

(12) **Gebrauchsmusterschrift**

(21) Anmeldenummer: GM 677/2009
(22) Anmeldetag: 28.10.2009
(24) Beginn der Schutzdauer: 15.12.2009
(45) Ausgabetag: 15.02.2010

(51) Int. Cl.⁸: **G01M 15/02** (2006.01)

(73) Gebrauchsmusterinhaber:
AVL LIST GMBH
A-8020 GRAZ (AT)

(54) **VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER PRÜFANORDNUNG**

(57) Ein Verfahren zum Betreiben einer Prüfanordnung, vorzugsweise eines Prüfstandes für Fahrzeuge oder deren Teilsysteme, insbesondere Verbrennungsmaschinen, Elektromaschinen, Batterien, Antriebsstrangsysteme oder Teilsystemen davon, mit zumindest einem mit dem Prüfling gekoppelten Aktor, sieht vor über zumindest ein Simulationssystem zeitvariante Betriebspunktvektoren für die Gesamtanordnung von Prüfstand und Prüfling gemäß einem Simulationsmodell vorzugeben.

Um eine optimale Nutzung des gesamten Parameterraumes zu ermöglichen, dabei aber die Sicherheit und Unversehrtheit von Prüfling und Prüfstand zu gewährleisten, werden die aktuelle Konfiguration der Gesamtanordnung durch das Simulations- oder Automatisierungssystem automatisiert und/oder online überprüft und ebenso die Realisierbarkeit oder Erwünschtheit der Betriebspunktvektoren mit dieser Konfiguration der Gesamtanordnung überprüft, und werden bei Feststellung von nicht realisierbaren und/oder unerwünschten Betriebspunktvektoren sowohl das Simulationsmodell als auch die Gesamtanordnung verändert und die nicht realisierbaren Betriebspunktvektoren in den realisierbaren und/oder gewünschten Bereich verschoben.

Beschreibung

VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER PRÜFANORDNUNG

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Prüfanordnung, vorzugsweise eines Prüfstandes für Fahrzeuge oder deren Teilsysteme, insbesondere Verbrennungsmaschinen, Elektromaschinen, Batterien, Antriebsstrangsysteme oder Teilsystemen davon, mit zumindest einem mit dem Prüfling gekoppelten Aktor, wobei über zumindest ein Simulationssystem zeitvariante Betriebspunktvektoren für die Gesamtanordnung von Prüfstand und Prüfling gemäß einem Simulationsmodell vorgegeben werden.

[0002] Individuelle Mobilität von heute bedeutet - neben Komfort und Sicherheit - vor allem Energieeffizienz. Die zunehmende Durchdringung des Fahrzeugs mit Steuerungs- und Regelungsfunktionen und deren Nutzung im Hinblick auf ein energieeffizientes Gesamtfahrzeug stellt hohe Anforderungen, da die Funktionen oft auf viele Steuergeräte verteilt sind und sich erst im optimierten Verbund die festgelegten Ziele erreichen lassen.

[0003] Durch die Einbeziehung leistungsfähiger Simulationsmethoden können herkömmliche Rollenprüfstände oder andere Leistungsprüfstände zu einem leistungsfähigen „Vehicle-in-the-Loop“ Prüfstand und einer mechatronischen Entwicklungsplattform weitergebildet werden.

[0004] Insbesondere ist es immer häufiger das Ziel, durch Tests am Prüfstand den im gesamten späteren Einsatzbereich sich einstellenden Energieverbrauch realitätsnah zu messen, zu bewerten und zu optimieren. Hierbei sind die unterschiedlichsten Betriebs- und Umgebungsbedingungen zu berücksichtigen.

[0005] Das Ziel dabei ist es, in Fahrversuchen, insbesondere am Leistungsprüfstand, das Fahrzeug möglichst im gesamten Fahrmanöver-Parameterraum realitätsnah zu betreiben, um so die im späteren Alltagsgebrauch vorkommenden verbrauchsrelevanten Situationen abzudecken. Die Ermittlung dieses „energetischen Fingerprints“ ist vor dem Hintergrund der frühzeitigen Absicherung der CO₂-Emissionen und des Kraftstoffverbrauchs ein Hauptanliegen dieser Testmethode. Das Verfahren leistet darüber hinaus einen signifikanten Beitrag zur Verkürzung der Entwicklungszeit, da mit den steigenden Anforderungen die weitere Entwicklung zügig vorangehen muss.

