(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
6. Oktober 2016 (06.10.2016)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2016/156007 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F02D 35/02 (2006.01) *F02M 53/04* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/055204

(22) Internationales Anmeldedatum:
10. März 2016 (10.03.2016)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2015 205 942.1 1. April 2015 (01.04.2015) DE

(71) Anmelder: **CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH** [DE/DE]; Vahrenwalder Strasse 9, 30165 Hannover (DE).

(72) Erfinder: **GARGISO, Tany**; Burgstrasse 12, 93093 Donaustauf (DE). **HOFFMANN, Robert**; Fürstenzellerstr. 25, 94099 Ruhstorf/Rott (DE). **SCHWARTE, Anselm**; Am Golfplatz 22 a, 93077 Bad Abbach (DE).

(81) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

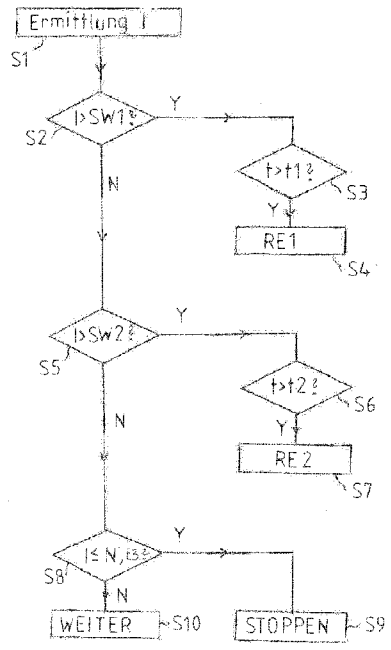
[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2016/156007 A1

(54) **Title**: METHOD AND DEVICE FOR CONTROLLING THE TEMPERATURE OF AN INJECTION VALVE

(54) **Bezeichnung** : VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM STEUERN DER TEMPERATUR EINES EINSPRITZVENTILS

FIG. 2



S1 Determination of I
S10 Continue
S9 Stop

(57) **Abstract**: The invention relates to a method for monitoring the operation of the fuel injection system of an internal combustion engine, comprising the following steps: determining a criticality index for the thermal load of an injector of the fuel injection system; checking whether the determined criticality index is greater than a threshold value; checking whether the determined criticality index is greater than the threshold value for a specified duration if the determined criticality index is greater than the threshold value; and introducing a measure for reducing the thermal load of the injector if the determined criticality index is greater than the threshold value for the specified duration.

(57) **Zusammenfassung**: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Überwachung des Betriebs des Kraftstoffeinspritzsystems einer Brennkraftmaschine mit folgenden Schritten: Ermittlung eines Kritikalitätsindex für die thermische Belastung eines Injektors des Kraftstoffeinspritzsystems, Überprüfung, ob der ermittelte Kritikalitätsindex größer ist als ein Schwellenwert, wenn der ermittelte Kritikalitätsindex größer ist als der Schwellenwert, dann Überprüfung, ob der ermittelte Kritikalitätsindex für eine vorgegebene Zeitdauer größer ist als der Schwellenwert, und Einleitung einer Maßnahme zur Reduktion der thermischen Belastung des Injektors, wenn der ermittelte Kritikalitätsindex für die vorgegebene Zeitdauer größer ist als der Schwellenwert.

RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Beschreibung

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUM STEUERN DER TEMPERATUR EINES EINSPRITZVENTILS

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung des Betriebs des Kraftstoffeinspritzsystems einer Brennkraftmaschine.

Brennkraftmaschinen, die ein Kraftstoffeinspritzsystem aufweisen, sind bereits seit langer Zeit bekannt. Eine derartige Brennkraftmaschine ist beispielsweise in der DE 10 2013 206 600 A1 beschrieben. Dort wird ein Einspritzsystem und ein Regelverfahren für ein Einspritzsystem mit mindestens einem Einspritzventil zum Einspritzen von Kraftstoff in eine Brennkraftmaschine beschrieben, wobei in wiederkehrenden Einspritzzyklen ein Verschlusselement des Einspritzventils so bewegt wird, dass es in einem Ist-Öffnungszeitpunkt OPP2 auf einem oberen Anschlag auftrifft und/oder in einem Ist-Schließzeitpunkt OPP4 in einer Schließposition auftrifft und dadurch ein charakteristisches Signal eines Sensorelements des Einspritzventils auslöst, wobei ein zeitlicher Signalverlauf des Sensorelements erfasst wird und ein in einem zeitlichen Suchfenster des Einspritzzyklus enthaltener Teil des Signalverlaufs untersucht wird, wobei, sofern das charakteristische Signal in dem genannten Teil des zeitlichen Signalverlaufs nicht detektiert wird, in nachfolgenden Einspritzzyklen ein Suchverfahren durchgeführt wird. Durch dieses Vorgehen wird die Messung der Öffnungs- und Schließzeitpunkte der Einspritzventile und damit auch die Zuverlässigkeit und die Robustheit des Regelverfahrens des Einspritzsystems verbessert.

In Bezug auf die Steuerung des Betriebs derartiger Brennkraftmaschinen, insbesondere der Kraftstoffmengenregelung unter Verwendung von piezoelektrisch angetriebenen Injektoren, gibt es mehrdeutige Symptomatiken, auf welche gegebenenfalls situationsabhängig reagiert werden muss.

