

(12)

Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50422/2012
(22) Anmeldetag: 02.10.2012
(45) Veröffentlicht am: 15.06.2015

(51) Int. Cl.: **B60L 3/00** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
DE 102011103750 A1
US 2012207620 A1
DE 102010039376 A1

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

(72) Erfinder:
Jones Stephen Dr.
8051 Graz (AT)
Kural Emre MSc
8010 Graz (AT)
Massoner Alexander Dipl.Ing.
8055 Graz (AT)

(74) Vertreter:
BABELUK MICHAEL DIPL.ING. MAG.
WIEN

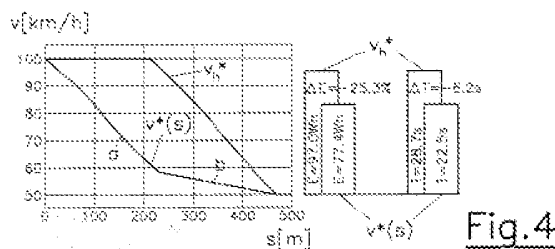
(54) Verfahren zum Betreiben eines Antriebsstranges

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Antriebsstranges eines über zumindest eine elektrische Antriebsmaschine (EM 1, EM2) antreibbaren Fahrzeuges (50), wobei eine Prognose über die künftigen Temperaturen zumindest einer vorzugsweise elektrischen Komponente im Antriebsstrang erstellt und der Antriebsstrang in Abhängigkeit der prognostizierten Temperaturen betrieben wird.

Um den Wirkungsgrad zu verbessern, ist vorgesehen,

- a) dass jeder Komponente im Antriebsstrang ein optimaler Betriebstemperaturbereich für optimalen Wirkungsgrad zugeordnet wird,
- b) dass eine Fahrtroute ausgewählt wird und der Fahrtroute ein initiales Geschwindigkeitsprofil $v(s)$ für Sollwerte der Fahrzeuggeschwindigkeit zugeordnet wird,
- c) dass eine Prognose über die künftige Belastung und die künftige Betriebstemperatur der Komponenten auf der Basis des Geschwindigkeitsprofils $v(s)$ entlang dieser Fahrtroute (s) erstellt wird und

d) dass für die Fahrtroute (s) das Geschwindigkeitsprofil $v(s)$ für das Fahrzeug (50) an die Randbedingungen angepasst wird, dass der optimale Betriebstemperaturbereich für jede Komponente während der gewählten Fahrtroute (s) eingehalten wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Antriebsstranges eines über zumindest eine vorzugsweise elektrische Antriebsmaschine antreibbaren Fahrzeuges, wobei eine Prognose über die künftigen Temperaturen zumindest einer elektrischen Komponente erstellt und der Antriebsstrang in Abhängigkeit der prognostizierten Temperaturen betrieben wird.

[0002] Aus der US 2009/0115 491 A1 ist ein Hybrid-Antriebssystem bekannt, welches eine Brennkraftmaschine, eine elektrische Maschine, sowie eine Leistungselektronik mit einer Anzahl an elektrischen Schaltkreisen, sowie ein Kühlsystem, aufweist. Ein Verfahren zum Verwalten der thermischen Energie der Leistungselektronik weist mehrere Temperatursensoren zur Messung der Temperatur in den Leistungselektronikeinrichtungen auf, wobei die elektrische Energie der Leistungselektronik eingangs- und ausgangsseitig überwacht und eine Prognose der künftigen Temperaturen für die elektronischen Schaltkreise erstellt wird und das Hybridantriebssystem in Abhängigkeit der prognostizierten Temperaturen betrieben wird.

[0003] Die Veröffentlichungen EP 02 476 596 A1, EP 02 476 597 A1 und US 2010 042 277 A1 offenbaren Verfahren zur Energieflussverwaltung, wobei ein optimales Geschwindigkeitsprofil für ein Fahrzeug für eine Annäherung an einen geschwindigkeitsbegrenzten Bereich erstellt wird.

[0004] In modernen Hybrid- oder Elektrofahrzeugen, welche über mehrere elektrische Antriebsmaschinen angetrieben werden können, ist meist ein aufwändiges thermisches Management mit einem aufwändigen Kühlsystem für die elektrischen Maschinen und/oder die Leistungselektronik erforderlich, um die elektrischen Komponenten im wirkungsgradoptimalen Temperaturbereich zu betreiben, was sich nachteilig auf Kosten, Bauraum und Verbrauch auswirkt.

[0005] Es ist die Aufgabe der Erfindung, diese Nachteile zu vermeiden und den Kühlaufwand bei einem mehrere elektrische Antriebsmaschinen aufweisenden Fahrzeug zu reduzieren. Eine weitere Aufgabe ist es, den Wirkungsgrad des Antriebsstranges zu verbessern und die Reichweite des Fahrzeuges zu erhöhen.

[0006] Erfindungsgemäß wird dies dadurch gelöst,

[0007] a) dass jeder Komponente ein optimaler Betriebstemperaturbereich für optimalen Wirkungsgrad zugeordnet wird,

[0008] b) dass eine Fahrtroute ausgewählt wird und der Fahrtroute ein initiales Geschwindigkeitsprofil für Sollwerte der Fahrzeuggeschwindigkeit zugeordnet wird,

[0009] c) dass eine Prognose über die künftige Belastung und die künftige Betriebstemperatur der Komponenten auf der Basis des Geschwindigkeitsprofils entlang dieser Fahrtroute erstellt wird und

[0010] d) dass für die Fahrtroute das Geschwindigkeitsprofil für das Fahrzeug an die Randbedingung angepasst wird, dass der optimale Betriebstemperaturbereich für jede elektrische Komponente während der gewählten Fahrtroute eingehalten wird.

[0011] Die Schritte c) und d) können mehrmals wiederholt werden, um das Geschwindigkeitsprofil iterativ zu erstellen.

[0012] Bei den elektrischen Komponenten kann es sich um elektrische Antriebsmaschinen, Leistungselektronik, Batterien oder dergleichen handeln.

[0013] Um im wirkungsgradoptimalen Bereich zu bleiben, ist es vorteilhaft, wenn die Sollgeschwindigkeit im Geschwindigkeitsprofil in zumindest einem Streckenabschnitt der Fahrtroute abgesenkt wird, wenn die prognostizierte Betriebstemperatur zumindest einer Komponenten über der optimalen Betriebstemperatur liegt.