[0006] Um verschiedene Testfälle am Leistungsprüfstand umzusetzen, kann durch Nutzung von Simulationsmodellen ein manöver- und ereignisbasiertes Testen erfolgen. Das „Fahren“ eines Fahrzeuges ist eine Abfolge von Ereignissen und Manövern, wodurch eine manöver- und ereignisbasierte Testbeschreibung eine hocheffiziente „Lingua Franca“ im Fahrzeug-Entwicklungsprozess darstellt. Somit erlaubt eine manöver- und ereignisbasierte Entwicklungsumgebung auch eine Verschmelzung traditionell getrennter Entwicklungsbereiche, wie beispielsweise Chassis und Antriebsstrang, wodurch zusätzlich Vernetzungspotentiale gehoben werden. Auch wird durch die einzigartige Vereinigung der vier Testumgebungen „Office - Lab - TestBed - Road“ unter eine gemeinsame Benutzeroberfläche sowie Datenverwaltung wird eine neue Qualität im Entwicklungsprozess erzielt.

[0007] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine optimale Nutzung des gesamten Parameterraumes zu ermöglichen, und dabei aber die Sicherheit und Unversehrtheit von Prüfling und Prüfstand zu gewährleisten.

[0008] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass die aktuelle Konfiguration der Gesamtanordnung durch das Simulations- oder Automatisierungssystem automatisiert und/oder online überprüft und ebenso die Realisierbarkeit oder Erwünschtheit der Betriebspunktvektoren mit dieser Konfiguration der Gesamtanordnung überprüft werden, und dass bei Feststellung von nicht realisierbaren und/oder unerwünschten Betriebspunktvektoren sowohl das Simulationsmodell als auch die Gesamtanordnung verändert und die nicht realisierbaren Betriebspunktvektoren in den realisierbaren und/oder gewünschten Bereich verschoben werden. Der Betriebspunktvektor enthält hierbei Vorgaben für die Aktuatorik (beispielsweise die

Leistungsbremse) als auch für die im Prüfling verbauten Sensoren.

[0009] Gemäß einem vorteilhaften Ausführungsbeispiel ist dabei vorgesehen, dass während des Prüflaufes ein Simulationsmodell für die aktuelle Gesamtanordnung oder Teilsysteme davon mitläuft und die Realisierbarkeit und/oder Erwünschtheit der Betriebspunktvektoren unter Berücksichtigung dieses Simulationsmodells, vorzugsweise in Echtzeit, überprüft wird.

[0010] Auch kann während des Prüflaufes ein Beobachtermodell der aktuellen Gesamtanordnung mitlaufen und die Realisierbarkeit und/oder Erwünschtheit der Betriebspunktvektoren mittels dieses Simulations- oder Automatisierungsmodells, vorzugsweise in Echtzeit, überprüft werden. Während das Simulationsmodell abbildet, was am Prüfstand nicht vorhanden ist (z.B. Reifenmodell bei einem Motorprüfstand), bildet das Beobachtermodell ab, was am Prüfstand vorhanden ist (z.B. Motor inklusive Belastungsmaschine und Reglerdynamik bei einem Motorprüfstand) und erlaubt eine Überprüfung der Realisierbarkeit und/oder Erwünschtheit der Betriebspunktvektoren anhand dieses Modells.

[0011] Um die Auswertung des Prüflaufes exakt bewerten zu können, ist vorteilhafterweise vorgesehen, dass die Veränderungen und die Eingriffe des Simulationsmodells protokolliert werden.

[0012] Als erfindungsgemäße Maßnahme zum optimalen Schutz des Gesamtsystems in Verbindung mit einem möglichst ungestörten und reibungslos ablaufenden Prüflauf ist das Verfahren derart ausgestaltet, dass bei Feststellung von nicht realisierbaren und/oder unerwünschten Betriebspunktvektoren zumindest eine vom Simulationssystem vorgegebene, diesen Betriebspunktvektor charakterisierende Größe um einen Korrekturbetrag verändert wird, der zur Verschiebung des Betriebspunktvektors in den realisierbaren und/oder erwünschten Bereich ausreicht.

