Feed-Forward-Schleife integriert sein, wie dies ebenfalls später noch erläutert wird. Neben der bereits erläuterten Ausgleichsmöglichkeit für Toleranzen sind aus Nutzersicht des Elektromotors zwei wesentliche Vorteile erzielbar. Zum einen wird es möglich, eine sehr geräuscharme/sehr vibrationsarme Betriebsweise des Elektromotors zu gewährleisten, da die angewendeten Ist-Kontroll-Kennfelder sehr exakt auf die tatsächliche Vorgabeabweichung und die damit einhergehende Betriebscharakteristik des Elektromotors passen. Insbesondere bei der Anwendung für die Feed-Back-Schleife eines solchen Kontrollverfahrens ist darüber hinaus die entstehende Kontrollabweichung zwischen der Drehmomentanforderung und der tatsächlichen Drehmomentabgabe des Elektromotors minimiert, sodass für den Nutzer des Elektromotors, insbesondere den Fahrer des Elektrofahrzeugs, eine deutlich exaktere Kontrolle des Fahrzeugs und ein direkteres Feedback auf seine Drehmomentanforderung die Folge ist.

[0021] Es kann von Vorteil sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren der wenigstens eine Ist-Elektromotorparameter zumindest eine Impedanz bzw. eine Induktivität des Elektromotors aufweist, insbesondere beide Impedanzen in einem läuferfesten Koordinatensystem des Elektromotors. Auch können die Impedanzen und/oder die Induktivitäten arbeitspunktabhängig sein. Wie üblich, sind Elektromotoren häufig als Drehstrommaschinen ausgebildet und weisen somit drei Phasen mit entsprechend einem dreiachsigen Koordinatensystem auf. Das Kontrollverfahren ist vorzugsweise ausgebildet in einem zweiachsigen Koordinatensystem und damit rechenärmer umgesetzt zu werden, sodass insbesondere eine sogenannte d/q Transformation zwischen der dreiphasigen Realität des Elektromotors und der Kontrollabbildung erfolgt. Die Anwendung einer oder mehrerer Impedanzen, insbesondere der beiden Impedanzen L_d und L_q im rotorfesten Koordinatensystem, bringt eine Vielzahl von Vorteilen mit sich. Ein entscheidender Vorteil bei dieser Ausführungsform ist es, dass ein exakter physikalischer Zusammenhang zwischen den erfassten Ist-Betriebsparametern und diesen beiden Impedanzen besteht, sodass eine sehr genaue Abschätzung dieser beiden Impedanzwerte möglich ist. Darüber hinaus kann, insbesondere in Bezug auf das später noch erläuterte Erstellungsverfahren, die Korrelation zwischen den Impedanzwerten und der Vorgabeabweichung sehr exakt ermittelt werden, sodass nicht nur die Abschätzung der Impedanzen, sondern auch deren Hinweis auf eine quantitative Vorgabeabweichung sehr genau ist. Damit wird ein erfindungsgemäßes Verfahren deutlich genauer möglich. Alternativ zu einer Verwendung einer oder mehrerer Impedanzen als Ist-Elektromotorparameter ist es grundsätzlich auch möglich, den elektrischen Fluss des Elektromotors in ähnlicher Weise alternativ oder zusätzlich einzusetzen.

[0022] Weitere Vorteile bringt es mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren die Auswahl des Ist-Kontrollfeldes aus einer Kennfeld-Datenbank mit der Menge an Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern erfolgt. Diese Kennfeld-Datenbank kann zum Beispiel im Fahrzeug gespeichert sein, sodass das komplette Kontrollverfahren ohne Netzwerkzugang dezentral im Fahrzeug stattfinden kann. Auch eine zentrale Online-Kennfeld-Datenbank ist selbstverständlich denkbar, welche entweder im Rahmen des Kontrollverfahrens abgefragt wird oder in regelmäßigen Zeitspannen Over-the-air in das Fahrzeug aktualisiert wird. Die Speicherung in einer Kennfeld-Datenbank erlaubt eine sehr übersichtliche und strukturierte Aufbereitung der einzelnen Abweichungs-Kontroll-Kennfelder, sodass das Kontrollverfahren sehr schnell und vor allem rechenarm die Auswahl des passenden Ist-Kontroll-Kennfeldes durchführen kann.

[0023] Weiter von Vorteil kann es sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren die Menge an Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern, insbesondere mehrfach, aktualisiert wird. Dies kann zum Beispiel dahingehend erfolgen, dass über den laufenden Einsatz von Elektromotoren eines Elektromotortyps immer wieder Prüfstandsversuche an dem Elektromotortyp durchgeführt werden. Auch ist es möglich, dass sich Fertigungstoleranzen ändern oder über immer wieder

fortschreitende Vermessungen von realen Elektromotoren neue Informationen über Fertigungstoleranzen und/oder Alterungserscheinungen auftreten. Diese neu zur Verfügung gestellten Informationen können dazu dienen, weitere Vorgabeabweichungen mit entsprechenden neuen und verbesserten Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern zu korrelieren und damit eine entsprechende neue Menge an Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern zur Verfügung zu stellen. Dies kann sowohl über eine Over-the-air Aktualisierung in einer Kennfeld-Datenbank im Fahrzeug, aber auch online in einer serverbasierten Kennfeld-Datenbank geschehen.

[0024] Weitere Vorteile bringt es mit sich, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren die Schritte des Erfassens, des Bestimmens, des Auswählens und des Anwendens zumindest einmal wiederholt werden. Diese Wiederholung kann zum Beispiel nach einer definierten Zeitspanne erfolgen. So ist es beispielsweise möglich, dass nach einer bestimmten Anzahl von Betriebsstunden des Elektromotors das erfindungsgemäße Kontrollverfahren durchläuft, um zu überprüfen, ob alle Ist-Kontroll-Kennfelder noch dem aktuellsten Zustand des Elektromotors entsprechen.

[0025] Ist dies nicht der Fall, so spiegelt sich dies in den entsprechend bestimmten Ist-Elektromotorparametern wider und es werden neue Abweichungs-Kontroll-Kennfelder als neue Ist-Kontroll-Kennfelder gesetzt. Dies erfolgt vorzugsweise auch bei der ersten Inbetriebnahme des Fahrzeugs, um entsprechend vorhandene Fertigungstoleranzen bei der ersten Inbetriebnahme des Elektromotors direkt in die Ist-Kontroll-Kennfelder zurückzuschreiben. Selbstverständlich ist auch ein externes Triggern möglich, wenn beispielsweise eine serverseitige Überwachung der Elektromotoren einer Flotte von Fahrzeugen erkennt, dass ein Elektromotor eines Fahrzeugs nicht die gewünschte Betriebscharakteristik aufweist. Somit kann auch von Extern das Kontrollverfahren gestartet werden und damit die Betriebsweise dieses Elektromotors optimiert werden.