Die Steuereinheit dieser Brennkraftmaschinen enthält üblicherweise mehrere Steuerungsmechanismen und Regelkreise, die die zugemessene Kraftstoffmenge je nach Bedarf erhöhen oder senken können. Eine einzelne hohe Stellgröße ist üblicherweise unkritisch, vor allem bei niedrig dynamischem Motorbetrieb. Sollten allerdings die Stellgrößen mehrerer Parameter hoch sein und gleichzeitig ein hochdynamischer Betrieb der Brennkraftmaschine vorliegen, beispielsweise eine starke Beschleunigung, dann muss dafür Sorge getragen werden, dass die Injektoren des Kraftstoffeinspritzsystems der Brennkraftmaschine in einem stabilen Betriebsbereich gehalten werden, um zu vermeiden, dass eine möglicherweise kritische Fahrsituation entsteht.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung des Betriebs des Kraftstoffeinspritzsystems einer Brennkraftmaschine anzugeben, bei deren Anwendung die Injektoren des Kraftstoffeinspritzsystems möglichst lange in einem stabilen Betriebsbereich gehalten werden können.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den im Anspruch 1 angegebenen Merkmalen bzw. durch eine Vorrichtung mit den im Anspruch 13 angegebenen Merkmalen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Die Vorteile der Erfindung bestehen insbesondere darin, dass mittels des beanspruchten Verfahrens eine Sicherungsfunktion implementiert werden kann, durch welche gewährleistet ist, dass die Injektoren des Kraftstoffeinspritzsystems solange wie möglich in einem stabilen Betriebsbereich gehalten werden. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von kritischen Fahrsituationen, wie sie beispielsweise bei Überholvorgängen auftreten können, reduziert. Dies wird im Wesentlichen dadurch erreicht, dass bei einem Vorliegen von erhöhten Werten bei Parametern, die für den Betrieb des Kraftstoffeinspritzsystems von Bedeutung sind, vor einem Einleiten von geeigneten Gegenmaßnahmen zunächst durch eine Berechnung eines Kritika-

litätsindex aus den genannten Parametern und dessen Auswertung überprüft wird, innerhalb welcher Reaktionszeit und mit welcher Stärke Gegenmaßnahmen eingeleitet werden müssen. Diese Vorgehensweise entspricht einer im Hinblick auf die Schrittweite und das Maximum variablen Entprellung eines Fehlers in Abhängigkeit vom momentanen Systemzustand, welcher durch die das Kraftstoffeinspritzsystem beeinflussenden Parameter beschrieben wird.

Weitere vorteilhafte Eigenschaften der Erfindung ergeben sich aus deren nachfolgender beispielhafter Erläuterung anhand der Figuren. Es zeigt

Figur 1 eine Blockdarstellung zur Erläuterung des Aufbaus eines Kraftstoffeinspritzsystems einer Brennkraftmaschine,

Figur 2 ein Flussdiagramm zur Erläuterung eines Ausführungsbeispiels für ein Verfahren gemäß der Erfindung und

Figur 3 eine Blockdarstellung zur Erläuterung einer Steuereinheit des Kraftstoffeinspritzsystems der Brennkraftmaschine.

Die Figur 1 zeigt eine Blockdarstellung zur Erläuterung des Aufbaus des Kraftstoffeinspritzsystems 100 einer Brennkraftmaschine. Dieses Kraftstoffeinspritzsystem 100 weist einen Kraftstofftank 200 auf, aus welchem von einer Kraftstoffpumpe 300 über eine Kraftstoffleitung 210 Kraftstoff entnommen wird. In der Kraftstoffleitung 210 kann ein mit gestrichelten Linien gezeichnetes Kraftstofffilter 220 angeordnet sein. Der von der Kraftstoffpumpe 300 aus dem Kraftstofftank 200 entnommene Kraftstoff wird über eine Kraftstoffleitung 310 an ein Einlassventil 400 geleitet. Dieses Einlassventil 400 regelt den Zustrom von Kraftstoff über eine Kraftstoffleitung 410 zu einer Hochdruckpumpe 500. Das Einlassventil 400 kann integraler Bestandteil der Hockdruckpumpe 500 sein. Der in der Hochdruckpumpe 500 auf einen hohen Druck verdichtete Kraftstoff wird über eine Kraftstoffhochdruckleitung 510 an ein Rail 600

weitergegeben. Von dort aus gelangt er über Hochdruckleitungen 610 zu Injektoren 700, über welche der auf einen hohen Druck verdichtete Kraftstoff in die Brennräume eines Verbrennungsmotors 800 eingespritzt wird. Das Rail 600 ist mit einem digitalen Druckabbauventil 630 verbunden, welches auch integraler Bestandteil des Rails sein kann. Das digitale Druckabbauventil 630 ist über eine Kraftstoffrückführleitung 620 mit dem Kraftstofftank 200 verbunden, um aus dem Rail 600 überschüssigen Kraftstoff durch das Druckabbauventil 630 in den Kraftstofftank 200 zurückzuführen. Alternativ dazu kann der über die Kraftstoffrückführleitung 620 zurückgeführte Kraftstoff auch an das Kraftstofffilter 220 zurückgeführt werden, wie es in der Figur 1 durch die gestrichelten Linien angedeutet ist. Zur Erfassung des im Rail 600 vorliegenden Kraftstoffdruckes ist ein Drucksensor 640 vorgesehen.

Des Weiteren weist das in der Figur 1 gezeigte Kraftstoffeinspritzsystem 100 eine Steuereinheit 900 auf, die zur Steuerung der Einspritzvorgänge ausgebildet ist. Die Steuereinheit 900 ist über Steuerleitungen 910 mit dem Einlassventil 400, der Hochdruckpumpe 500, den Injektoren 700 und dem Druckabbauventil 630 verbunden. Die Steuereinheit 900 steuert die Einspritzvorgänge in Abhängigkeit vom momentanen Betriebszustand der Brennkraftmaschine, den es unter Verwendung von Sensorsignalen, abgespeicherten Tabellen und eines abgespeicherten Arbeitsprogrammes ermittelt. Zu den Sensorsignalen gehören unter anderem ein vom Drucksensor 640 ausgegebenes Sensorsignal s1, ein von einem Drehzahlsensor 810 ausgegebenes Sensorsignal s2 und ein von einem Temperatursensor 820 ausgegebenes Sensorsignal s3.