[0014] In Abhängigkeit der Fahrtroute wird auf der Basis eines initialen Geschwindigkeitsprofils

eine Prognose über die Leistungsanforderung in jedem Streckenabschnitt erstellt. Das initiale Geschwindigkeitsprofil kann aus digitalem Kartenmaterial auf Grund der erlaubten Geschwindigkeit, der Streckenführung, Topografie und/oder vorhandenen Daten über die Durchschnittsgeschwindigkeit in Streckenabschnitten ermittelt werden. Es ist aber auch möglich, ein flaches Geschwindigkeitsprofil mit einem konstanten Durchschnittswert als initiales Geschwindigkeitsprofil vorzugeben. Auf Grund des Geschwindigkeitsprofils, der Topografie und des Streckenverlaufes wird ein Belastungsprofil für jede betrachtete Komponente errechnet. Aus diesem Belastungsprofil wird unter Verwendung von mathematischen Modellen eine Prognose für die künftige Temperatur jeder Komponente in jedem Punkt und Abschnitt der Strecke ermittelt. In einem weiteren Schritt wird geprüft, ob die prognostizierten Temperaturen innerhalb des optimalen Temperaturbereiches liegen. Falls die Temperatur für eine betrachtete Komponente zu hoch ist, so kann die geplante Belastung für die Komponente gesenkt werden, was sich meist unmittelbar auf die Fahrzeuggeschwindigkeit auswirkt. Somit wird das Geschwindigkeitsprofil für das Fahrzeug an die Randbedingung angepasst, dass der optimale Betriebstemperaturbereich für jede Komponente einzuhalten ist.

[0015] Wenn zumindest zwei funktionsgleiche Komponenten vorhanden sind, kann eine Absenkung der Betriebstemperatur auch erreicht werden, wenn eine andere ruhende funktionsgleiche Komponente zugeschaltet wird oder die zumindest eine zu heiß laufende Komponente deaktiviert wird und vorzugsweise eine andere ruhende funktionsgleiche Komponente aktiviert wird. Somit können zwei funktionsgleiche Komponenten zumindest zeitweise abwechselnd betrieben werden.

[0016] Somit können die Komponenten mit geeigneter Aktivierungs- und Deaktivierungsstrategie so betrieben werden, dass ein optimaler Betriebstemperaturbereich und/oder Wirkungsbereich für die elektrischen Komponenten während der gewählten Fahrtroute eingehalten wird.

[0017] Dabei kann vorgesehen sein, dass - zumindest zeitweise - nur eine von mehreren elektrisch antreibbaren Achsen - also die Vorderachse oder die Hinterachse -, oder alle elektrisch antreibbaren Achsen auch angetrieben werden.

[0018] Die Prognose wird in Abhängigkeit einer geplanten Fahrtroute, vorzugsweise mit Unterstützung von Satellitennavigation, beispielsweise GPS, und/oder digitalen Straßenkarten oder mit Unterstützung eines Fahrzeugkommunikationssystems, beispielsweise eines C2X-Kommunikationssystems (C2X: car to car oder car to Infrastruktur), erstellt. Das Fahrzeugkommunikationssystem liefert Informationen über Unfälle, Baustellen, Umleitungen, Verkehrsbeschränkungen, Witterungsverhältnisse, Wetterberichte, oder dergleichen, welche in die Prognose einfließen. Weiters können auch Radarsysteme, Videosysteme, Telefonsysteme oder dergleichen zur Informationsbeschaffung eingesetzt werden.

[0019] Weiters können in die Prognose auch fahrzeuginterne Daten wie die thermische Kennlinie und/oder die Wirkungsgradkennlinie der Fahrzeugbatterie, mit einfließen. Weiters kann in der Prognose die Temperatur zumindest einer elektrischen Antriebsmaschine, der Leistungselektronik und/oder des Kühlmediums berücksichtigt werden.

[0020] Während des Betriebes können die elektrischen Maschinen abwechselnd oder gleichzeitig so betrieben werden, dass der Betrieb der einzelnen elektrischen Maschinen im optimalen Temperaturbereich erfolgt. Indem bei mittlerer oder hoher abgefragter Antriebsleistung (beispielsweise Autobahnfahrt) mehrere elektrische Maschinen gleichzeitig bei geringer oder mittlerer Leistung betrieben werden, kann beispielsweise die Temperatur jeder einzelnen Maschine in einem mittleren Temperaturbereich gehalten werden. Wird wenig Antriebsleistung (beispielsweise bei Stadtfahrt oder bei Geschwindigkeitsbegrenzung oder schlechten Witterungsverhältnissen) abgefragt, so kann es dagegen vorteilhafter sein, nur wenige oder nur eine elektrische Maschine zu aktivieren. Entsprechend kann - in Abhängigkeit der im Laufe der Fahrtroute angeforderten Leistung - nur eine Antriebsachse oder alle Antriebsachsen angetrieben werden, um die aktivierten elektrischen Maschinen im optimalen Temperaturbereich zu betreiben.

[0021] Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann der Kühlaufwand durch ein separates Kühlmedium sehr gering gehalten und das Fahrzeug stets im optimalen Wirkungsgradbereich betrieben werden. Dadurch kann der Verbrauch und die Batteriegröße verringert und die Reichweite erhöht werden.

[0022] Die Erfindung wird an Hand der Fig. näher erläutert.

[0023] Es zeigen schematisch

[0024] Fig. 1 das erfindungsgemäße Verfahren in einer Übersicht,

[0025] Fig. 2 ein Kraftfahrzeug zur Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens,

[0026] Fig. 3 das erfindungsgemäße Verfahren im Detail und

[0027] Fig. 4 einen Vergleich von Geschwindigkeitsprofilen.

[0028] Die Fig. 1 zeigt schematisch das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben eines Antriebsstranges eines über zumindest zwei elektrische Antriebsmaschinen antreibbaren Fahrzeuges.