[0026] Von Vorteil ist es ebenfalls, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren wenigstens ein Hinweisparameter überwacht wird, wobei die Schritte des Erfassens, des Bestimmens, des Auswählens und des Anwendens durchgeführt werden, wenn der wenigstens eine Hinweisparameter einen Hinweisgrenzwert überschreitet. Neben einer auf einem Zeitparameter basierenden Wiederholung des Kontrollverfahrens ist es also auch möglich, andere Hinweise zu erhalten. Beispielsweise kann ein Hinweisparameter, ein Geräuschsignal oder ein Vibrationssignal sein. Auch die Bestimmung einer Drehmomentabweichung zwischen erzeugtem Drehmoment und Drehmomentanforderung kann einen solchen Hinweisparameter darstellen. Sobald also beispielsweise die Geräuschemission beim Betrieb des Elektromotors als Hinweisparameter einen Hinweisgrenzwert in einen definierten Dezibelwert übersteigt, kann beispielsweise das erfindungsgemäße Kontrollverfahren durchgeführt werden und insbesondere anschließend durch ein Überprüfen des gleichen Hinweisparameters eine Prüfung stattfinden, ob und in welchem Maße das Kontrollverfahren durch das Setzen des neuen Ist-Kontroll-Kennfeldes erfolgreich war.

[0027] Ein weiterer Vorteil kann es sein, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren die Erfassung der Ist-Betriebsparameter über eine Mindestzahl unterschiedlicher Betriebssituationen des Elektromotors erfolgt, wobei der Schritt der Bestimmung und/oder der Auswahl erst durchgeführt wird, wenn die Mindestzahl der unterschiedlichen Betriebssituationen erreicht ist. Dabei können die unterschiedlichen Betriebssituationen auch unterschiedlich gewichtet sein. Auch kann die Mindestzahl der unterschiedlichen Betriebssituationen variabel ausgebildet sein. Dies kann auch als ein Vermessen des Betriebsmotors über eine Mindestfläche der möglichen Betriebspunkte verstanden werden. Dabei können selbstverständlich bestimmte Betriebspunkte höher gewichtet werden oder mit einem höheren Vertrauensfaktor versehen werden. Dies gilt insbesondere im Hinblick auf das später noch erläuterte Herausfiltern einzelner Bereiche von Ist-Kontroll-Kennfeldern und/oder Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern. Um zu vermeiden, dass häufig und auf Basis einzelner Betriebspunkte möglicherweise in einer falschen Richtung eine Anpassung der Ist-Kontroll-Kennfelder stattfindet, kann hier vordefiniert sein, dass über einen möglichst breiten Betriebsbereich und damit viele unterschiedliche Betriebspunkte die erfindungsgemäßen Schritte durchgeführt werden, sodass die sich ergebenden und ausgewählten Ist-Kontroll-Kennfelder sehr genau auf eine möglichst breite Anwendung der Betriebspunkte des Elektromotors passen.

[0028] Weiter von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren bei der Auswahl des Ist-Kontroll-Kennfeldes ein Bereich herausgefiltert wird. Wie bereits im voranstehenden Absatz erläutert worden ist, können unterschiedliche Bereiche eines Kennfeldes hinsichtlich der Abschätzung der Vorgabeabweichung eine unterschiedlich große Genauigkeit oder Vertrauenswürdigkeit aufweisen. Je nach der Genauigkeit oder Vertrauenswürdigkeit können entweder einzelne, mit sehr geringer Genauigkeit ausgestatte Bereiche komplett herausgefiltert werden und/oder andere Bereiche mit hoher Genauigkeit oder hoher Vertrauenswürdigkeit mit einer höheren Gewichtung versehen werden. Dies erlaubt es, das erfindungsgemäße Kontrollverfahren mit noch größerer Genauigkeit durchzuführen und insbesondere die bereits mehrfach erläuterten Optimierungseffekte für den Betrieb des Elektromotors noch weiter zu verstärken. Die Bereiche beziehen sich dabei insbesondere auf unterschiedliche Betriebspunkte. Dabei ist auch eine unterschiedliche Gewichtung von unterschiedlichen Betriebspunkten und/oder Bereichen von Betriebspunkten möglich.

[0029] Ebenfalls vorteilhaft ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren die Schritte des Auswählens und des Anpassens für eine Feed-Forward-Schleife des Kontrollverfahrens, insbesondere für die Vorgabe von Soll-Spannungen als Soll-Betriebsparameter erfolgt. Damit kann es sich auch um die interne beziehungsweise kleine Schleife in der Kontrollsituation eines Elektromotors handeln. Dabei werden die Vorgabeströme in Vorgabespannungen umgesetzt und vorzugsweise nach der Vorgabe der Feed-Forward-Schleife in ein dreiphasiges Koordinatensystem transformiert. Die Integration in die Feed-Forward-Schleife reduziert insbesondere die Geräuschemissionen und lässt damit den Elektromotor ruhiger und verschleißärmer laufen.

[0030] Ebenfalls von Vorteil ist es, wenn bei einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren die Schritte des Auswählens und des Anpassens für eine Feed-Back-Schleife des Kontrollverfahrens, insbesondere für die Vorgabe von Soll-Strömen als Soll-Betriebsparameter, erfolgt. Dies kann alternativ oder zusätzlich zu der Ausführungsform des voranstehenden Absatzes erfolgen. Bei dieser externen oder auch großen Schleife wird die Integration in die Drehmomentanforderung und die zugehörigen, vorgegebenen Ströme integriert, sodass entsprechend auch eine Optimierung der maximal möglichen Abweichung zwischen Drehmomentanforderung und einer Drehmomentabgabe des Elektromotors einhergeht. Hier ist bereits gut zu erkennen, dass für die maximale Optimierung im Betrieb des Elektromotors vorzugsweise eine Integration des Kontrollverfahrens sowohl in die Feed-Back-Schleife als auch in die Feed-Forward-Schleife erfolgt. Hier ist auch eine Störgrößenaufschaltung oder die Verwendung eines Entkopplungsnetzwerks denkbar.

[0031] Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine Kontrollvorrichtung für eine Kontrolle von Betriebsparametern eines Elektromotors zum Antrieb eines Elektrofahrzeugs. Eine solche Kontrollvorrichtung weist ein Erfassungsmodul für ein Erfassen von Ist-Betriebsparametern des Elektromotors auf. Weiter ist ein Bestimmungsmodul für ein Bestimmen wenigstens eines Ist-Elektromotorparameters des Elektromotors auf Basis der erfassten Ist-Betriebsparameter als Maß für eine Vorgabeabweichung des Elektromotors vorgesehen. Ein Auswahlmodul dient einem Auswählen eines Ist-Kontroll-Kennfeldes aus einer Menge an Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern auf Basis des wenigstens einen bestimmten Ist-Elektromotorparameters. Darüber hinaus weist die Kontrollvorrichtung ein Anwendungsmodul auf, für ein Anwenden des ausgewählten Ist-Kontroll-Kennfeldes für die Vorgabe von wenigstens einem Soll-Betriebsparameter für den Betrieb des Elektromotors. Das Erfassungsmodul, das Bestimmungsmodul, das Auswahlmodul und/oder das Anwendungsmodul sind für die Durchführung eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens ausgebildet, sodass auch die Kontrollvorrichtung die gleichen Vorteile mit sich bringt, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren erläutert worden sind.

