

(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
31. Mai 2019 (31.05.2019)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2019/101518 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
F02D 41/20 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2018/080431

(22) Internationales Anmeldedatum:
07. November 2018 (07.11.2018)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2017 220 912.7
23. November 2017 (23.11.2017) DE

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

(72) Erfinder: **FRITSCH, Jürgen**; Spindelbachweg 5, 93059 Regensburg (DE). **MA, Shuang**; Brunnenstr. 19, 71032 Böblingen (DE).

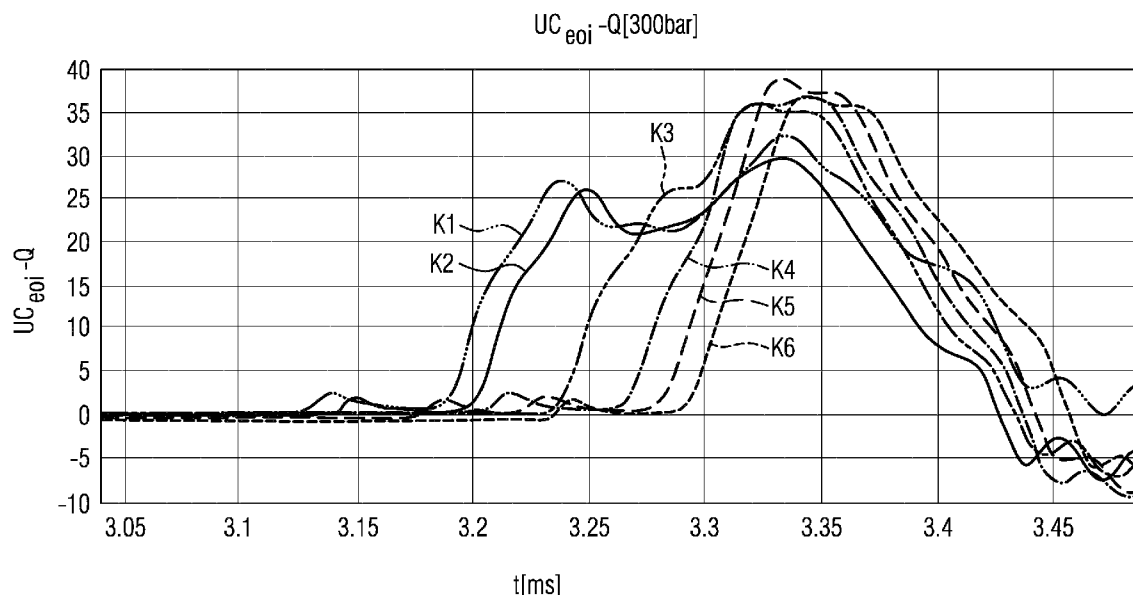
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, 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,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR DETERMINING THE OPENING TIME OF THE SERVO VALVE OF A PIEZO INJECTOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERMITTLUNG DES ÖFFNUNGSZEITPUNKTES DES SERVOVENTILS EINES PIEZOINJEKTORS

FIG 2



(57) Abstract: The invention relates to a method and to a device for determining the opening time of a servo valve of a piezo injector, which has a piezo actuator, the servo valve and a nozzle needle. The progression of the force acting on the piezo actuator during a charging operation of the piezo actuator is determined taking account of the capacitance of the piezo actuator, and the time of the maximum force acting on the piezo actuator is identified as the opening time of the servo valve. Changes in the capacitance of the piezo actuator occurring during the charging operation of the piezo actuator are determined and the force acting on the piezo actuator during the charging operation is taken into account in the determination of the progression of the force.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung des Öffnungszeitpunktes eines

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, 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)

Servoventils eines Piezoinjektors, der einen Piezoaktor, das Servoventil und eine Düsennadel aufweist, wobei der Verlauf der während eines Ladevorganges des Piezoaktors auf den Piezoaktor wirkenden Kraft unter Berücksichtigung der Kapazität des Piezoaktors ermittelt wird und der Zeitpunkt des Maximums der auf den Piezoaktor wirkenden Kraft als Öffnungszeitpunkt des Servoventils erkannt wird, wobei während des Ladevorganges des Piezoaktors auftretende Veränderungen der Kapazität des Piezoaktors ermittelt und bei der Ermittlung des Verlaufs der während des Ladevorganges auf den Piezoaktor wirkenden Kraft berücksichtigt werden.

Beschreibung

Verfahren und Vorrichtung zur Ermittlung des Öffnungszeitpunktes
5 des Servoventils eines Piezoinjektors

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur
Ermittlung des Öffnungszeitpunktes des Servoventils eines
10 Piezoinjektors.

Es ist bereits bekannt, Piezoinjektoren unter Verwendung einer
sogenannten Closed-Loop-Regelung präzise einzustellen. Ein
wichtiger Bestandteil der Ansteuerung eines Piezoinjektors sind
15 eine möglichst genaue Regelung des Zeitpunkts der Servoven-
tilöffnung und eine möglichst genaue Regelung des Öffnungshubs
des Piezoantriebs. Voraussetzung für eine derartige genaue
Regelung ist eine möglichst exakte Bestimmung des Öffnungs-
zeitpunkts des Servoventils.