Die Steuereinheit 900 ermittelt unter Verwendung der ihr zugeführten Sensorsignale, der abgespeicherten Tabellen und des abgespeicherten Arbeitsprogrammes unter anderem die momentan induzierte Leistung der Brennkraftmaschine, die momentane Kraftstofftemperatur, den momentanen Energiebedarf der Brennkraftmaschine und die momentane Einspritzdauer der Injektoren. Dabei ermittelt sie den momentanen Energiebedarf durch eine Auswertung des Zeitpunkts OPP2, bei dem es sich um den

Öffnungszeitpunkt des Einspritzventils handelt, der durch die momentane Stellgröße des OPP2-Reglers beschrieben wird. Tritt dieser Zeitpunkt innerhalb eines Einspritzzyklus vergleichsweise früh auf, dann besteht momentan ein vergleichsweise geringer Energiebedarf. Tritt dieser Zeitpunkt hingegen innerhalb eines Einspritzzyklus vergleichsweise spät auf, dann besteht momentan ein vergleichsweise hoher Energiebedarf. Des Weiteren ermittelt sie die momentane Einspritzdauer unter Verwendung eines abgespeicherten Einspritzdauerkennfeldes und einer Auswertung der Zeitpunkte OPP2 und OPP4, wobei es sich bei OPP4 um den Schließzeitpunkt des Einspritzventils handelt, der durch die Stellgröße des OPP4-Reglers beschrieben wird.

Die Figur 2 zeigt ein Flussdiagramm zur Erläuterung eines Ausführungsbeispiels für ein Verfahren gemäß der Erfindung.

Bei diesem Verfahren erfolgt in einem Schritt S1 eine Ermittlung eines Kritikalitätsindex I für die thermische Belastung eines Injektors des Kraftstoffeinspritzsystems. Diese thermische Belastung des Injektors ist beispielsweise dann hoch, wenn zwischen dem Kopfpunkt und dem Fußpunkt des Gehäuses des Injektors ein großer Temperaturgradient vorliegt. Es besteht die Notwendigkeit, die thermische Belastung des Injektors zu überwachen und zu überprüfen, ob der Injektor bei der momentanen thermischen Belastung in einem stabilen Betriebsbereich gehalten werden kann oder ob Maßnahmen zur Reduzierung der thermischen Belastung des Injektors eingeleitet werden müssen.

Zu diesem Zweck erfolgt bei dem in der Figur 2 gezeigten Ausführungsbeispiel nach dem Schritt S1 in einem Schritt S2 eine Abfrage, ob der im Schritt S1 ermittelte Kritikalitätsindex I größer ist als ein vorgegebener erster Schwellenwert SW1.

Ergibt diese Überprüfung, dass der ermittelte Kritikalitätsindex I größer ist als der vorgegebene erste Schwellenwert SW1, dann erfolgt in einem Schritt S3 eine Abfrage, ob der ermittelte Kritikalitätsindex I bereits für eine vorgegebene erste

Zeitdauer t1 größer ist als der vorgegebene erste Schwellenwert SW1.

Ergibt diese Abfrage, dass der ermittelte Kritikalitätsindex I bereits für die vorgegebene erste Zeitdauer t1 größer ist als der vorgegebene erste Schwellenwert SW1, dann wird in einem Schritt S4 eine Maßnahme zur Reduzierung der thermischen Belastung des Injektors in die Wege geleitet. Diese Maßnahme gehört einer ersten Reaktionsebene RE1 an. Zu den Maßnahmen der ersten Reaktionsebene RE1 gehört vorzugsweise eine Reduzierung der Anzahl der aktiven Einspritzungen innerhalb eines Einspritzzyklus. Durch diese Reduzierung der Anzahl der aktiven Einspritzungen innerhalb eines Einspritzzyklus des Injektors wird in vorteilhafter Weise erreicht, dass die Reduzierung der thermischen Belastung des Injektors unmerklich bzw. unauffällig für den Benutzer erfolgt.

Liegt eine Brennkraftmaschine mit einem Automatikgetriebe vor, dann kann im Schritt S4 anstelle oder zusätzlich zu einer Reduzierung der Anzahl der aktiven Einspritzungen eine automatische Umschaltung auf einen höheren Gang vorgenommen werden. Auch eine derartige automatische Umschaltung auf einen höheren Gang gehört zu den Maßnahmen der ersten Reaktionsebene, schränkt die Benutzbarkeit der Brennkraftmaschine nicht ein und führt zu einer Verringerung der thermischen Belastung des Injektors.

Ergibt die Abfrage im Schritt S2 hingegen, dass der im Schritt S1 ermittelte Kritikalitätsindex I kleiner ist als der vorgegebene erste Schwellenwert SW1, dann wird in einem Schritt S5 eine Abfrage vorgenommen, ob der ermittelte Kritikalitätsindex I größer ist als ein vorgegebener zweiter Schwellenwert SW2, welcher kleiner ist als der vorgegebene erste Schwellenwert SW1.

Ergibt diese Abfrage, dass der ermittelte Kritikalitätsindex I größer ist als der vorgegebene zweite Schwellenwert SW2, dann erfolgt in einem Schritt S6 eine Abfrage, ob der ermittelte Kritikalitätsindex I bereits für eine vorgegebene zweite

Zeitdauer t2 größer ist als der vorgegebene zweite Schwellenwert SW2.

Ergibt diese Abfrage, dass der ermittelte Kritikalitätsindex I bereits für die vorgegebene zweite Zeitdauer t2 größer ist als der vorgegebene zweite Schwellenwert SW2, dann wird in einem Schritt S7 eine Maßnahme zur Reduzierung der thermischen Belastung des Injektors in die Wege geleitet. Diese Maßnahme gehört einer zweiten Reaktionsebene RE2 an. Zu den Maßnahmen der zweiten Reaktionsebene RE2 gehört beispielsweise eine Beschränkung der Drehzahl und/oder des Drehmoments der Brennkraftmaschine. Auch durch eine derartige Beschränkung der Drehzahl und/oder des Drehmoments der Brennkraftmaschine wird in vorteilhafter Weise erreicht, dass die thermische Belastung des Injektors reduziert wird.