[0032] Ebenfalls Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Computerprogrammprodukt, aufweisend Befehle, welche bei der Ausführung des Programms auf einem Computer, diesen veranlassen, die Schritte eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens durchzuführen. Damit bringt auch ein solches Computerprogrammprodukt die gleichen Vorteile mit sich, wie sie ausführlich mit Bezug auf ein erfindungsgemäßes Kontrollverfahren erläutert worden sind.

[0033] Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist ein Erstellungsverfahren zum Er-

stellen einer Menge von Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern für einen Einsatz in einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren. Ein solches Erstellungsverfahren weist die folgenden Schritte auf:

- [0034]** - Simulieren eines Elektromotors mit einem Elektromotor-Simulationsmodell über eine Mindestzahl von Betriebspunkten,
- [0035]** - Erfassen von Simulations-Betriebsparametern aus dem Elektromotor-Simulationsmodell als Ergebnis des Simulierens,
- [0036]** - Erfassen von Simulations-Elektromotorparametern aus dem Elektromotor-Simulationsmodell als Ergebnis des Simulierens,
- [0037]** - Variieren von Abweichungsparametern des Elektromotors im Elektromotor-Simulationsmodell,
- [0038]** - Wiederholen des Simulierens des Erfassens der Simulationsparameter und des Erfassens der Simulations-Elektromotorparameter,
- [0039]** - Erstellen von Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern zu den variierten Abweichungsparametern auf Basis der erfassten Simulationsparameter und der erfassten Simulations-Elektromotorparameter.

[0040] Ein erfindungsgemäßes Verfahren erlaubt es, dass durch den Einsatz eines Elektromotor-Simulationsmodells in einfacher Weise Alterungszustände und/oder Toleranzen als Vorgabeabweichungen simuliert werden können. Während bei bekannten Lösungen in der Vermessung realer Elektromotoren ausschließlich die tatsächlichen geometrischen Zustände und Alterungszustände dieses einen Elektromotors vermessen werden, kann bei einem erfindungsgemäßen Erstellungsverfahren eine ganze Reihe definiert unterschiedlicher Elektromotoren mit definierten Vorgabeabweichungen überprüft und simuliert werden. Diese reihenförmige Anpassung erlaubt es beispielsweise, eine Toleranz nach der anderen abzu prüfen und entsprechend für unterschiedliche Einzeltoleranzen und/oder eine zentrale Kombinationstoleranz eine Abweichungsreihe durchzuführen. Darunter ist zu verstehen, dass Schritt für Schritt die Abweichungsparameter angepasst werden, also beim bereits mehrfach angewendeten Beispiel des Durchmessers des Rotors, beispielsweise in Mikrometerschritten, die Durchmesser des Rotors von minus 5 Mikrometer bis plus 5 Mikrometer durchsimuliert werden. Dies führt zu insgesamt zehn Prüfdurchläufen, in diesem Beispiel, sodass entsprechende zehnmal die Erfassung der Simulationsparameter und der Simulations-Elektromotorparameter stattfindet. Auf diese Weise entstehen demnach auch zehn unterschiedliche Abweichungs-Kontroll-Kennfelder, welche korrelieren mit dem Abweichungsparameter hinsichtlich des Durchmessers des Rotors. Selbstverständlich können auch andere Abweichungsparameter oder Alterungsparameter verwendet werden oder miteinander kombiniert werden.

[0041] Damit wird es nun möglich, dass insbesondere in Korrelation mit den Simulations-Elektromotorparametern korrelierend mit den Abweichungsparametern für jeden Abweichungsprüflauf ein Abweichungs-Kontrollkennfeld erstellt wird. In einer Kennfeld-Datenbank werden diese zusammen mit den zugehörigen Simulations-Elektromotorparametern abgespeichert, so dass beim späteren Anwenden in einem erfindungsgemäßen Kontrollverfahren die bestimmten Ist-Elektromotorparameter es erlauben, die dazu passenden Simulations-Elektromotorparameter zu suchen und das damit korrelierende Abweichungs-Kontroll-Kennfeld als Ist-Kontroll-Kennfeld auszuwählen.

[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. Es zeigen schematisch:

- [0043]** Fig. 1 eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung,
- [0044]** Fig. 2 eine Durchführungsmöglichkeit eines Kontrollverfahrens an einem Elektromotor,
- [0045]** Fig. 3 eine erste Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens,

- [0046] Fig. 4 eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens,
 [0047] Fig. 5 eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens,
 [0048] Fig. 6 eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung,
 [0049] Fig. 7 eine erfindungsgemäße Ausführungsform eines Erstellungsverfahrens.

[0050] Figur 1 zeigt eine Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Kontrollvorrichtung 10. Diese ist hier für den Durchlauf eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens ausgestaltet und kann zum Beispiel in ein Fahrzeug mit Elektromotor 100 integriert sein. Dafür sind Sensoren vorhanden, welche an einem Elektromotor 100 im laufenden Betrieb, also beim Betreiben mit Betriebsparametern BP, diese als Ist-Betriebsparameter IBP durch ein Erfassungsmodul 20 erfasst. Diese erfassten Ist-Betriebsparameter IBP werden weitergegeben an ein Bestimmungsmodul 30, welches auf dieser Basis, zum Beispiel unter Nutzung eines bekannten physikalischen Zusammenhangs, Ist-Elektromotorparameter IEP bestimmt. Diese werden wiederum weitergegeben an das Auswahlmodul 40, welches bei der Ausführungsform der Figur 1 auf eine Kennfeld-Datenbank KD zurückgreift. In dieser sind korrelierend mit Ist-Elektroparametern IEP eine Vielzahl von Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern AKK gespeichert, wobei das für die bestimmten Ist-Elektroparameter IEP passende Abweichungs-Kontroll-Kennfeld AKK als Ist-Kontroll-Kennfeld IKK ausgewählt wird. Diese Auswahl wird weitergegeben an das Anwendungsmodul 50, welches nun dieses neu ausgewählte Ist-Kontroll-Kennfeld IKK zur Vorgabe von Soll-Betriebsparametern SBP des Elektromotors 100 verwendet.

[0051] Die Figur 2 zeigt schematisch eine bekannte Möglichkeit für die Kontrolle von Elektromotoren 100. Links oben ist die Vorgabe beispielsweise einer Drehmomentanforderung vom Fahrer des Fahrzeugs und damit des Nutzers des Elektromotors 100 zu erkennen. Diese wird aufgeteilt wie auf ein zweidimensionales rotorfestes Koordinatensystem und damit unter Nutzung von zwei Ist-Kontroll-Kennfeldern IKK eine Vorgabe von zwei Soll-Betriebsparametern SBP in Form von Soll-Strömen SI. Diese werden weitergegeben an eine Feed-Back-Schleife FBS, um anschließend als Soll-Betriebsparameter daraus Soll-Ströme SU im zweidimensionalen Koordinatensystem vorzugeben. Final erfolgt eine Rücktransformation in das dreiphasige Koordinatensystem des Elektromotors 100, um dort den Betrieb in der gewünschten Weise vorzugeben. Um nun den Regelkreis zu schließen, werden im dreiphasigen Koordinatensystem des Elektromotors 100, hier die Ist-Betriebsparameter IBP erfasst und wieder sowohl in die Feed-Back-Schleife FBS als auch auf Impedanzebene in die Feed-Forward-Schleife FFS zurückgeführt. Damit wird es möglich, die Kontrolle durchzuführen und in bekannter Weise den Elektromotor zu regeln.