[0029] In einem ersten Schritt 1 wird eine Fahrtroute ausgewählt. Im zweiten Schritt 2 wird unter Einbeziehung von Daten aus einem satellitenunterstützten Navigationssystem 3 und einem Fahrzeugkommunikationssystem 4, beispielsweise einem C2X-Fahrzeugkommunikationssystem, eine Prognose über die Leistungsanforderung für jeden Streckenabschnitt der Fahrtroute erstellt. Unter der Bezeichnung C2X werden Fahrzeug zu Fahrzeug-Kommunikationssysteme (C2C) sowie Fahrzeug zu Infrastruktur - Kommunikationssysteme (C2I) zusammengefasst. Derartige Kommunikationssysteme ermöglichen die Echtzeitübermittlung von streckenrelevanten Daten wie Baustellen, Unfälle, Geschwindigkeitsbeschränkungen, Umleitungen, Staus, Wetter, Straßenzustand, Temperatur, etc. Das Navigationssystem 3 liefert dabei topografische Informationen, Informationen über die benutzten Straßen, Straßenverlauf, Steigungen, etc. Das Fahrzeugkommunikationssystem 4 liefert aktuelle ergänzende Informationen über Baustellen, Unfälle, Umleitungen, Straßenzustand, Witterungsbedingungen, Temperaturen, sowie Wetterprognosen. Auf Grund dieser Daten wird ein initiales Geschwindigkeitsprofil erstellt.

[0030] Auf Basis dieses initialen Geschwindigkeitsprofils wird im Schritt 5 für jeden Streckenabschnitt eine Prognose für die zu erwartende Leistungsanforderung - sowohl der Leistungshöhe, als auch der -dauer - erstellt. Die Leistungsanforderung dient als Eingabegröße für ein Rechenmodell 6 über die Belastung der einzelnen elektrischen Antriebsmaschinen EM1, EM2, in Abhängigkeit unterschiedlicher Betriebsmoden, wobei als weitere Eingangsgrößen die thermische Kennlinie 7, die Wirkungsgradkennlinie 8 und die Temperaturen 9 der elektrischen Maschinen, der Leistungselektronik, der Batterie und/oder des Kühlmediums des Kühlsystems verwendet werden.

[0031] Das Zwischenergebnis ist ein Temperaturprofil über der Fahrtroute für die in Betracht gezogenen elektrischen Komponenten des Antriebsstranges, wie elektrische Maschinen EM1, EM2, Leistungselektronik, Batterie oder dergleichen. Ergibt das Temperaturprofil, dass die optimale Betriebstemperatur einer Komponente an irgendeinem Punkt der Fahrtstrecke verlassen wurde, so wird die Sollgeschwindigkeit im Geschwindigkeitsprofil rechtzeitig vor diesem Punkt abgesenkt und somit das Geschwindigkeitsprofil entsprechend angepasst. Mit dem aktualisierten Geschwindigkeitsprofil kann nochmals ein Temperaturprofil für die Fahrtstrecke erstellt werden und so iterativ ein optimales Geschwindigkeitsprofil erzeugt werden.

[0032] Zusätzlich kann die Betriebstemperatur von elektrischen Komponenten durch Wechsel oder Aufteilung zwischen funktionsgleichen Komponenten gesenkt und somit im wirkungsgradoptimalen Bereich gehalten werden.

[0033] Im Folgenden sind als Beispiele für eine Lastaufteilung zwischen funktionsgleichen Komponenten die elektrischen Antriebsmaschinen EM1, EM2 als Komponenten herangezogen. Die Idee der Lastaufteilung ist aber nicht auf diese beschränkt.

[0034] Das Resultat der Berechnung aus Schritt 6 ist ein optimiertes Geschwindigkeitsprofil

und ein optimaler Betriebsmodus 10 für die elektrischen Antriebsmaschinen EM1, EM2, für jeden Streckenabschnitt der Fahrtroute, wobei das Antriebsdrehmoment nach einem mathematischen Algorithmus zwischen den elektrischen Antriebachsen aufgeteilt wird. Die Fig. 2 zeigt schematisch ein Fahrzeug 50 mit einer Vorderachse 52 und einer Hinterachse 54. Mit 58 sind jeweils die Antriebsräder bezeichnet. Jeder antreibbaren Achse 52, 54 des Fahrzeuges 50 ist eine elektrische Antriebsmaschine EM1, EM2 zugeordnet. Die Antriebsmaschinen EM1, EM2 werden über eine Leistungselektronik 60 und eine Steuereinheit 62 betrieben. Eine Prognose- und Recheneinheit 64 erstellt in Abhängigkeit der Fahrtroute und unter Verwendung von Daten aus einem Satellitennavigationssystem 3 und einem Fahrzeugkommunikationssystem 4 eine Prognose über die künftige Lastanforderung und die zu erwartende Belastung für jede Antriebsmaschine EM1, EM2, in Abhängigkeit verschiedener Betriebsmodi und in Abhängigkeit des Ist-Zustandes (beispielsweise der Temperaturen) der elektrischen Antriebsmaschinen EM1, EM2 sowie der Fahrzeugbatterie 66. Der optimale Betriebsmodus wird für jeden Streckenabschnitt ermittelt. Entsprechend dem jeweils ermittelten Betriebsmodus werden die elektrischen Antriebsmaschinen EM1, EM2 über die Steuereinheit 62 und die Leistungselektronik 60 entsprechend einer Aktivierungs- und Deaktivierungsstrategie in jedem Streckenabschnitt betrieben.

[0035] Das Umschalten von einem Betriebsmodus in den anderen erfolgt dabei schleichend und möglichst übergangslos, indem die Antriebsmaschinen EM1, EM2 langsam zu- oder weggeschaltet werden, sodass plötzliche Übergänge und damit Einbussen im Fahrkomfort und der Sicherheit vermieden werden.