Die Maßnahmen der ersten Reaktionsebene RE1 unterscheiden sich von den Maßnahmen der zweiten Reaktionsebene RE2 insbesondere dadurch, dass die Maßnahmen der ersten Reaktionsebene RE1 die momentane Leistungsfähigkeit der Brennkraftmaschine nicht oder allenfalls geringfügig einschränken und für den Benutzer möglichst unauffällig sind, während die Maßnahmen der zweiten Reaktionsebene RE2 die momentane Leistungsfähigkeit der Brennkraftmaschine spürbar einschränken können und auch für den Benutzer auffällig sein können.

Vorzugsweise ist die vorgegebene erste Zeitdauer t1 kleiner als die vorgegebene zweite Zeitdauer t2. Deshalb werden die Maßnahmen der ersten Reaktionsebene RE1, die dann eingeleitet werden, wenn der ermittelte Kritikalitätsindex I größer ist als der erste Schwellenwert SW1, der größer ist als der vorgegebene zweite Schwellenwert SW2, relativ schnell eingeleitet, während im Unterschied dazu die Maßnahmen der zweiten Reaktionsebene RE2, die dann eingeleitet werden, wenn der ermittelte Kritikalitätsindex I größer als der zweite Schwellenwert SW2 ist, aber kleiner als der erste Schwellenwert SW1 ist, erst nach Ablauf einer vergleichsweise längeren Zeitdauer eingeleitet werden.

Die genannten Schwellenwerte SW1 und SW2 und die genannten Zeitdauern t1 und t2 wurden vom Fahrzeughersteller im Voraus empirisch ermittelt und in einem Speicher der Steuereinheit der Brennkraftmaschine hinterlegt.

Auch die vorstehend beschriebenen Maßnahmen zur Reduzierung der thermischen Belastung des Injektors wurden vom Fahrzeughersteller bereits im Voraus den beiden Reaktionsebenen zugeordnet, wobei diese Zuordnung ebenfalls in einem Speicher der Steuereinheit der Brennkraftmaschine hinterlegt wird und bei Bedarf von der Steuereinheit von dort abgerufen werden kann.

Ergibt die Abfrage im Schritt S5, dass der ermittelte Kritikalitätsindex I kleiner ist als der vorgegebene zweite Schwellenwert SW2, dann wird zu einem Schritt S8 übergegangen.

In diesem Schritt S8 erfolgt eine Abfrage, ob der ermittelte Kritikalitätsindex I bereits für eine vorgegebene dritte Zeitdauer t3, die vorzugsweise größer ist als die erste Zeitdauer und auch größer ist als die zweite Zeitdauer, kleiner ist als der vorgegebene Schwellenwert SW2, dann wird erkannt, dass der ermittelte Kritikalitätsindex I in seinem Normalbereich liegt. In diesem Falle wird zu einem Schritt S9 übergegangen. In diesem Schritt S9 werden die ggf. im Schritt S4 oder S5 eingeleiteten Maßnahmen zur Reduzierung der thermischen Belastung des Injektors wieder aufgehoben (STOPPEN). Ergibt die Abfrage im Schritt S8 hingegen, dass der ermittelte Kritikalitätsindex noch nicht für die vorgegebene dritte Zeitdauer t3 kleiner ist als der vorgegebene Schwellenwert SW2, dann werden die ggf. im Schritt S4 oder S5 eingeleiteten Maßnahmen zur Reduzierung der thermischen Belastung des Injektors aufrechterhalten (WEITER).

Die Figur 3 zeigt eine Blockdarstellung zur Erläuterung einer Steuereinheit S des Kraftstoffeinspritzsystems der Brennkraftmaschine, welche zur Ermittlung des Kritikalitätsindex I und zur Ermittlung von Ansteuersignalen st1 und st2 zur Einleitung von Maßnahmen zur Reduktion der thermischen Belastung eines Injektors ausgebildet ist. Bei dieser Steuereinheit S

handelt es sich vorzugsweise um die in der Figur 1 dargestellte Steuereinheit 900, die zur Steuerung des gesamten Kraftstoffeinspritzsystems vorgesehen ist.

Der Steuereinheit S werden eine Vielzahl von Sensorsignalen s1 … sn zugeführt, die von jeweils zugehörigen Sensoren der Brennkraftmaschine bereitgestellt werden. Die Steuereinheit S wertet diese Sensorsignale unter Verwendung eines in einem Speicher SP abgespeicherten Arbeitsprogrammes und unter Verwendung von weiteren im Speicher SP hinterlegten Daten aus und ermittelt die momentan induzierte Leistung P der Brennkraftmaschine, die momentane Kraftstofftemperatur T, den momentanen Energiebedarf E der Brennkraftmaschine und die momentane Einspritzdauer τ des jeweiligen Injektors.

Bei diesen Parametern P, T, E und τ handelt es sich um Größen, die den am Gehäuse der Injektoren herrschenden Temperaturgradienten beeinflussen. So dient beispielsweise die momentan induzierte Leistung P der Brennkraftmaschine als Maß für die Brennraumtemperatur, die Düsenaufheizung und die Düsenlängung. Die momentane Kraftstofftemperatur T dient beispielsweise als Maß für die Nadelkühlung und die Nadelkürzung. Ein hoher Temperaturgradient entlang des Injektorkörpers und auch zwischen dem Düsenkörper und der Düsennadel stellt sich insbesondere ein bei gegenwärtig hoher induzierter Leistung der Brennkraftmaschine. Dies entspricht einem hohen Energieeintrag aus dem Brennraum in die Düse, so dass eine hohe Düsentemperatur entsteht. Des Weiteren führen große Einspritzmengen bei niedrigem Kraftstoffdruck zu einer düsennahen Verbrennung. Im Falle einer niedrigen Kraftstofftemperatur liegt eine gute Kühlung der Düsennadel vor. Dies gilt insbesondere beim Vorliegen einer langen Einspritzdauer, wie sie bei hoher induzierter Leistung der Brennkraftmaschine oder niedrigem Kraftstoffdruck notwendig ist.