[0052] Erfindungsgemäß zeigt nun die Figur 3 eine Möglichkeit diese Kontrolle zu verbessern. Hierfür wird in das Kontrollverfahren eine Optimierungsebene eingeführt. Die Kontrollvorrichtung 10 ist nun hier in der Lage, ebenfalls auf Basis der Ist-Betriebsparameter IBP das Kontrollverfahren durchzuführen, wie es mit Bezug auf Figur 1 erläutert worden ist. Im Ergebnis steht ein ausgewähltes Abweichungs-Kontroll-Kennfeld AKK als neues Ist-Kontroll-Kennfeld IKK, welches bei der Ausführungsform der Figur 3 in die Feed-Forward-Schleife FFS integriert ist. Bei dieser Lösung handelt es sich um ein Ist-Kontroll-Kennfeld IKK für die beiden Impedanzen L_d und L_q in dieser Feed-Forward-Schleife FFS, welche jeweils durch ein dafür für die aktuelle Vorgabeabweichung spezifisches Abweichungs-Kontroll-Kennfeld AKK ersetzt werden. Für den weiteren Kontrollverlauf des Elektromotors 100 sind nun die neu eingesetzten Ist-Kontroll-Kennfelder IKK maßgeblich, sodass bei dieser Ausführungsform insbesondere mit geringeren Vibrationen und geringeren Geräuschemissionen der Betrieb des Elektromotors 100 stattfinden kann.

[0053] Die Figur 4 zeigt eine alternative Möglichkeit eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens. Bei dieser Lösung ist die Kontrollvorrichtung 10 in die Feed-Back-Schleife FBS integriert. Das bedeutet, dass wieder ausgehend von den erfassten Ist-Betriebsparametern IBP eine Ermittlung von hier wieder zwei Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern AKK zur Verfügung gestellt wird, welche jedoch hier am Eingang der übergeordneten Feed-Back-Schleife FBS als neues Ist-Kontroll-Kennfeld IKK für das Ersetzen des Soll-Ströme SI als Soll-Betriebsparameter SBP gesetzt werden. Diese Lösung zählt insbesondere darauf ab, die Drehmomentanforderung, welche zum

Beispiel vom Fahrpedal des Fahrzeugs kommt, möglichst genau zu erfüllen.

[0054] Die Figur 5 kombiniert die beiden Lösungen der Figuren 3 und 4 und erlaubt es damit, möglichst effizient und vibrationsarm, damit auch unter geringerer Geräuschemission ein möglichst exaktes Erfüllen der Drehmomentanforderung zu gewährleisten.

[0055] In der Figur 6 ist eine Weiterbildung der Kontrollvorrichtung 10 zu erkennen. Hier wird zusätzlich am Elektromotor 100 ein Hinweisparameter HP erfasst. Dabei kann es sich zum Beispiel um eine Geräuschemission, eine Vibrationsfrequenz oder Ähnliches handeln. Auf dieser Basis kann nun ausgehend vom Hinweisparameter, HP insbesondere, wenn dieser eine Hinweisgrenze überschreitet, das erfindungsgemäße Kontrollverfahren aktiv getriggert und damit gestartet werden.

[0056] Die Figur 7 zeigt eine Möglichkeit eines erfindungsgemäßen Erstellungsverfahrens. Hier ist zu erkennen, dass der Elektromotor 100 in einem Elektromotor-Simulationsmodell ESM simuliert werden kann. Diese Elektromotor-Simulationsmodelle ESM sind vorzugsweise alle identisch und können durch einen oder mehrere Abweichungsparameter AP variiert werden. Hier sind 3 verschiedene Durchläufe der Simulation dargestellt. Dabei wird immer der gleiche Abweichungsparameter AP als unterschiedlich variiert, als AP1, AP2 und AP3. Für alle unterschiedlichen Vorgabeabweichungen, basierend auf den unterschiedlich quantitativ ausgewählten Abweichungsparametern AP, werden nun sowohl Simulations-Betriebsparameter SIBP als auch Simulations-Elektromotorparameter SIEP ermittelt. Für jede dieser Prüfdurchläufe und damit für jede Vorgabeabweichung kann nun ein dazu passendes Abweichungs-Kontroll-Kennfeld AKK ermittelt werden und damit ein entsprechender Datensatz für das Bestücken der Kennfeld-Datenbank KD aufgebaut werden.

[0057] Die voranstehende Erläuterung beschreibt die vorliegende Erfindung ausschließlich im Rahmen von Beispielen.

BEZUGSZEICHENLISTE

10	Kontrollvorrichtung
20	Erfassungsmodul
30	Bestimmungsmodul
40	Auswahlmodul
50	Anwendungsmodul
100	Elektromotor
BP	Betriebsparameter
IBP	Ist-Betriebsparameter
SBP	Soll-Betriebsparameter
SIBP	Simulations-Betriebsparameter
SU	Soll-Spannung
SI	Soll-Strom
IEP	Ist-Elektromotorparameter
SIEP	Simulations-Elektromotorparameter
AP	Abweichungsparameter
HP	Hinweisparameter
IKK	Ist-Kontroll-Kennfeld
AKK	Abweichungs-Kontroll-Kennfeld
KD	Kennfeld-Datenbank
L	Impedanz
Ld	Impedanz
Lq	Impedanz
FFS	Feed-Forward-Schleife
FBS	Feed-Back-Schleife
ESM	Elektromotor-Simulationsmodell