[0036] Beispielsweise gilt bei einem Fahrzeug 50 mit einer elektrisch angetriebenen Vorderachse 52 und einer elektrisch angetriebenen Hinterachse 54 folgender mathematischer Zusammenhang:

[0037]
$$u_f = \frac{M_f}{M_f + M_r} \quad (1)$$

[0038]
$$u_r = \frac{M_r}{M_f + M_r} \quad (2)$$

[0039]
$$\eta_g = \frac{\eta_f \cdot \eta_r}{u_f \cdot \eta_r + u_r \cdot \eta_f} \quad (3)$$

[0040]
$$u_f^* = \max \eta_g \quad \text{für alle } n_{EM,f}, n_{EM,r}, M_f, M_r \quad (4)$$

[0041] wobei

[0042] u_f : der Drehmomentaufteilungsfaktor für die Vorderachse 52

[0043] u_r : der Drehmomentaufteilungsfaktor für die Hinterachse 54

[0044] M_f : die Drehmomentanforderung der vorderen elektrischen Antriebsmaschine EM1

[0045] M_r : die Drehmomentanforderung der hinteren elektrischen Antriebsmaschine EM2

[0046] η_f : der Wirkungsgrad der vorderen elektrischen Maschine für einen bestimmten Betriebspunkt

[0047] η_r : der Wirkungsgrad der hinteren elektrischen Maschine für einen bestimmten Betriebspunkt

[0048] η_g : der globale Wirkungsgrad für bestimmte der Drehmomentaufteilungsfaktoren u_f und u_r

[0049] u_f^* : die optimale Drehmomentaufteilung für die Vorderachse

[0050] $n_{EM,f}$: die Drehzahl der vorderen elektrischen Antriebsmaschine EM1

[0051] $n_{EM,r}$: die Drehzahl der hinteren elektrischen Antriebsmaschine EM2 ist.

[0052] Das Berechnungsverfahren ermöglicht die Berechnung von optimalen Werten für die Drehmomentaufteilungsfaktoren u_f und u_r , bei denen ein maximaler globaler Wirkungsgrad η_g erreicht wird. In dieser Berechnung ist aber das Temperaturverhalten der Antriebsstrangelemente auf Grund der thermischen Reaktionen nicht berücksichtigt. Die Wirkungsgradwerte gelten für normale Durchschnittstemperaturen.

[0053] Jedoch hängen die Wirkungsgrade der elektrischen Maschinen in hohem Maße vom thermischen Verhalten der elektrischen Maschinen ab. Daher erlaubt die Prognose der künftigen Last der elektrischen Maschinen eine Vorhersage der zukünftigen internen Temperaturen der elektrischen Komponenten (zum Beispiel des Stators, des Rotors und der Leistungselektronik), sowie der Batterie. Somit ermöglicht die Berücksichtigung des thermischen Verhaltens auch eine bessere Planung und Regelung der Drehmomentenaufteilung, um weiters den Wirkungsgrad des Systems zu verbessern.

[0054] Eine weitere Strategie wird für den Fall definiert, dass die optimale Drehmomentaufteilung die Verwendung von nur einer elektrischen Maschine ergibt. Die Entscheidung, welche elektrische Maschine verwendet wird, wird auch vom thermischen Verhalten dieser elektrischen Maschine abhängig gemacht. Jedoch würde ein ununterbrochener Betrieb einer einzigen elektrischen Antriebsmaschine die Temperatur für den Wirkungsgrad unvorteilhaft ansteigen lassen, weshalb ab einem definierten Punkt ein Umschalten zwischen den elektrischen Antriebsmaschinen EM1, EM2 notwendig wird. Auch dafür ist die Voraussage des thermischen Verhaltens sehr nützlich.

[0055] Das vorhergesagte Geschwindigkeitsprofil und topografische Profil haben einen starken Einfluss auf die Ermittlung der Betriebspunkte der elektrischen Maschinen und somit auf deren thermisches Verhalten. Externe Informationen über die Umgebung - welche beispielsweise über C2X-Systeme oder andere Quellen zur Verfügung gestellt werden - wie beispielsweise Verkehrsdichte, Geschwindigkeitsbegrenzungen, Baustellen, Topologie, etc. sind Haupteinflussgrößen bei der Berechnung der künftigen elektrischen Lastanforderung.

[0056] Das Berechnungsverfahren ist schematisch in Fig. 3 dargestellt. Vom Fahrer wird ein Fahrziel F vorgegeben. Aus den GPS-Koordinaten $S(t)$ der Momentanposition CP und den GPS-Koordinaten S_{final} des Fahrzieles F wird unter Einbeziehung der Durchschnittsgeschwindigkeit über C2I-Strukturen einerseits und der Topografie sowie Geschwindigkeitsbeschränkungen aus digitalen Straßenkarten andererseits die Straßencharakteristik SC. Daraus wird ein Geschwindigkeitsprofil $v(s)$ und ein Neigungsprofil $a(s)$ der Fahrstrecke berechnet und daraus in einem ersten Prognoseschritt PR1 ein Drehzahlprofil $n(s)$ und die Drehmomentanforderungen $M_{\text{demand}}(s)$ an die elektrischen Maschinen EM1, EM2 ermittelt. Das prognostizierte Drehzahlprofil $n(s)$ und die Drehmomentanforderungen $M_{\text{demand}}(s)$ an die elektrischen Maschinen EM1, EM2 werden einem thermischen Vorhersagemodell zugeführt, welches in einem zweiten Prognoseschritt - unter Einbeziehung von durch Temperaturfühler MTS gemessene aktuelle Temperaturen der Batterie $T_{\text{Bat}}(s)$, der elektrischen Leistungselektronik $T_{\text{PEI}}(s)$, der Statoren $T_{\text{stator}}(s)$, und der Rotoren $T_{\text{rotor}}(s)$ der elektrischen Maschinen EM1, EM2, eine Vorhersage der thermischen Belastung der elektrischen Komponenten durchführt. Aus den aktuellen Temperaturen und dem Drehzahlprofil $n(s)$ sowie den vorhergesagten Leistungsanforderungen $M_{\text{demand}}(s)$ wird eine Prognose für die Temperaturen der Batterie $T_{\text{Bat,Pr}}(s)$, der elektrischen Leistungselektronik $T_{\text{PEI,Pr}}(s)$, der Statoren $T_{\text{stator,Pr}}(s)$, und der Rotoren $T_{\text{rotor,Pr}}(s)$ der elektrischen Maschinen EM getroffen. Die vorhergesagten Temperaturen der Batterie $T_{\text{Bat}}(s)$, der elektrischen Leistungselektronik $T_{\text{PEI}}(s)$, der Statoren $T_{\text{stator}}(s)$, und der Rotoren $T_{\text{rotor}}(s)$ dienen zusammen mit dem Drehzahlprofil $n(s)$ und über die Fahrstrecke s prognostizierten Drehmomentanforderungen $M_{\text{demand}}(s)$ als Eingangsgrößen für eine Berechnung OPM eines aktualisierten Geschwindigkeitsprofils $v(s)$ und/oder der optimierten Drehmomentaufteilungen u_f^* und u_r^* . Entsprechend den optimalen Drehmomentaufteilungen u_f^* und u_r^* werden Steuersignale an die elektrischen Maschinen EM1 und EM2 übermittelt.