Weiterhin bewertet die Steuereinheit S auch das Öffnungsverhalten des Injektors. Ein niedriger Energiebedarf zeigt ein

leichtes Öffnen an. Eine niedrige OPP2-Zeit zeigt ein schnelles Öffnen an. Eine hohe OPP4-Zeit zeigt ein langsames Schließen an.

Zu den vorgenannten Parametern P, T, E und T wird ein im Voraus ermittelter und im Speicher SP hinterlegter Gewichtungsfaktor multipliziert. So wird die momentan induzierte Leistung P mit einem Gewichtungsfaktor k1, die momentane Kraftstofftemperatur T mit einem Gewichtungsfaktor k2, der momentane Energiebedarf E mit einem Gewichtungsfaktor k3 und die momentane Einspritzdauer T mit einem Gewichtungsfaktor k4 multipliziert. Auch diese Gewichtungsfaktoren wurden im Voraus empirisch ermittelt und im Speicher SP hinterlegt.

Aus diesen jeweils mit einem Gewichtungsfaktor multiplizierten Parametern wird in einem Addierer A durch einen Additionsvorgang der Kritikalitätsindex I ermittelt:

$$I = k1 \cdot P + k2 \cdot T + k3 \cdot E + k4 \cdot T.$$

Dieser ermittelte Kritikalitätsindex I wird einer Recheneinheit R der Steuereinheit S zugeführt, die unter Verwendung des ermittelten Kritikalitätsindex I Steuersignale st1 und/oder st2 ermittelt, welche zur Einleitung von Maßnahmen zur Reduktion der thermischen Belastung des Injektors verwendet werden. Dabei werden mittels der Steuersignale st1 eine oder mehrere Maßnahmen der ersten Reaktionsebene RE 1 und mittels der Steuersignale st2 eine oder mehrere Maßnahmen der zweiten Reaktionsebene RE2 eingeleitet, wenn die Steuereinheit S im Rahmen ihrer Steuerung des oben anhand der Figur 2 beschriebenen Verfahrens die Notwendigkeit der Einleitung der genannten Maßnahmen erkennt.

Die vorstehend beschriebene Erfindung beruht darauf, dass das Verhalten eines piezoelektrisch betriebenen Injektors stark temperaturabhängig ist. Insbesondere sehr hohe Temperaturen des Injektorkörpers und hohe Temperaturgradienten entlang des Injektorkörpers stellen eine Herausforderung für den Injektorbetrieb bzw. die Injektorregelung dar. Besonderes Augenmerk

muss auch auf das Einlaufverhalten eines Injektors gelegt werden, da bei neu gefertigten Injektoren während der ersten Betriebsstunden eine beschleunigte Verhaltensänderung in Form einer Öffnungsspannungsdrift auftreten kann.

Üblicherweise ist ein Injektor in Bezug auf die Materialien, aus denen er gefertigt wird, so eingestellt, dass sich im eingeschwungenen Zustand thermische Ausdehnungen der einzelnen Injektorbestandteile gegeneinander weitgehend ausgleichen, so dass das Verhalten des Injektors über einen weiten Temperaturbereich stabil ist. Wenn sich aber unter bestimmten Motorbetriebsbedingungen ein Endbereich des Injektors, beispielsweise die Düsenkuppe, sehr schnell stark erhitzt, dann kann das Verhalten des Injektors an die Grenzen seines stabilen Arbeitsbereiches gelangen.

Ein bestimmter Regeleingriff, der im Normalbetrieb bei durchgewärmtem Injektor keinerlei unerwünschte Auswirkungen hat, kann in einem hochtransienten Betrieb möglicherweise zu Problemen führen.

Um dies zu vermeiden und die möglichen Auswirkungen eines gegenwärtigen Betriebszustandes besser abschätzen zu können, wird bei der oben beschriebenen Erfindung eine Art Wirkungskettenanalyse durchgeführt, bei welcher die für die thermische Belastung des Injektors relevanten Einflussgrößen gewichtet werden und daraus ein Kritikalitätsindex ermittelt wird.

Ein hoher Gewichtungsfaktor bedeutet einen hohen Einfluss des jeweiligen Parameters auf den Kritikalitätsindex und umgekehrt.

Je höher der Kritikalitätsindex ist, desto schneller muss auf bestimmte Fehleranzeichen bzw. Symptome, die im Einspritzsystem auftreten, reagiert werden. Ein einzelner hoher Kritikalitätsindex führt noch nicht dazu, dass Maßnahmen zur Reduzierung der thermischen Belastung des Injektors in die Wege geleitet werden müssen. Erst wenn der hohe Kritikalitätsindex für eine vorgegebene Zeitdauer vorliegt, erfolgt ein Einleiten von

Maßnahmen zur Reduzierung der thermischen Belastung des Injektors. Dieses Vorgehen erhöht die Sicherheit einer Fehlererkennung und führt dazu, dass geeignete Gegenmaßnahmen erst dann eingeleitet werden, wenn dies auch notwendig ist.

Insbesondere ist die zur Überwachung des Betriebs des Kraftstoffeinspritzsystems vorgesehene Steuereinheit S derart ausgebildet, dass sie die Zeitdauer, für welche der Kritikalitätsindex den jeweiligen Schwellenwert überschreiten muss, in Abhängigkeit von der Höhe des ermittelten Kritikalitätsindex vorgibt und auch die Maßnahme(n) zur Reduktion der thermischen Belastung des Injektors in Abhängigkeit von der Höhe des ermittelten Kritikalitätsindex vorgibt, so dass stets eine angemessene Reaktion auf den jeweils ermittelten Kritikalitätsindex in die Wege geleitet werden kann.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass neben dem im hochtransienten Betrieb bzw. Grenzbereichsbetrieb des Injektors auftretenden Temperaturgradienten entlang des Injektorkörpers auch eine deutlich über einem vorgegebenen Betriebstemperaturlimit liegende Injektortemperatur erfasst werden kann. Derart hohe Injektortemperaturen können sich beispielsweise bei einem Defekt der Brennraumabdichtung einstellen.