Patentansprüche

1. Kontrollverfahren für eine Kontrolle von Betriebsparametern (BP) eines Elektromotors (100), insbesondere zum Antrieb eines Fahrzeugs, aufweisend die folgenden Schritte:
 - Erfassen von Ist-Betriebsparametern (IBP) des Elektromotors (100),
 - Bestimmen wenigstens eines Ist-Elektromotorparameters (IEP) des Elektromotors (100) auf Basis der erfassten Ist-Betriebsparameter (IBP) als Maß für eine Vorgabeabweichung des Elektromotors (100),
 - Auswählen eines Ist-Kontroll-Kennfeldes (IKK) aus einer Menge an Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern (AKK) auf Basis des wenigstens einen bestimmten Ist-Elektromotorparameters (IEP),
 - Anwenden des ausgewählten Ist-Kontroll-Kennfeldes (IKK) für die Vorgabe von wenigstens einem Soll-Betriebsparameter (SBP) für den Betrieb des Elektromotors (100).
2. Kontrollverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der wenigstens eine Ist-Elektromotorparameter (IEP) zumindest eine Impedanz (L) des Elektromotors (100) aufweist, insbesondere beide Impedanzen (Ld, Lq) des Elektromotors (100).
3. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Auswahl des Ist-Kontroll-Kennfeldes (IKK) aus einer Kennfeld-Datenbank (KD) mit der Menge an Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern (AKK) erfolgt.
4. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Menge an Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern (AKK), insbesondere mehrfach, aktualisiert wird.
5. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schritte des Erfassens, des Bestimmens, des Auswählens und des Anwendens zumindest einmal wiederholt werden.
6. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass wenigstens ein Hinweisparameter (HP) überwacht wird, wobei die Schritte des Erfassens, des Bestimmens, des Auswählens und des Anwendens durchgeführt werden, wenn der wenigstens eine Hinweisparameter (HP) einen Hinweisgrenzwert überschreitet.
7. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Erfassung der Ist-Betriebsparameter (IBP) über eine Mindestanzahl unterschiedlicher Betriebssituationen des Elektromotors (100) erfolgt, wobei der Schritt der Bestimmung und/oder der Auswahl erst durchgeführt wird, wenn die Mindestzahl der unterschiedlichen Betriebssituationen erreicht ist.
8. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei der Auswahl des Ist-Kontroll-Kennfeldes (IKK) ein Bereich herausgefiltert wird.
9. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schritte des Auswählens und des Anpassens für eine Feed-Forward-Schleife (FFS) des Kontrollverfahrens, insbesondere für die Vorgabe von Soll-Spannungen (SU) als Soll-Betriebsparameter (SBP), erfolgt.
10. Kontrollverfahren nach einem der vorangegangenen Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schritte des Auswählens und des Anpassens für eine Feed-Back-Schleife (FBA) des Kontrollverfahrens, insbesondere für die Vorgabe von Soll-Strömen (SI) als Soll-Betriebsparameter (SBP), erfolgt.
11. Kontrollvorrichtung (10) für eine Kontrolle von Betriebsparametern (BP) eines Elektromotors (100) zum Antrieb eines Fahrzeugs, aufweisend ein Erfassungsmodul (20) für ein Erfassen von Ist-Betriebsparametern (IBP) des Elektromotors (200), ein Bestimmungsmodul (30) für ein Bestimmen wenigstens eines Ist-Elektromotorparameters (IEP) des Elektromotors (200) auf Basis der erfassten Ist-Betriebsparameter (IBP) als Maß für eine Vorgabeabweichung (VA) des Elektromotors (200), ein Auswahlmodul (40) für ein Auswählen eines Ist-Kontroll-Kennfeldes (IKK) aus einer Menge an Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern (AKK) auf Basis

des wenigstens einen bestimmten Ist-Elektromotorparameters (IEP) und ein Anwendungsmodul (50) für ein Anwenden des ausgewählten Ist-Kontroll-Kennfeldes (IKK) für die Vorgabe von wenigstens einem Soll-Betriebsparameter (SBP) für den Betrieb des Elektromotors (100), wobei das Erfassungsmodul (20), das Bestimmungsmodul (30), das Auswahlmodul (40) und/oder das Anwendungsmodul (50) für eine Durchführung eines erfindungsgemäßen Kontrollverfahrens ausgebildet sind.

12. Computerprogrammprodukt, aufweisend Befehle, welche bei der Ausführung des Programms auf einem Computer diesen veranlassen die Schritte eines Kontrollverfahrens mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 10 durchzuführen.
13. Erstellungsverfahren zum Erstellen einer Menge von Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern (AKK) für einen Einsatz in einem Kontrollverfahren mit den Merkmalen eines der Ansprüche 1 bis 10, aufweisend die folgenden Schritte.
 - Simulieren eines Elektromotors (100) mit einem Elektromotor-Simulationsmodell (ESM) über eine Mindestzahl von Betriebspunkten,
 - Erfassen von Simulations-Betriebsparametern (SIBP) aus dem Elektromotor-Simulationsmodell (ESM) als Ergebnis des Simulierens,
 - Erfassen von Simulations-Elektromotorparametern (SIEP) aus dem Elektromotor-Simulationsmodell (ESM) als Ergebnis des Simulierens,
 - Variieren von Abweichungsparametern (AP) des Elektromotors (100) im Elektromotor-Simulationsmodell (ESM),
 - Wiederholen des Simulierens, des Erfassens der Simulations-Betriebsparameter (SIBP) und des Erfassens der Simulations-Elektromotorparameter (SIEP),
 - Erstellen von Abweichungs-Kontroll-Kennfeldern (AKK) zu den variierten Abweichungsparametern (AP) auf Basis der erfassten Simulations-Betriebsparameter (SIBP) und der erfassten Simulations-Elektromotorparameter (SIEP).