[0013] Gemäß einer Variante des Verfahrens kann vorgesehen sein, dass zumindest Teilbereiche bzw. Freiheitsgrade des Simulationsmodells rheonom geführt werden.

[0014] Ein anderes Ausführungsbeispiel der Erfindung sieht vor, dass zumindest Teilbereiche bzw. Freiheitsgrade des Simulationsmodells beliebig zwischen rheonomen und skleronomen Bindungen umgeschaltet werden.

[0015] Im Falle skleronomer Führung können dem Simulationssystem Zusatzmomente oder Zusatzkräfte eingeprägt werden, um das System in den gewünschten Betriebspunktvektor zu treiben.

[0016] In der nachfolgenden Beschreibung soll die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert werden.

[0017] Um verschiedene Testfälle für einen Prüflauf umzusetzen, kann durch Nutzung von Simulationsmodellen ein manöver- und ereignisbasiertes Testen erfolgen. Das „Fahren“ eines Fahrzeuges ist eine Abfolge von Ereignissen und Manövern, wodurch eine manöver- und ereignisbasierte Testbeschreibung eine hocheffiziente „Lingua Franca“ im Fahrzeug-Entwicklungsprozess darstellt. Somit erlaubt eine manöver- und ereignisbasierte Entwicklungsumgebung auch eine Verschmelzung traditionell getrennter Entwicklungsbereiche, wie beispielsweise Chassis und Antriebsstrang, wodurch zusätzlich Vernetzungspotentiale gehoben werden. Auch wird durch die einzigartige Vereinigung der vier Testumgebungen „Office - Lab - TestBed - Road“ unter eine gemeinsame Benutzeroberfläche sowie Datenverwaltung wird eine neue Qualität im Entwicklungsprozess erzielt.

[0018] Oftmals werden die beim Prüflauf zu durchfahrenden Betriebspunktvektoren, d.h. jene Gruppe von Parametern und Sollwerten, welche einen bestimmten Zustand des Prüflings und/oder Gesamtsystems charakterisiert, gemäß den Vorgaben beispielsweise eines Simulationssystems von einem Prüfstandsautomatisierungssystem eingestellt. Es gibt aber auch die Möglichkeit, dass die Betriebspunktvektoren direkt vom Simulationssystem vorgegeben werden. Man braucht dann kein Automatisierungssystem. Benötigt wird allenfalls ein Controller für die Regelungsthemen, aber auch das nur aus Gründen der Sicherheitsüberwachung usw. Es gibt

auch hier die Möglichkeit direkt die Sollwerte dem Umrichter mitzuteilen. Das beschriebene Verfahren ist unabhängig von der Anzahl der "Zwischenschichten" zwischen Simulation und Aktor.

[0019] Üblicherweise wird das Gesamtsystem von Prüfstandsordnung und Prüfling in einer Betriebsart betrieben, bei der der Prüfling im geschlossenen Regelkreis über die PowerBonds mit dem virtuellen Fahrzeug- und Umgebungsmodell betrieben wird. Kein Prüfstand kann jedoch regelungstechnisch beliebige Bandbreiten darstellen, d.h. beliebige von der Simulationsumgebung angeforderten Gradienten bzw. Frequenzgänge umsetzen. Teilweise werden Drehzahlen/Drehmomente auch bewusst begrenzt, um den Prüfling zu schützen. Die Prüfstandsdynamik ist jedoch vorab meist sehr genau bekannt. Die angeforderten Drehzahlen können somit auf ihre Realisierbarkeit im Prüfstandskontext durch geeignete Prüfstandsmodelle online (also in Echtzeit) überprüft werden. Diese Überlegung führt dann auch zur Strategie, die Simulation so zu beeinflussen, dass Simulation und Prüfstand „synchron“ sind, d.h. nicht auseinanderlaufen. Die Simulation wird dann in einem Modus betrieben, bei welchem beispielsweise - im Falle der Begrenzung - geeignete Servo-Momente eingepreßt werden oder indem die Drehzahl rheonom (im Sinne der klassischen Mechanik) durch Zwangsmomente geführt wird. Die Umschaltung zwischen den beiden genannten Betriebsarten erfolgt stoßfrei zwischen zwei Integrationschritten. Die allenfalls dem Modell eingepreßten virtuellen Zusatzmomente werden protokolliert und stehen so dem Benutzer zur Verfügung. Das einfachste Beispiel wäre etwa eine Drehzahlbegrenzung.