Eine vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung besteht darin, bei der Ermittlung des Kritikalitätsindex nicht nur die momentanen Werte der oben genannten Parameter zu berücksichtigen, sondern auch deren Gradienten.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Überwachung des Betriebs des Kraftstoffeinspritzsystems einer Brennkraftmaschine mit folgenden Schritten:
- Ermittlung eines Kritikalitätsindex (I) für die thermische Belastung eines Injektors des Kraftstoffeinspritzsystems,
- Überprüfung, ob der ermittelte Kritikalitätsindex größer ist als ein Schwellenwert (SW1),
- wenn der ermittelte Kritikalitätsindex größer ist als der Schwellenwert, dann Überprüfung, ob der ermittelte Kritikalitätsindex für eine vorgegebene Zeitdauer (t1) größer ist als der Schwellenwert, und
- Einleitung einer Maßnahme (RE1) zur Reduktion der thermischen Belastung des Injektors, wenn der ermittelte Kritikalitätsindex (I) für die vorgegebene Zeitdauer (t1) größer ist als der Schwellenwert (SW1).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Zeitdauer in Abhängigkeit von der Höhe des Kritikalitätsindex vorgegeben wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Maßnahme zur Reduktion der thermischen Belastung des Injektors in Abhängigkeit von der Höhe des ermittelten Kritikalitätsindex vorgegeben wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kritikalitätsindex durch eine Auswertung von mehreren Parametern ermittelt wird, zu denen die momentan induzierte Leistung (P) der Brennkraftmaschine, die momentane Kraftstofftemperatur (T), der momentane Energiebedarf (E) und die momentane Einspritzdauer (T) gehören.

5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der momentane Energiebedarf (E) durch eine Auswertung des Zeitpunkts OPP2 des Injektors ermittelt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die momentane Einspritzdauer (T) durch eine Auswertung der Zeitpunkte OPP2 und OPP4 des Injektors ermittelt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zu jedem der Parameter (P,T,E,T) ein Gewichtungsfaktor (k1,k2,k3,k4) multipliziert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Kritikalitätsindex durch eine Verknüpfung der jeweils mit einem Gewichtungsfaktor multiplizierten Parameter berechnet wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass es folgende Schritte aufweist:
- Überprüfung, ob der ermittelte Kritikalitätsindex (I) größer ist als ein erster Schwellenwert (SW1),
- bei positivem Überprüfungsergebnis Überprüfung, ob der ermittelte Kritikalitätsindex (I) bereits länger als eine erste Zeitdauer (t1) größer ist als der erste Schwellenwert, und Aktivieren einer Maßnahme einer ersten Reaktionsebene (RE1), wenn dies der Fall ist,
- bei negativem Überprüfungsergebnis Überprüfung, ob der ermittelte Kritikalitätsindex (I) größer ist als ein zweiter Schwellenwert (SW2), welcher kleiner ist als der erste Schwellenwert,
- bei positivem Überprüfungsergebnis Überprüfung, ob der ermittelte Kritikalitätsindex (I) bereits länger als eine zweite Zeitdauer (t2), welche größer ist als die erste Zeitdauer (t1), größer ist als der zweite Schwellenwert (SW2), und Aktivieren einer Maßnahme der zweiten Reaktionsebene (RE2), wenn dies der Fall ist.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass zu den Maßnahmen der ersten Reaktionsebene eine Reduzierung der Anzahl der aktiven Einspritzungen gehört.

11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass beim Vorliegen eines Automatikgetriebes zu den Maßnahmen der

ersten Reaktionsebene eine automatische Umschaltung auf einen höheren Gang gehört.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass zu den Maßnahmen der zweiten Reaktionsebene eine Beschränkung der Drehzahl und/oder des Drehmoments der Brennkraftmaschine gehören.

13. Vorrichtung zur Überwachung des Betriebs des Kraftstoffeinspritzsystems einer Brennkraftmaschine, dadurch gekennzeichnet, dass sie eine Steuereinheit (S) aufweist, die zur Steuerung eines Verfahrens mit den in einem der vorhergehenden Ansprüche angegebenen Merkmalen ausgebildet ist.