Hierzu 7 Blatt Zeichnungen

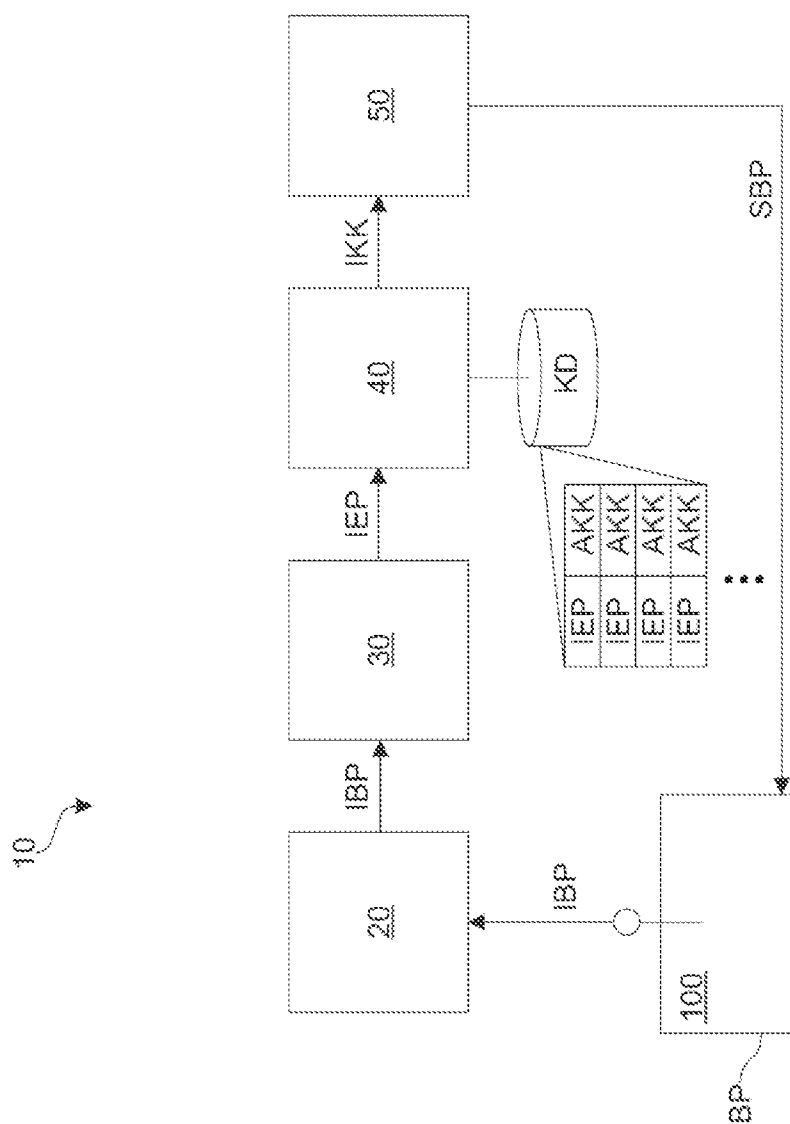


Fig. 1

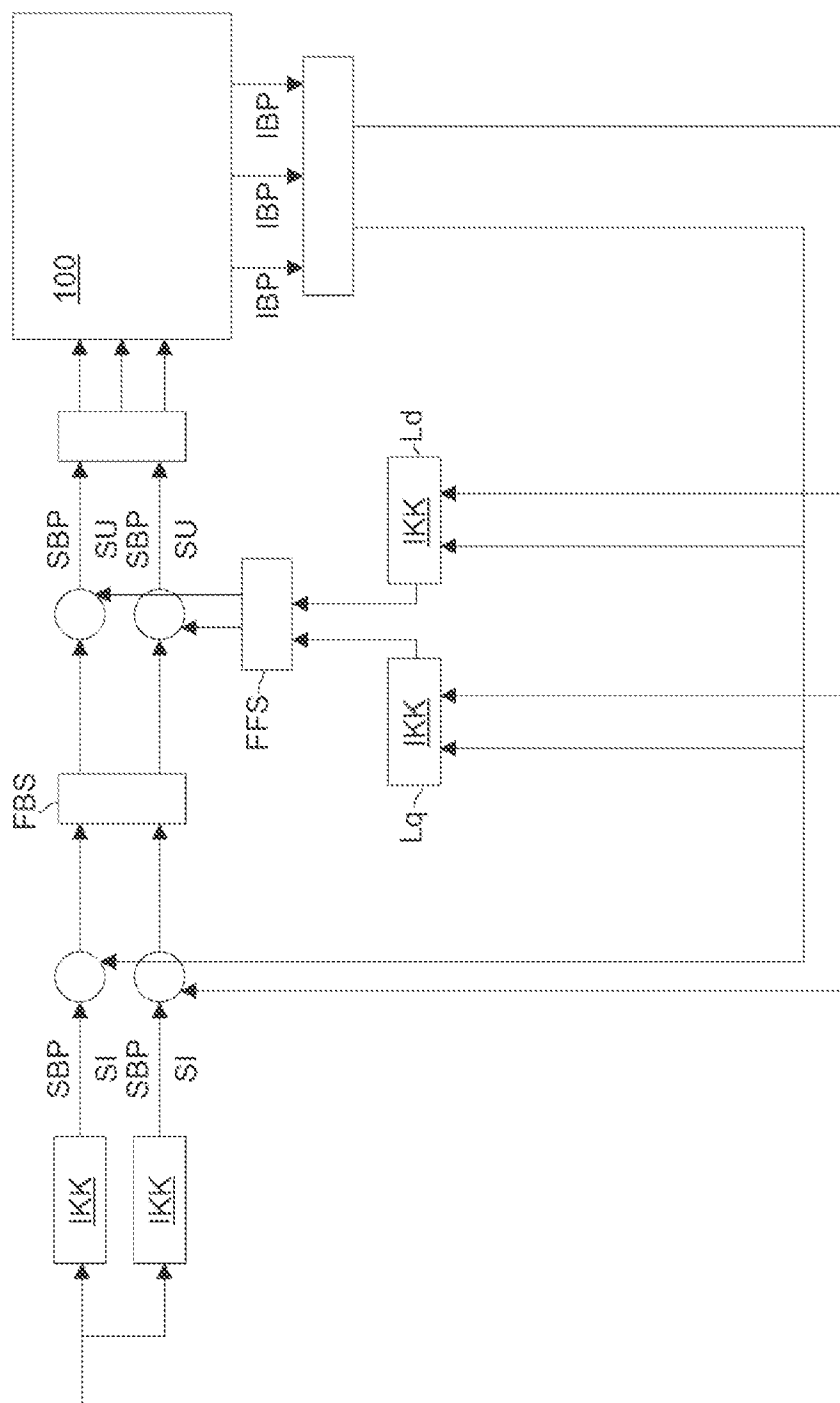