[0057] Die optimale Drehmomentaufteilung, bei der das thermische Verhalten der elektrischen Maschinen EM2 und der Batterie miteinbezogen werden kann, kann durch folgende alternative

Methoden durchgeführt werden:

[0058] 1) modellierte vorhersagende Regelung

[0059] Die modellierte vorhersagende Regelung berechnet kontinuierlich zu bestimmten Abfragezeitpunkten den thermischen Zustand der Komponenten auf der Basis eines thermischen Modells entlang eines vordefinierten Ereignishorizontes. Dieser Ereignishorizont kann zum Beispiel durch eine definierten Entfernung oder Fahrdauer vorgegeben sein. Basierend auf einem definierten Optimierungsziel (zum Beispiel maximalem Wirkungsgrad) wird die optimale Drehmomentenaufteilung ermittelt und entsprechende Steuerungssignale den elektrischen Maschinen EM1, EM2 übermittelt. Beim nächsten Abfragezeitpunkt wird der Ereignishorizont einen Schritt verschoben und der Optimierungsprozess wiederholt.

[0060] 2) dynamische Programmierung

[0061] Das gesamte Fahrtmanöver wird in fixe Segmente aufgeteilt (zum Beispiel x km Segmente). Für jedes Segment wird ein Geschwindigkeitsprofil ermittelt. Danach wird unter Verwendung des Neigungsprofils, die Lastanforderung und die thermische Belastung für die elektrischen Komponenten berechnet. Schließlich wird eine optimale Drehmomentenaufteilung entlang für das jeweilige Segment berechnet und die berechnete Drehmomentenaufteilung appliziert. Für jedes weitere neue Segment wird der Prozess wiederholt.

[0062] 3) Tabellenbasierte heuristische Verfahren:

[0063] Für verschiedene Verkehrsaufkommen, Geschwindigkeiten und Neigungsbedingungen werden offline Drehzahlprofile, Lastanforderungen und thermische Belastungen betrachtet und entsprechende optimale Drehmomentenaufteilungen berechnet. Die Bedingungen und Parameter werden im fahrzeugeigenen Computer abgelegt. Eine Echtzeit-Optimierungsberechnung ist hier nicht erforderlich. Die abgespeicherten Werte für die Drehmomentenaufteilung werden für die entsprechenden Bedingungen angewendet.

[0064] Die Vorteil des vorliegenden Verfahrens bekommen besonders bei Antrieb mit zwei elektrischen Antriebsmaschinen EM1, EM2 an Vorderachse 52 und Hinterachse 54 zum Tragen:

[0065] - Bei länger dauernder niedriger Lastanforderung (zum Beispiel ebene Straße mit durchschnittlicher konstanter Geschwindigkeit) braucht nur eine elektrische Antriebsmaschine eingesetzt werden, wobei nach Erreichen einer definierten Grenztemperatur einer elektrischen Komponente (zum Beispiel Stator oder Rotor) die beiden elektrischen Antriebsmaschinen EM1 und EM2 im Betrieb gewechselt werden. Wenn die Straßenbedingungen bekannt sind, kann der Umschaltzeitpunkt zwischen den beiden elektrischen Antriebsmaschinen EM1 und EM2 optimal ermittelt werden. Dies ermöglicht es, die elektrischen Antriebsmaschinen stets mit optimalem Wirkungsgrad zu betreiben und somit die Reichweite des Fahrzeuges maximal auszudehnen.

[0066] - Insbesondere wenn die Topologie des Antriebsstranges nur eine der beiden Antriebsmaschinen, zum Beispiel an der Hinterachse 54, zum rekuperativen Betrieb erlaubt, ermöglicht das vorliegende Verfahren, dass eine rekuperative Bremsung bei bestmöglichem Wirkungsgrad durchgeführt wird. Wenn beispielsweise eine vorrausliegende, auf rot schaltende Verkehrsampeln einen rekuperativen Betrieb der hinteren elektrischen Antriebsmaschine ermöglichen würde, kann diese hintere elektrische Antriebsmaschine bis zum rekuperativen Betrieb auf (für den Wirkungsgrad vorteilhaften) niedriger Temperatur gehalten werden, indem für den Antrieb die elektrische Antriebsmaschine der Vorderachse verwendet wird. Der Umschaltzeitpunkt zwischen den beiden elektrischen Maschinen bei vorausliegender auf rot geschalteten Ampel kann unter Verwendung von Informationen über die Ampelschaltung und das Verkehrsaufkommen - zum Beispiel durch C2X-, GPS- und/oder Navigationssysteme) vorrausschauend berechnet werden.

[0067] Im realen Fahrbetrieb haben Fahrer ununterbrochen die Fahrgeschwindigkeit an Geschwindigkeitsbegrenzungen, Verkehrsvorschriften, Straßenverlauf, Ampeln oder den richtigen Abstand zum Vordermann anzupassen. Dabei hängt es im Wesentlichen vom Fahrer ab, ob seine Manöver sportlich/aggressiver Art, oder verlaufend, ausgleichend und somit energieeffi-

zient sind. Für verschiedene Verkehrsszenarios können energieoptimale Geschwindigkeitsprofile berechnet werden, wobei der gesamte Antriebswirkungsgrad, die rückgewonnene Bremsenergie, die Verkehrslage, Verkehrszeichen, Straßenverlauf und Straßenprofil oder andere Einflüsse berücksichtigt werden können. Optimale Fahrmanöver können im vorhinein berechnet werden und dem Fahrer mittels geeigneter Anzeigen vorgeschlagen oder im halbautomatischen Betrieb direkt angewendet werden.