FIG.1

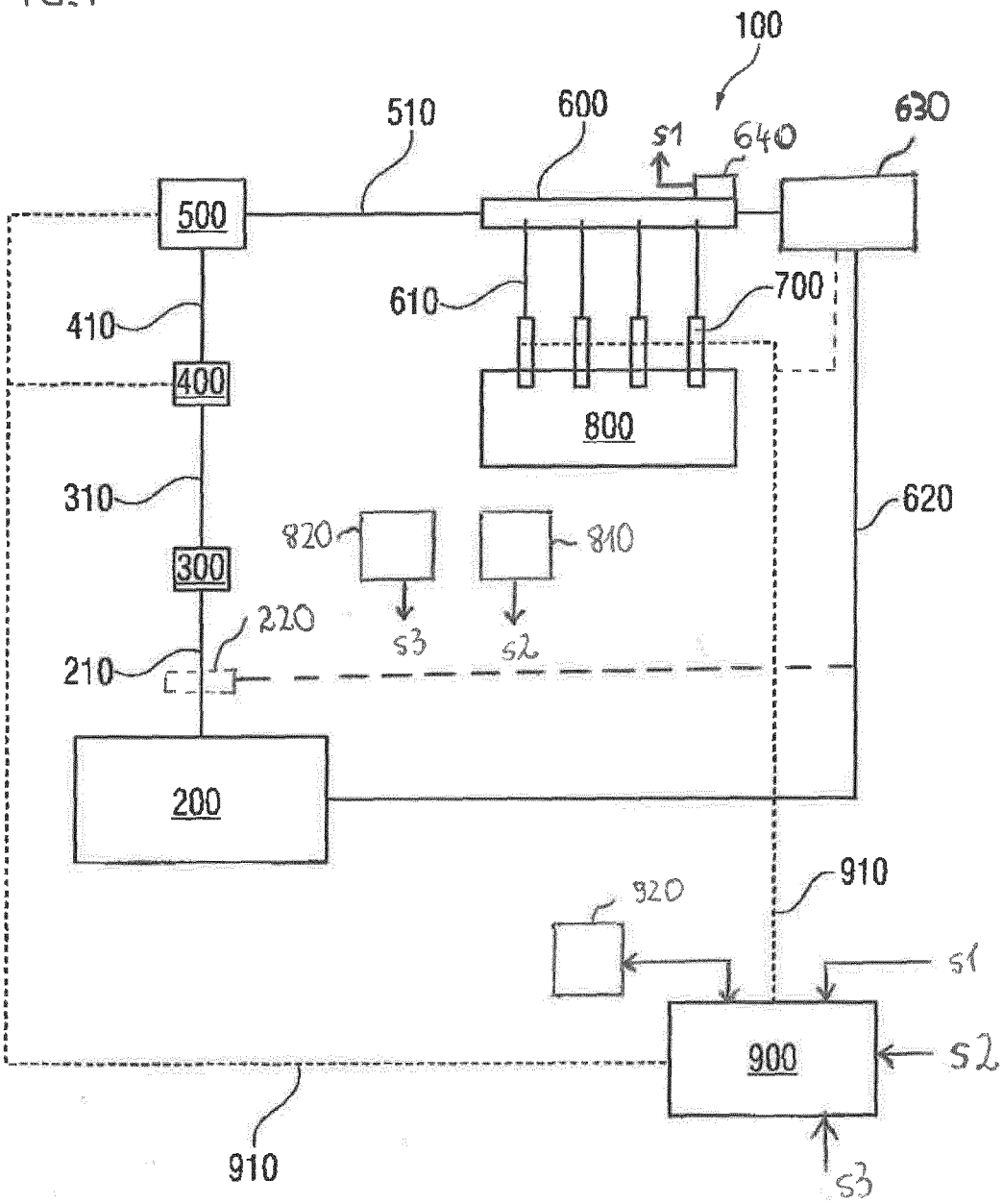

100
510
600
S1
640
630
500
610
700
410
400
800
310
620
820
810
300
S3
S2
220
210
200
910
920
S1
900
S2
910
S3

FIG. 2

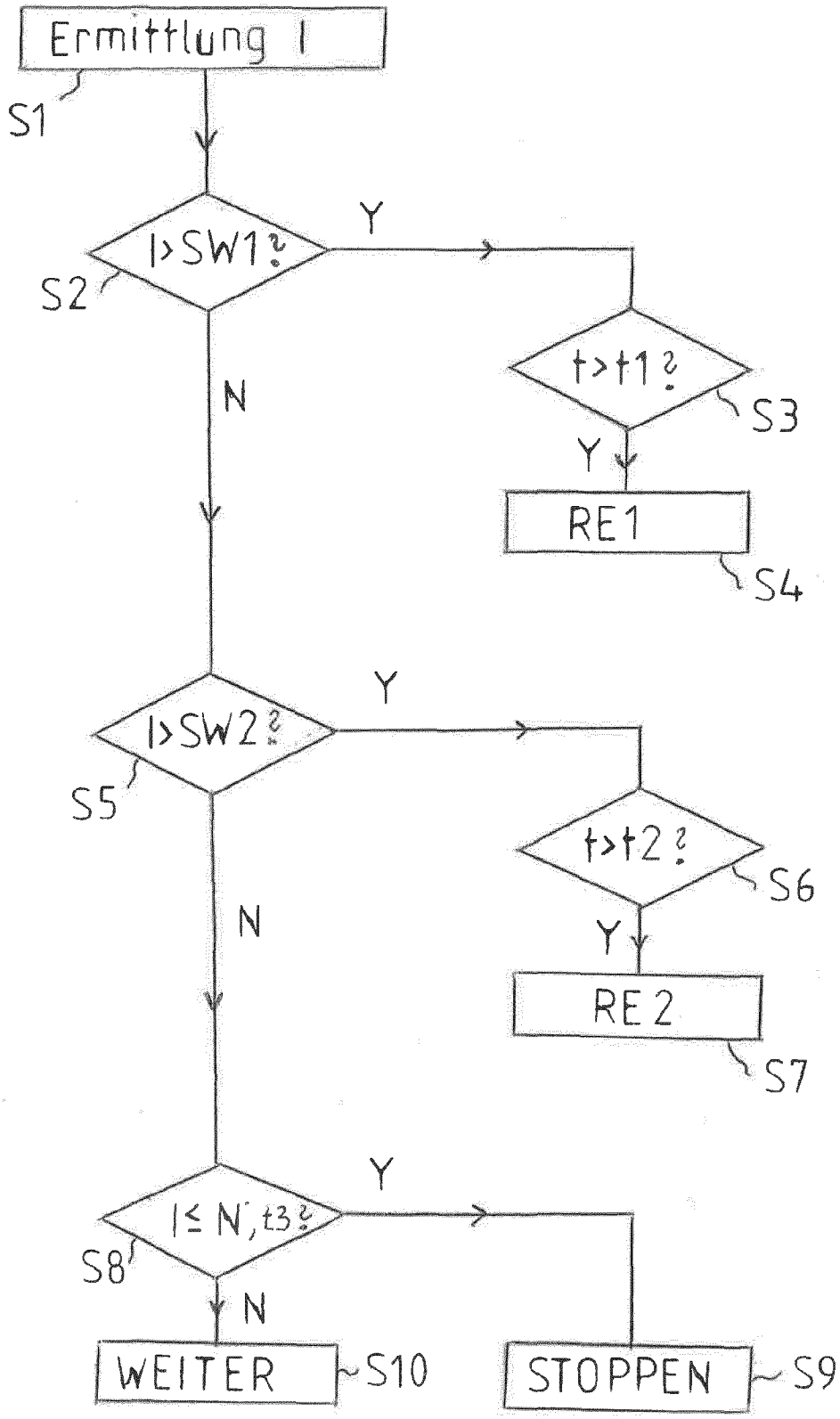
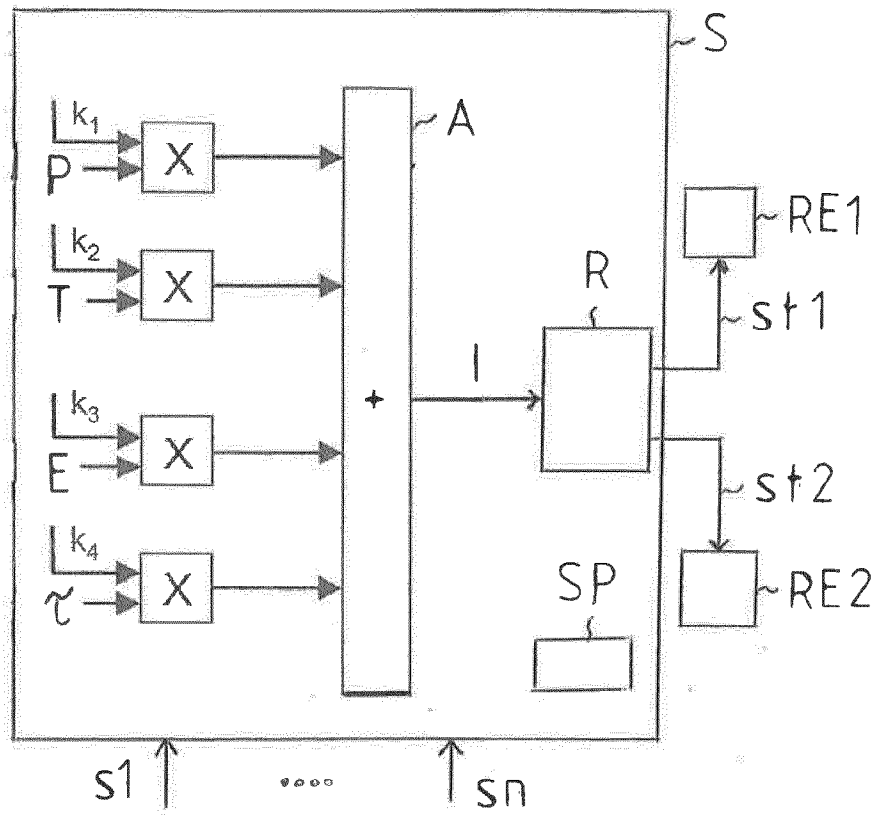