Fig. 2

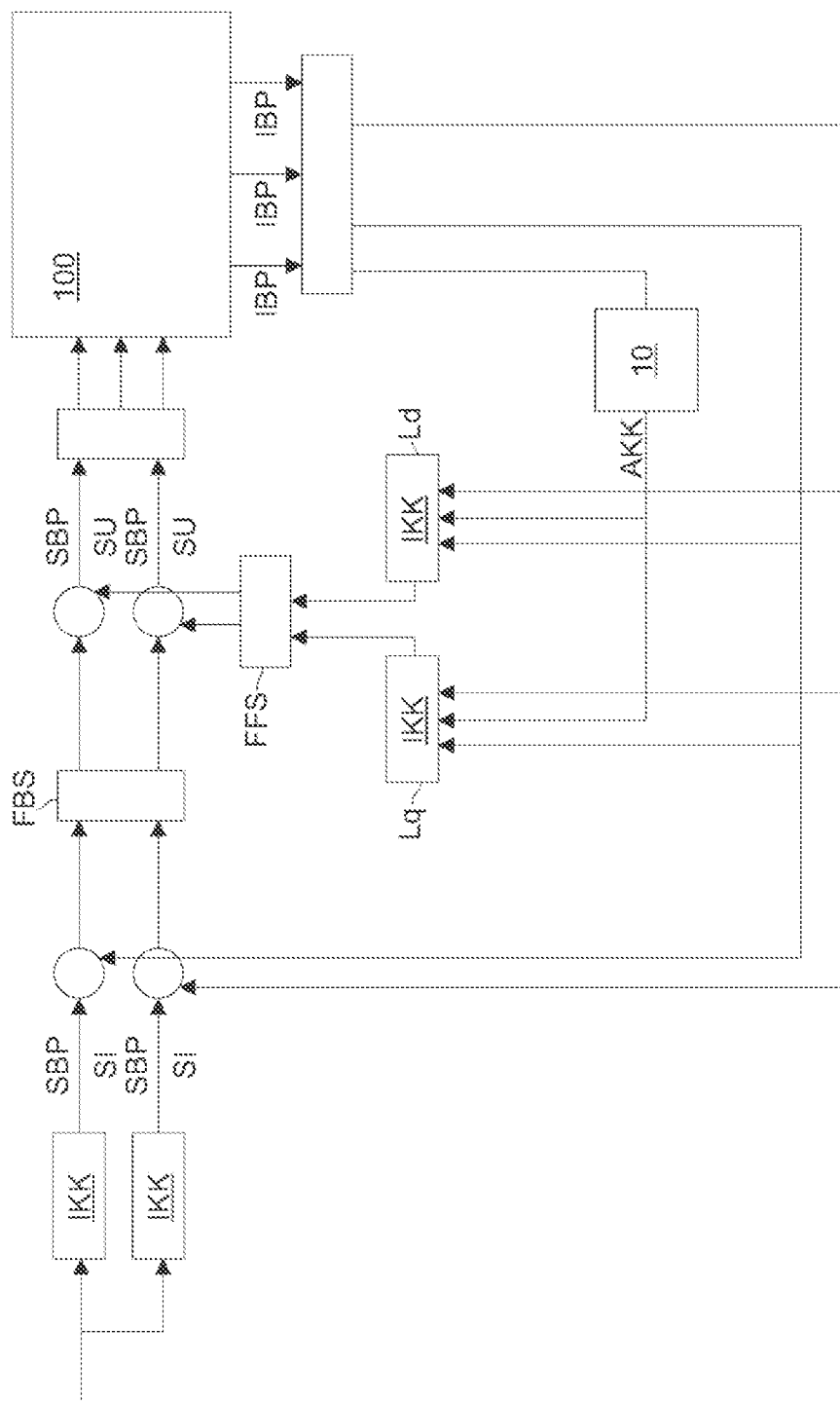
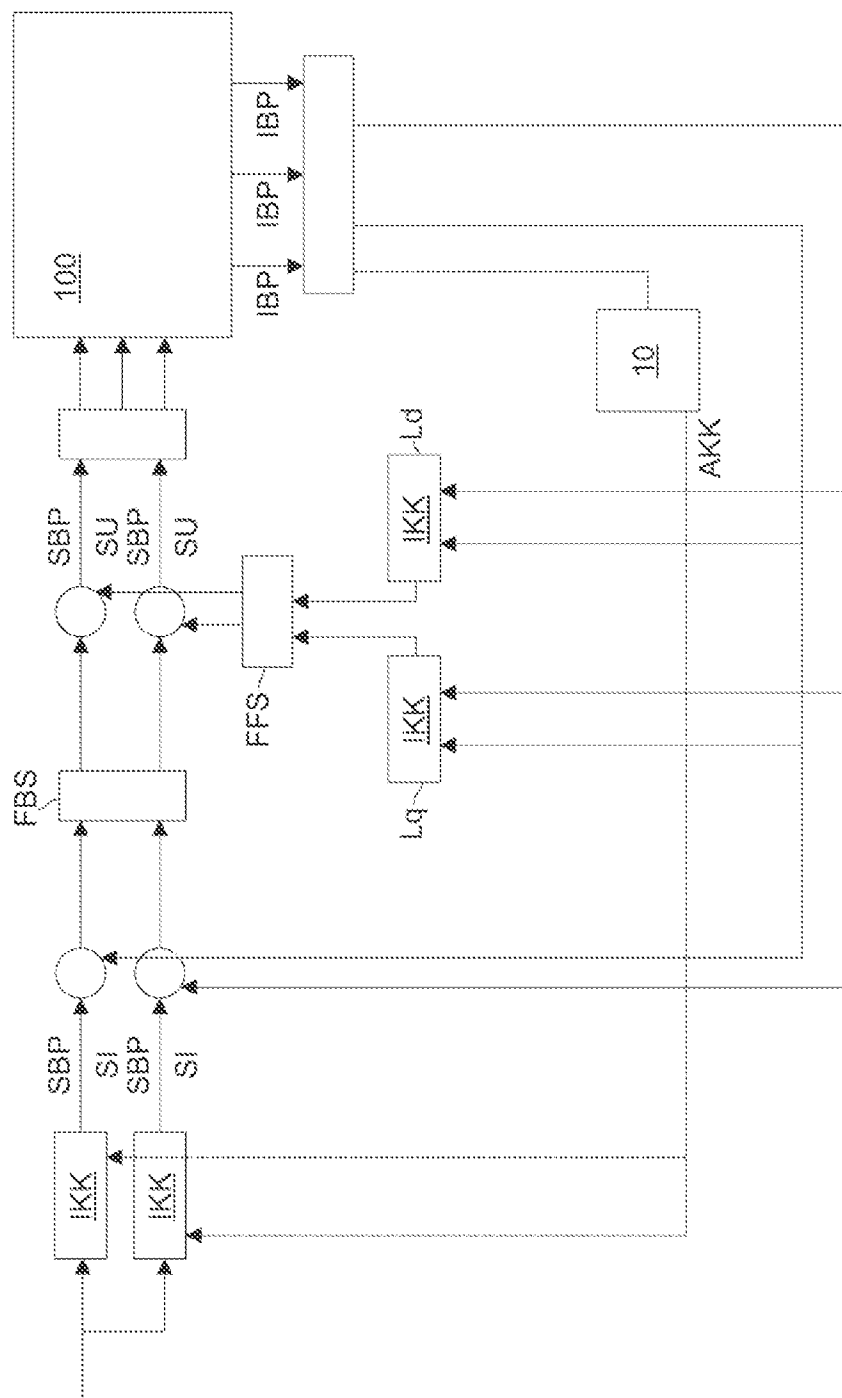