20 Es gibt eine Reihe von Faktoren, die Einfluss auf die Genauigkeit
der zur Servoventilöffnungserkennung verwendeten elektrischen
Rückmessung haben. Zu diesen Faktoren gehören unter anderem die
Bewegung des Piezoelaktors während des Ladevorganges und deren
25 Auswirkung auf das elektrische Rückmeldesignal, d.h. auf den
gemessenen Strom und die gemessene Spannung.

Bisher wurde eine Servoventilöffnungserkennung unter Verwendung
von linearen Piezogleichungen und einer Ermittlung des Maximums
30 des Kraftverlaufs am Piezoaktor aus der gemessenen Spannung und
der Ladung durchgeführt.

Zu dieser Servoventilöffnungserkennung wurden folgende Gleichungen verwendet:

35

$$\Delta l/l = -s_{33} \cdot F/A + d_{33} \cdot U/d$$

und

$$Q/(A \cdot N) = -d_{33} \cdot F/A + \varepsilon_{33} \cdot U/d.$$

- 5 Dabei bezeichnet
 Δl den Hub des Piezoaktors,
 l die aktive Länge des Piezoaktors,
 F die auf den Piezoaktor wirkende Kraft,
 A die aktive Fläche des Piezoaktors,
10 U die am Piezoaktor anliegende Spannung,
 d die Dicke einer Piezolage,
 N die Anzahl der Piezolagen,
 Q die Ladung des Piezoaktors,
 s_{33} die inverse Elastizität des Piezoaktors,
15 d_{33} die elektromechanische Kopplungskonstante des
Piezoaktors,
 ε_{33} die Dielektrizitätskonstante des Piezoaktors.

- Mit Hilfe eines auf diesen Piezogleichungen beruhenden Eich-
20 verfahrens wurde ein korrigierter, konstanter Wert für die
Piezokapazität C_{cor} berechnet, mit dessen Hilfe anhand der
folgenden Gleichung die Kraft am Piezoaktor berechnet wird:

$$F = K \cdot (U \cdot C_{cor} - Q),$$

- 25 wobei K eine Konstante ist.

- Die zeitliche Position des Maximums dieser Kraft F entspricht dem
Zeitpunkt der Servoventilöffnung.

- 30 Das vorgenannte Eichverfahren verwendet zur Berechnung eines
korrigierten, konstanten Wertes der Piezokapazität die folgende
Gleichung:

- 35 $1,25 \cdot (F^2/E_{50}) \cdot C_{cor} = (C_{cor} \cdot U - Q)^2.$

Dabei bezeichnet

F die bekannte Kraft zum Zeitpunkt der Servoventilöffnung,
E50 eine Materialkonstante des Piezoaktors,
U die am Piezoaktor zum Zeitpunkt der Servoventilöffnung an-
liegende Spannung und
5 Q die Ladung des Piezoaktors zum Zeitpunkt der Servoventil-
öffnung.

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, die Genauigkeit der
Ermittlung des Zeitpunkts der Servoventilöffnung zu erhöhen.

10

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den im Anspruch 1
angegebenen Merkmalen gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und
Weiterbildungen der Erfindung sind in den abhängigen Ansprüchen
2 und 3 angegeben. Die Ansprüche 4 bis 6 haben eine Vorrichtung
15 zur Detektion des Öffnungszeitpunkts des Servoventils eines
Piezoinjektors zum Gegenstand.

Die Vorteile der Erfindung bestehen insbesondere darin, dass
aufgrund einer Berücksichtigung der Zunahme der Piezokapazität
20 im Laufe des Ladeprozesses des Piezoaktors abhängig von der
Energie oder der Ladung oder der Spannung mit Hilfe der Gleichung

$$F = K \cdot (U \cdot C_{\text{cor}}(E(t)) - Q)$$

25 der Kraftverlauf am Piezoaktor genauer wiedergegeben wird als
beim bekannten Verfahren und deshalb die Genauigkeit der Be-
stimmung des Zeitpunkts der Servoventilöffnung erhöht ist.

Die Veränderung der Piezokapazität während des Ladevorgangs wird
30 in vorteilhafter Weise anhand des Hystereseverhaltens in einem
Ladungs-Spannungs-Hysterese-Diagramm des Piezoaktors bestimmt
und in Form der Gleichung

$$C_{\text{cor}}(E(t)) = C_{\text{eoc}} \cdot (1 - a \cdot e^{-b \cdot (E(t))})$$

35

dargestellt.

Dabei bezeichnet

Ceoc die Kapazität am Ende der Piezohaltephase,
a eine Skalierungsgröße und
b eine Skalierungsgröße.

Diese Skalierungsgrößen haben beispielsweise folgende Werte:

5 a $\approx 0,6$ und b $\approx 0,75/\text{mJ}$.