[0068] Das Problem, die Geschwindigkeit des Fahrzeuges in Verzögerungs- und Beschleunigungsphasen zu optimieren, kann folgendermaßen beschrieben werden:

[0069]
$$v_{k+1} = f_k(v_k, u_k), \text{ mit } k=0, \dots, N-1, \quad (5)$$

[0070] wobei f_k die Luft- und Rollwiderstände, Massenträgheitseffekte und Charakteristiken der elektrischen Antriebsmaschine und der Batterie beinhaltet, v_k die Fahrzeuggeschwindigkeit und u_k die Drehmomentanforderung an die elektrische Maschinen EM1, EM2 beim k -ten Schritt ist.

[0071] Die Kostenfunktion J des angestrebten Optimierungsproblems ist

[0072]
$$J = \sum_{k=0}^{N-1} \zeta_k(v_k, u_k) \quad (6)$$

[0073] wobei $u_{\max}(v_k) \geq u_k \geq u_{\min}(v_k)$ und $v_0 \geq v_k \geq v_{\text{desired}}$ ist.

[0074] ζ_k ist dabei der gesamte Energieverbrauch des Fahrzeugs während des optimierten Manövers, $u_{\min}$ und $u_{\max}$ beschreiben den geschwindigkeitsabhängigen Betriebsbereich der elektrischen Maschinen EM1, EM2, v_0 ist die Anfangsgeschwindigkeit und v_{desired} die Zielgeschwindigkeit am Ende des Fahrmanövers. Die optimierte Drehzahlanforderung u_k^* wird erreicht durch die Echtzeit-Minimierung der Kostenfunktion:

[0075]
$$u_k^* = \arg \min \sum_{k=0}^{N-1} \zeta_k(v_k, u_k) \quad (7)$$

[0076] Das Ergebnis ist die gesamte Drehmomentanforderung des Fahrzeuges, welche im Falle von zwei elektrischen Antriebsmaschinen EM1, EM2 auf die beiden Achsen aufgeteilt werden kann, wie bereits beschrieben wurde. Unter Berücksichtigung des nicht-linearen Verhaltens des Systems, kann das Optimierungsproblem durch die bekannte dynamischen Programmiermethoden gelöst werden.

[0077] Das beschriebene Problem ist zeitabhängig, aber es kann leicht in eine ortsabhängige Form konvertiert werden. Während zeitbasierte Lösungen mehr für zeitkritische Fälle geeignet sind (zum Beispiel eine Annäherung an eine Verkehrsampel mit zeitabhängigen Phasen), sind wegbasierte Ansätze mehr für Probleme mit festen Randbedingungen geeignet, wie zum Beispiel fixe Geschwindigkeitsbegrenzungen.

[0078] Fig. 4 zeigt ein optimiertes Geschwindigkeitsprofil $v^*(s)$ für eine Verzögerung von beispielsweise 100 km/h auf 50 km/h, wobei das optimierte Geschwindigkeitsprofil $v^*(s)$ eine anfängliche Regenerationsphase a (um Energieverluste bei hohen Geschwindigkeiten zu vermeiden) und eine antriebs- und (abgesehen von Luft- und Reibwiderständen) verzögerungsfreie Rollphase (coasting) b aufweist, um die finale Geschwindigkeit zu erreichen. Zum Vergleich ist auch ein Geschwindigkeitsprofil $v_h(s)$ eingezeichnet, wie es in den meisten Fällen vom menschlichen Fahrer gewählt wird. Deutlich ist zu sehen, dass dieses Profil vom energieoptimalen Geschwindigkeitsprofil weit entfernt ist. Ähnliche Optimierungen können auch für Kurven, dynamische Ampelphasen, Staubildungen oder dergleichen durchgeführt werden.

[0079] Das erfindungsgemäße Verfahren wurde für einen Antrieb mit zwei elektrischen Antriebsmaschinen über eine Vorderachse und eine Hinterachse erläutert, ist aber keinesfalls auf diesen Antriebstypus beschränkt. Vielmehr kann das Verfahren für alle Antriebsstränge mit zumindest zwei primären Antriebsmaschinen verwendet werden. Daher kann das Verfahren auch bei Hybridfahrzeugen und auch anderen Elektrofahrzeugen mit mindestens zwei primären Antriebsmaschinen eingesetzt werden. Beispielsweise kann eine optimale Drehmomentauftei-

lung zwischen Brennkraftmaschine und elektrischer Antriebsmaschine unter Berücksichtigung des thermischen Verhaltens des Antriebssystems bei Hybridfahrzeugen durchgeführt werden.