Ermittlung I
S1
I>SW1?
S2
Y
N
t>t1?
S3
Y
RE1
S4
I>SW2?
S5
Y
N
t>t2?
S6
Y
RE2
S7
I≤N, t3?
S8
Y
N
WEITER
S10
STOPPEN
S9

FIG.3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2016/055204

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F02D35/02 F02M53/04
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F02D F02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 10 2008 046715 A1 (FORD GLOBAL TECH LLC [US]) 9 April 2009 (2009-04-09) paragraphs [0006] - [0009]	1-13
X	WO 2006/038428 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]; AKITA TATSUHIKO [JP]; KURATA NAOKI [JP]; YAM) 13 April 2006 (2006-04-13) page 5, line 10 - page 8, line 8	1-13
X	EP 1 116 878 A2 (DELPHI TECH INC [US]) 18 July 2001 (2001-07-18) paragraphs [0004] - [0010], [0023]	1-13
A	GB 752 913 A (BRYCE BERGER LTD) 18 July 1956 (1956-07-18) page 1, line 46 - line 67	1-13

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
27 May 2016	07/06/2016

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Jackson, Stephen

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2016/055204

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 102008046715 A1	09-04-2009	CN 101403345 A	08-04-2009
		DE 102008046715 A1	09-04-2009
		US 2009090332 A1	09-04-2009
WO 2006038428 A1	13-04-2006	EP 1802860 A1	04-07-2007
		EP 1950402 A1	30-07-2008
		EP 1950403 A1	30-07-2008
		JP 2006132517 A	25-05-2006
		US 2006075992 A1	13-04-2006
		US 2007261674 A1	15-11-2007
		US 2007261675 A1	15-11-2007
		WO 2006038428 A1	13-04-2006
EP 1116878 A2	18-07-2001	EP 1116878 A2	18-07-2001
		US 2001032893 A1	25-10-2001
GB 752913 A	18-07-1956	NONE	

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/055204

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F02D35/02 F02M53/04
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F02D F02M

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2008 046715 A1 (FORD GLOBAL TECH LLC [US]) 9. April 2009 (2009-04-09) Absätze [0006] - [0009]	1-13
X	WO 2006/038428 A1 (TOYOTA MOTOR CO LTD [JP]; AKITA TATSUHIKO [JP]; KURATA NAOKI [JP]; YAM) 13. April 2006 (2006-04-13) Seite 5, Zeile 10 - Seite 8, Zeile 8	1-13
X	EP 1 116 878 A2 (DELPHI TECH INC [US]) 18. Juli 2001 (2001-07-18) Absätze [0004] - [0010], [0023]	1-13
A	GB 752 913 A (BRYCE BERGER LTD) 18. Juli 1956 (1956-07-18) Seite 1, Zeile 46 - Zeile 67	1-13

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
27. Mai 2016	07/06/2016

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Jackson, Stephen

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (April 2005)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2016/055204

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102008046715 A1	09-04-2009	CN 101403345 A	08-04-2009
		DE 102008046715 A1	09-04-2009
		US 2009090332 A1	09-04-2009
WO 2006038428 A1	13-04-2006	EP 1802860 A1	04-07-2007
		EP 1950402 A1	30-07-2008
		EP 1950403 A1	30-07-2008
		JP 2006132517 A	25-05-2006
		US 2006075992 A1	13-04-2006
		US 2007261674 A1	15-11-2007
		US 2007261675 A1	15-11-2007
		WO 2006038428 A1	13-04-2006
EP 1116878 A2	18-07-2001	EP 1116878 A2	18-07-2001
		US 2001032893 A1	25-10-2001
GB 752913 A	18-07-1956	KEINE	