[0020] Eine Variante der Überprüfung der Realisierbarkeit und/oder Erwünschtheit von Betriebspunktvektoren ist es, während des Prüflaufes ein Simulationsmodell für die aktuelle Gesamtanordnung und/oder für Teilsysteme davon mitlaufen zu lassen. So könnte beispielsweise bei einem Motorprüfstand mit dem realen Prüfling „Motor“ auch ein Simulationsmodell für einen nachgeschalteten Antriebsstrang vorgesehen sein und mitlaufen. Sollte ein für den Prüfling zwar möglicher Betriebspunktvektor sich für den -simulierten- Antriebsstrang als nicht realisierbar erweisen, könnte eine Verschiebung dieses Betriebspunktvektors stattfinden. Selbst wenn der Prüfstand ein Motorprüfstand ist, „läuft“ dennoch auf der Simulationsseite ein Motormodell mit (oder ein Teil eines Motormodells). Zum Beispiel ist die Trägheit des Motors Teil des Simulationsmodells. Für den realen Prüfling unerwünschte oder nicht realisierbare Betriebspunktvektoren können dann ohne Gefahr für das reale System aufgrund der Simulation festgestellt und vermieden und/oder verschoben werden. Es gibt also - vereinfachend ausgedrückt - Überlappungen zwischen realer und virtueller Welt. Gleiches gilt sinngemäß für alle Arten von Prüflingen.

[0021] Unerwünschte Betriebspunktvektoren können sich zum Beispiel aus einer Grenzwertüberwachung ergeben. Ein Motor soll etwa nicht zu schnell oder zu langsam drehen, oder der Motor soll nicht zu sehr beschleunigen, wie dies in der Realität nach einem Sprung über eine Kuppe über den Antriebsstrang mit Hochziehen des Motors erfolgen würde. Weitere Beispiele für nicht erwünschte Betriebspunktvektoren umfassen Verläufe, bei welchen der Motor nicht zu sehr „ent-schleunigen“ soll (Knallstart = Kavalierstart), wo der Motor wird beim Start über ein bestimmtes Geschwindigkeits-Zeit-Profil hochgezogen oder beim Stop über ein bestimmtes Geschwindigkeits-Zeit-Profil abgebremst wird.

[0022] In all diesen Fällen ist vorteilhafterweise vorgesehen, dass die Simulation derart verändert wird, um die nicht erwünschten und/oder nicht realisierbaren Betriebspunktvektoren zu verändern bzw. zu verschieben. Sofern eingegriffen wird, weil die Gefahr bestand oder besteht, dass „Grenzwerte“ verletzt werden, erfolgt eine Korrektur sinnvollerweise so, dass die Grenzwerte nicht mehr verletzt werden, bzw. so, dass der Sicherheitsabstand zu diesen Grenzwerten groß genug ist. Beispielsweise könnte sich über die Momentenbilanz eine Drehzahl von 8001 rpm ergeben, die sowohl simulationsseitig als auch am Prüfstand eingestellt werden soll. Der Drehzahlbegrenzer erkennt, dass das ein „unerwünschter Betriebspunkt“ ist. Daher schaltet das System um und zieht die simulierte Drehzahl auf „erlaubte“ 8000rpm hinunter. Die so korrigierte Drehzahl wird auch an den Prüfstand als Sollwertanforderung weitergegeben. Eine andere Variante könnte auch darin bestehen, dass ein „Hilfsmoment“ aufgebracht wird, das diese

Drehzahlkorrektur „einregelt“. In den übrigen, oben genannten Fällen wird sinngemäß vorgegangen.