Fig. 3



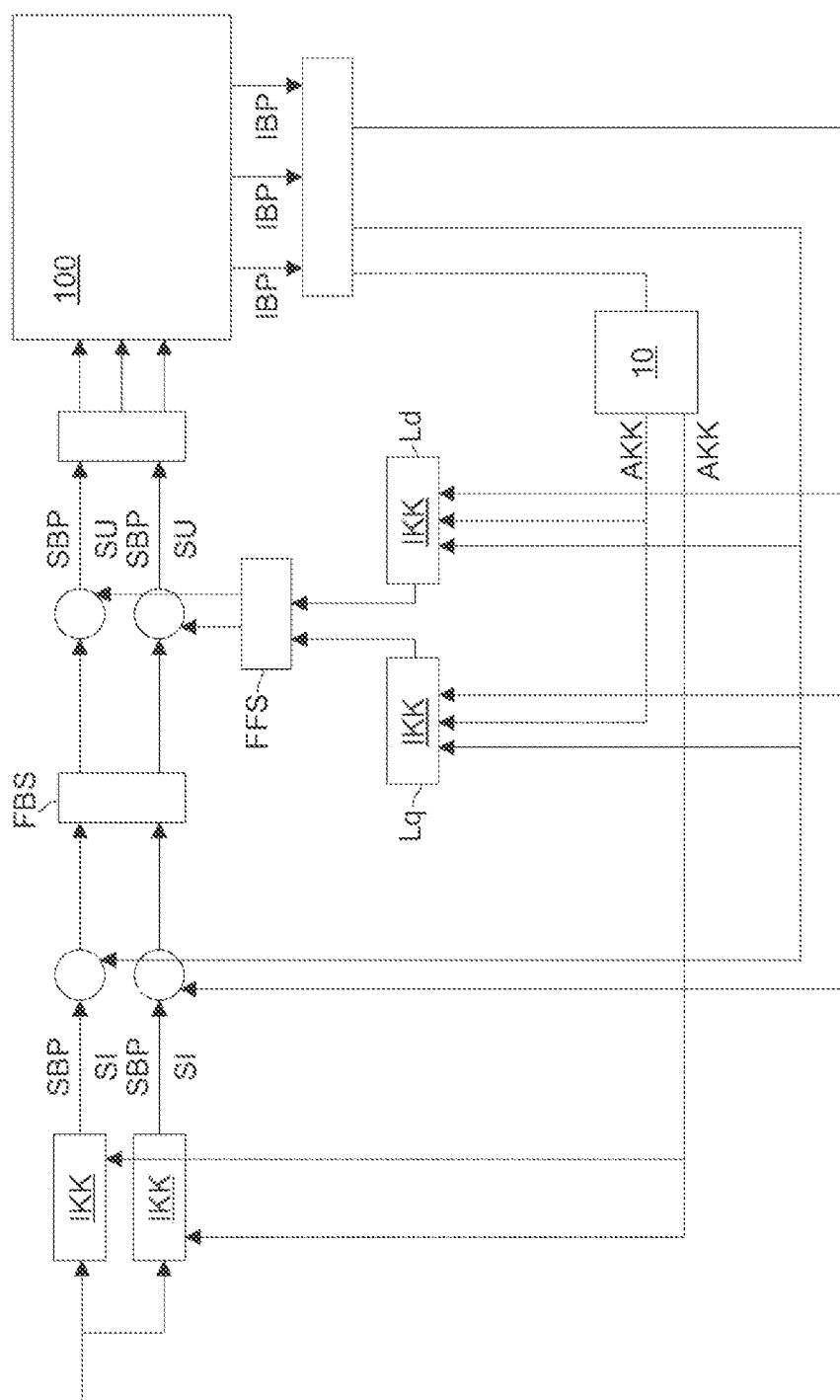


Fig. 5

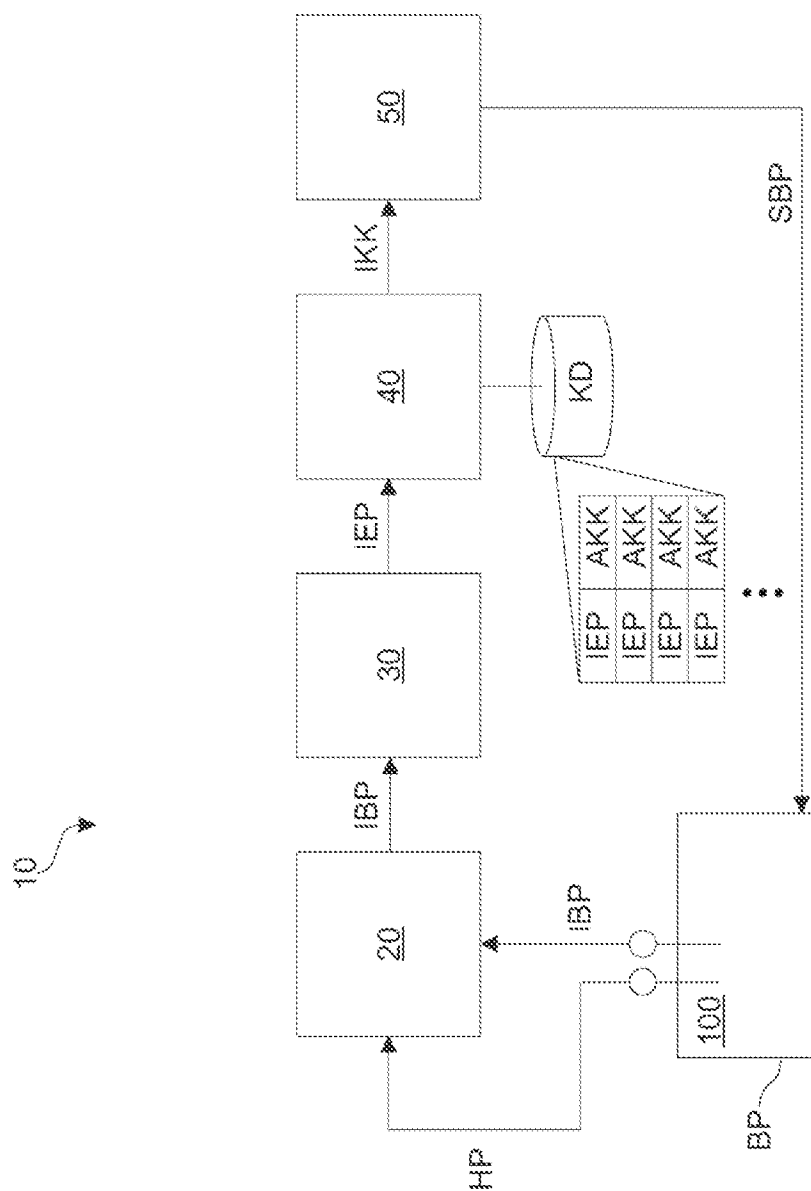


Fig. 6

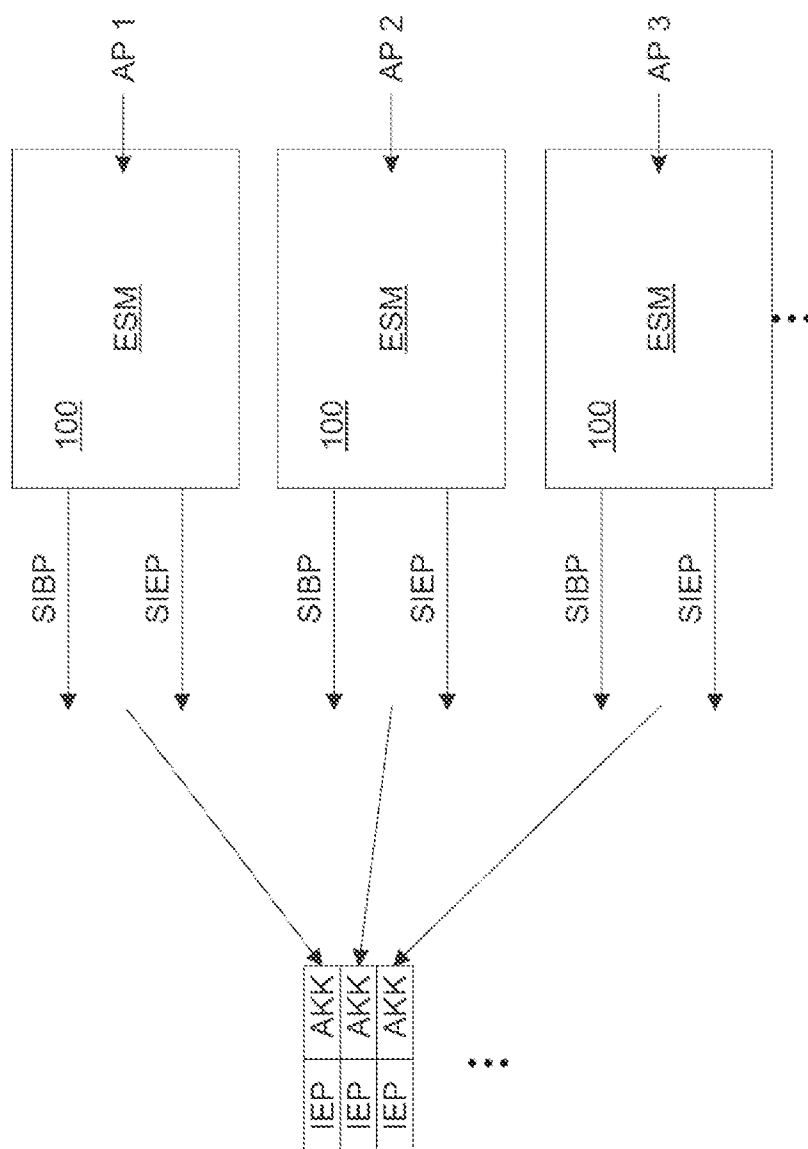


Fig. 7