[0080] Das Verfahren kann sowohl bei bestehenden fixen Kühlsystemen, als auch unter Einbeziehung des Management des Kühlsystems eingesetzt werden. Dies ermöglicht es, den Kühlaufwand zu minimieren, was sich vorteilhaft auf Gewicht, Bauraum und Fertigungsaufwand auswirkt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Antriebsstranges eines über zumindest eine elektrische Antriebsmaschine (EM1, EM2) antreibbaren Fahrzeuges (50), wobei eine Prognose über die künftigen Temperaturen zumindest einer vorzugsweise elektrischen Komponente im Antriebsstrang erstellt und der Antriebsstrang in Abhängigkeit der prognostizierten Temperaturen betrieben wird, **dadurch gekennzeichnet**,
 - a) dass jeder Komponente im Antriebsstrang ein optimaler Betriebstemperaturbereich für optimalen Wirkungsgrad zugeordnet wird,
 - b) dass eine Fahrtroute ausgewählt wird und der Fahrtroute ein initiales Geschwindigkeitsprofil $v(s)$ für Sollwerte der Fahrzeuggeschwindigkeit zugeordnet wird,
 - c) dass eine Prognose über die künftige Belastung und die künftige Betriebstemperatur der Komponenten auf der Basis des Geschwindigkeitsprofils $v(s)$ entlang dieser Fahrtroute (s) erstellt wird und
 - d) dass für die Fahrtroute (s) das Geschwindigkeitsprofil $v(s)$ für das Fahrzeug (50) an die Randbedingungen angepasst wird, dass der optimale Betriebstemperaturbereich für jede Komponente während der gewählten Fahrtroute (s) eingehalten wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Geschwindigkeitsprofil $v(s)$ iterativ durch Wiederholung der Schritte c) und d) erstellt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Sollgeschwindigkeit im Geschwindigkeitsprofil $v(s)$ in zumindest einem Streckenabschnitt der Fahrtroute (s) abgesenkt wird, wenn die prognostizierte Betriebstemperatur zumindest einer Komponenten über der optimalen Betriebstemperatur liegt.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, mit zumindest zwei funktionsgleichen Komponenten, **dadurch gekennzeichnet**, dass - wenn die prognostizierte Betriebstemperatur zumindest einer Komponenten über der optimalen Betriebstemperatur liegt- eine andere ruhende funktionsgleiche Komponente zugeschaltet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, mit zumindest zwei funktionsgleichen Komponenten, **dadurch gekennzeichnet**, dass - wenn die prognostizierte Betriebstemperatur zumindest einer Komponenten über der optimalen Betriebstemperatur liegt- die zumindest eine Komponente mit hoher Betriebstemperatur deaktiviert wird und vorzugsweise eine andere ruhende funktionsgleiche Komponente aktiviert wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, mit zumindest zwei funktionsgleichen Komponenten, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest zwei funktionsgleichen Komponenten - zumindest zeitweise - abwechselnd betrieben werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, mit zumindest zwei funktionsgleichen Komponenten, **dadurch gekennzeichnet**, dass die zumindest zwei funktionsgleichen Komponenten - zumindest zeitweise - gemeinsam betrieben werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die funktionsgleichen Komponenten elektrische Antriebsmaschinen (EM1, EM2) sind, wobei vorzugsweise zumindest eine erste elektrische Antriebsmaschine (EM1) die Vorderachse (52) oder deren Räder (58) und zumindest eine zweite elektrische Antriebsmaschine (EM2) die Hinterachse (54) oder deren Räder (58) antreibt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Geschwindigkeitsprofil $v(s)$ und/oder die Prognose mit Unterstützung von Satellitennavigation (3) oder digitalen Straßenkarten erstellt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Geschwindigkeitsprofil und/oder die Prognose mit Unterstützung eines Fahrzeugkommunikationssystems (4), vorzugsweise eines C2X- Kommunikationssystems, erstellt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Geschwindigkeitsprofil $v(s)$ und/oder die Prognose mit Unterstützung eines Radar- und/oder Videosystems erstellt wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Geschwindigkeitsprofil $v(s)$ und/oder die Prognose unter Einbeziehung von Fahrzeuginformationen vorzugsweise der thermischen Kennlinie und/oder der Wirkungsgradkennlinie der Fahrzeugbatterie (66), erstellt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Geschwindigkeitsprofil $v(s)$ und/oder die Prognose unter Einbeziehung der Temperatur zumindest einer elektrischen Antriebsmaschine (EM1, EM2), der Leistungselektronik (60) und/oder des Kühlmediums erstellt wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Geschwindigkeitsprofil $v(s)$ und/oder die Prognose für jeden Streckenabschnitt der Fahrtroute (s) erstellt wird.
15. Fahrzeug (50) mit einem Antriebsstrang mit zumindest einer elektrischen Antriebsmaschine (EM1, EM2), mit einer Prognose- und Recheneinheit (64) zur Erstellung einer Prognose über die künftigen Temperaturen zumindest einer Komponenten im Antriebsstrang und zum Erstellen eines Geschwindigkeitsprofils $v(s)$, sowie einer Steuereinheit (62) zum Steuern des Antriebsstranges in Abhängigkeit des Geschwindigkeitsprofils $v(s)$, zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Prognose- und Recheneinheit (64) ausgebildet ist, um eine Prognose über die künftige Belastung und die künftige Betriebstemperatur zumindest einer vorzugsweise elektrischen Komponente und ein Geschwindigkeitsprofil $v(s)$ für das Fahrzeug (50) so zu erstellen, dass ein optimaler Betriebstemperaturbereich für die Komponenten während einer Fahrtroute (s) eingehalten wird.
16. Fahrzeug (50) nach Anspruch 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest zwei elektrische Antriebsmaschinen (EM1, EM2) unabhängig voneinander aktivier- und deaktivierbar sind.
17. Fahrzeug (50) nach Anspruch 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass zumindest zwei Antriebsachsen (52, 54) - oder deren Räder (58) unabhängig voneinander elektrisch antriebsbar sind.
18. Fahrzeug (50) nach einem der Ansprüche 15 bis 17, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Prognose- und Recheneinheit (64) mit einem Satellitennavigationssystem (3) verbunden ist.
19. Fahrzeug (50) nach einem der Ansprüche 15 bis 18, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Prognose- und Recheneinheit (64) mit einem Fahrzeug-Kommunikationssystem (4), vorzugsweise einem C2X- Kommunikationssystem, verbunden ist.
20. Fahrzeug (50) nach einem der Ansprüche 15 bis 19, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Prognose- und Recheneinheit (64) zumindest einem Temperatursensor zum Messen der Temperatur (T) zumindest einer Komponente, vorzugsweise der elektrischen Antriebsmaschine (EM1, EM2), der Leistungselektronik (60), der Batterie (66) und/oder des Kühlmediums einer Kühleinrichtung für zumindest eine elektrische Antriebsmaschine (EM1, EM2), der Batterie (66) und/oder die Leistungselektronik (60) verbunden ist.