[0023] Beim „Start/Stop“ wird man den Motor beispielsweise vielleicht entlang einer Trajektorie bewegen (zum Beispiel ist eine Rampe ein Beispiel für eine Trajektorie), die eine Resonanz des Prüfstands verhindert. Beispielsweise wird dabei die Rampe mit einer Zeitdauer $n \cdot T$ abgefahren, wobei $n \cdot T$ die „n“-fache Periodendauer der größten Periodendauer (niedrigsten Eigenfrequenz) des Prüfstandes ist.

[0024] Entscheidend ist dabei, dass sowohl auf Simulations- als auch auf der Prüfstandsseite eingegriffen wird, so dass die Simulation und das Gesamtsystem Prüfanordnung-Prüfling, d.h. die beiden Elemente reale und virtuelle Welt, nicht „auseinanderlaufen“. Für einen sinnvollen Prüflauf ist es wichtig, dass natürlich nicht nur der reale Motor geschützt wird (durch Grenzwert-Überwachung beispielsweise), dass aber auch der virtuelle Motor nicht „weglaufen“ bzw. hinlaufen kann. Das „Umschalten“ zwischen den beiden Arten von Betriebsmodi erfolgt vorteilhafterweise hochfrequent, zwischen zwei Integrationsschritten der Simulation. Dabei wird aber die „Regelart“ nicht verändert.

Ansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Prüfanordnung, vorzugsweise eines Prüfstandes für Fahrzeuge oder deren Teilsysteme, insbesondere Verbrennungsmaschinen, Elektromaschinen, Batterien, Antriebsstrangsysteme oder Teilsystemen davon, mit zumindest einem mit dem Prüfling gekoppelten Aktor, wobei über zumindest ein Simulationssystem zeitvariante Betriebspunktvektoren für die Gesamtanordnung von Prüfstand und Prüfling gemäß einem Simulationsmodell vorgegeben werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die aktuelle Konfiguration der Gesamtanordnung durch das Simulations- oder Automatisierungssystem automatisiert und/oder online überprüft und ebenso die Realisierbarkeit oder Erwünschtheit der Betriebspunktvektoren mit dieser Konfiguration der Gesamtanordnung überprüft werden, und dass bei Feststellung von nicht realisierbaren und/oder unerwünschten Betriebspunktvektoren sowohl das Simulationsmodell als auch die Gesamtanordnung verändert und die nicht realisierbaren Betriebspunktvektoren in den realisierbaren und/oder gewünschten Bereich verschoben werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass während des Prüflaufes ein Simulationsmodell für die aktuelle Gesamtanordnung und/oder für Teilsysteme davon mitläuft und die Realisierbarkeit und/oder Erwünschtheit der Betriebspunktvektoren unter Berücksichtigung dieses Simulationsmodells, vorzugsweise in Echtzeit, überprüft wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass während des Prüflaufes ein Beobachtermodell der aktuellen Gesamtanordnung mitläuft und die Realisierbarkeit und/oder Erwünschtheit der Betriebspunktvektoren mittels dieses Simulations- oder Automatisierungsmodells, vorzugsweise in Echtzeit, überprüft wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Veränderungen und die Eingriffe des Simulationsmodells protokolliert werden.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei Feststellung von nicht realisierbaren und/oder unerwünschten Betriebspunktvektoren zumindest eine vom Simulationssystem vorgegebene, diesen Betriebspunktvektor charakterisierende Größe um einen Korrekturbetrag verändert wird, der zur Verschiebung des Betriebspunktvektors in den realisierbaren und/oder erwünschten Bereich ausreicht.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest Teilbereiche bzw. Freiheitsgrade des Simulationsmodells rheonom geführt werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest Teilbereiche bzw. Freiheitsgrade des Simulationsmodells beliebig zwischen rheonomen und skleronomen Bindungen umgeschaltet werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass bei sklonomer Führung dem Simulationssystem Zusatzmomente oder Zusatzkräfte eingeprägt werden, um das System in den gewünschten Betriebspunktvektor zu treiben.

Hierzu keine Zeichnungen