Hierzu 2 Blatt Zeichnungen

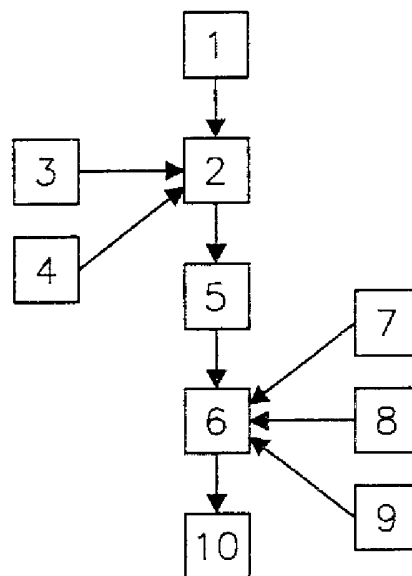


Fig.1

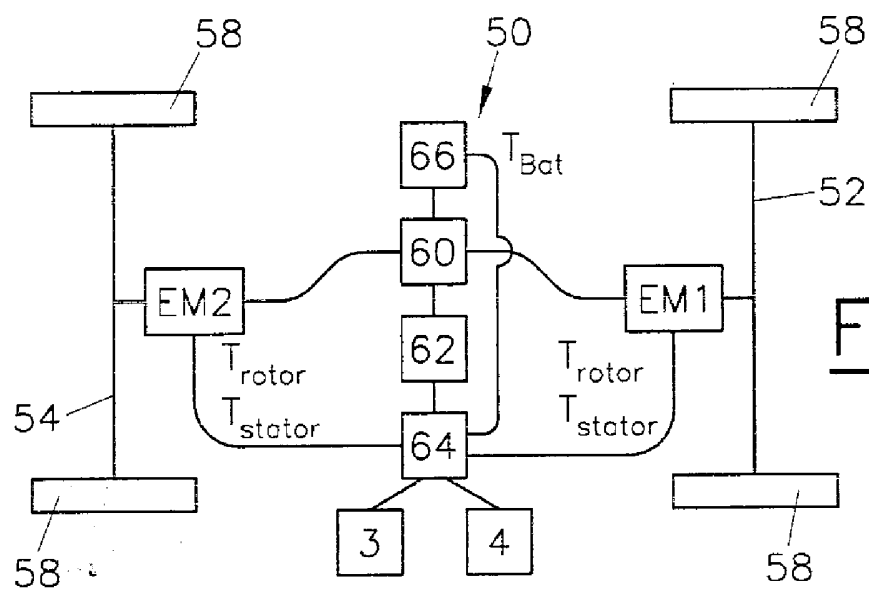


Fig.2

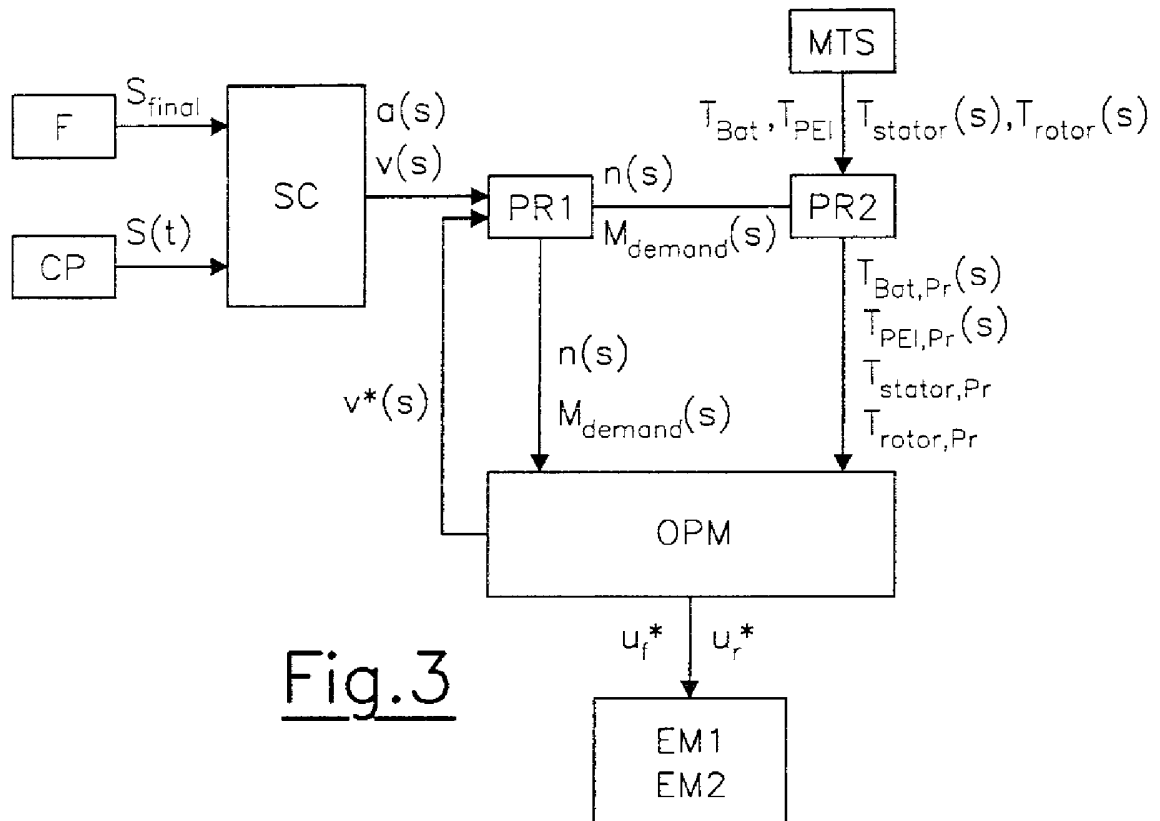


Fig.3

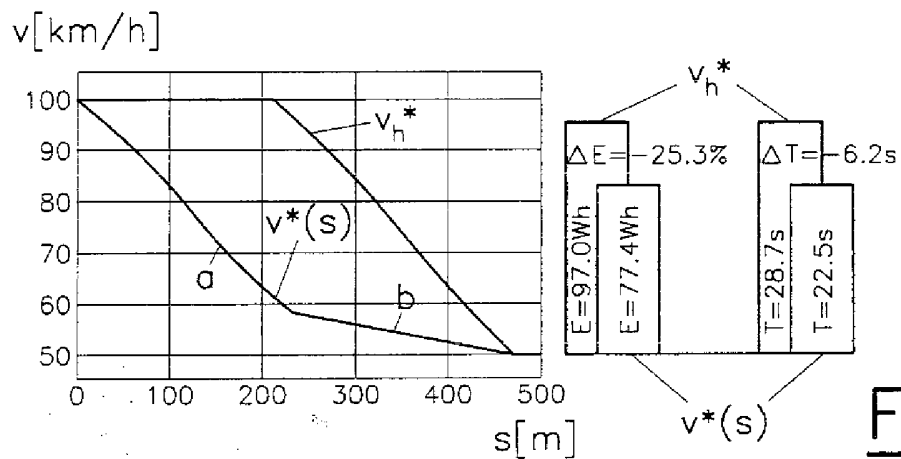


Fig.4