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

10 Figur 1 eine Blockdarstellung einer Vorrichtung zur Ermittlung des Öffnungszeitpunktes eines Servoventils eines Piezoinjektors,

15 Figur 2 ein Diagramm zur Veranschaulichung des Verlaufs der während eines Ladevorgangs des Piezoaktors auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für unterschiedliche Leerhübe beim Stand der Technik

20 Figur 3 ein Diagramm zur Veranschaulichung des Verlaufs der während eines Ladevorgangs des Piezoaktors auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für unterschiedliche Leerhübe bei Berücksichtigung von während des Ladevorgangs des Piezoaktors auftretenden Veränderungen der Piezokapazität,

25 Figur 4 ein Diagramm zur Veranschaulichung der leerhubabhängigen Änderung des Servoventilöffnungszeitpunktes bei bereits korrigiertem Beginn der Bestromung für vier unterschiedliche Piezoinjektoren beim Stand der
30 Technik und

35 Figur 5 ein Diagramm zur Veranschaulichung der leerhubabhängigen Änderung des Servoventilöffnungszeitpunktes bei bereits korrigiertem Beginn der Bestromung für vier unterschiedliche Piezoinjektoren bei Berücksichtigung von während des Ladevorgangs des Piezoaktors auftretenden Veränderungen der Piezokapazität.

In Brennkraftmaschinen werden Kraftstoffeinspritzsysteme verwendet, die einen Druckspeicher, mindestens ein Einspritzventil und eine Steuereinheit aufweisen. Zum Einspritzventil gehören ein Piezoaktor, ein Servoventil und eine
5 Düsennadel. Der Piezoaktor betätigt das Servoventil gegen die Kraft einer Schließfeder und des Drucks im Steuerraum, um zu erreichen, dass das Servoventil öffnet und die Düsennadel derart betätigt, dass diese eine über eine Kraftstoffleitung mit dem Druckspeicher in Verbindung stehende Einspritzöffnung des
10 Piezoinjektors freigibt, so dass Kraftstoff in einen Verbrennungsraum der Brennkraftmaschine gespritzt wird.

Zur Auslösung einer Öffnung des Servoventils steuert die Steuereinheit einen Ladevorgang des Piezoaktors mit elektrischer
15 Energie. Durch diese Beaufschlagung mit elektrischer Energie dehnt sich der Piezoaktor aus, so dass sich das Servoventil von seinem Sitz abhebt, um die Düsennadel zu betätigen.

Bei dieser Ansteuerung des Piezoinjektors ist es von hoher
20 Bedeutung, eine möglichst genaue Regelung des Zeitpunkts der Servoventilöffnung durchzuführen. Voraussetzung für eine derartige genaue Regelung ist eine möglichst exakte Bestimmung des Öffnungszeitpunkts des Servoventils.

25 Die Figur 1 zeigt eine Blockdarstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Ermittlung des Öffnungszeitpunktes eines Piezoinjektors. Diese Vorrichtung weist eine Steuereinheit 1, einen Speicher 2 und einen Piezoinjektor 3 auf. Zum Piezoinjektor 3 gehören ein Piezoaktor 4, ein Servoventil 5 und eine Düsennadel
30 6. Die Steuereinheit 1 steht mit einem Speicher 2 in Verbindung, in welchem bereits herstellerseitig Daten abgespeichert sind, die Materialkonstanten des Piezoaktors entsprechen. Ferner sind im Speicher 2 weitere Daten abgespeichert, die der Anzahl der Lagen des Piezoaktors und der Dicke der Lagen des Piezoaktors
35 entsprechen. Darüber hinaus sind im Speicher 2 Daten abgespeichert, die empirisch ermittelten Diagrammen entsprechen. Zu diesen Diagrammen gehört unter anderem ein Ladungs-Spannungs-Hystere-Diagramm. Die vorgenannten Daten werden

von der Steuereinheit 1 zur Ermittlung des Öffnungszeitpunktes des Servoventils des Piezoinjektors benötigt. Des Weiteren werden der Steuereinheit Eingangssignale e1 und e2 zugeführt, die während des Betriebs des Piezoinjektors unter Verwendung von Sensoren beziehungsweise geeigneter Abgriffe der zum Antrieb des Piezoaktors verwendeten Leistungselektronik ermittelt werden. Bei diesen Eingangssignalen handelt es sich um gemessene Istwerte des durch den Piezoaktor fließenden Stromes und der am Piezoaktor anliegenden Spannung.

Die Steuereinheit 1 ist dazu ausgebildet, unter Verwendung der ihr zugeführten Eingangssignale e1 und e2 und der im Speicher 2 hinterlegten Daten und eines ebenfalls im Speicher 2 hinterlegten Arbeitsprogrammes den Zeitpunkt der Servoventilöffnung möglichst exakt zu ermitteln.

Bei dieser Ermittlung des Zeitpunkts der Servoventilöffnung erfolgt ebenfalls unter Zuhilfenahme der bereits oben genannten linearen Piezogleichungen eine Ermittlung des Maximums des Kraftverlaufs unter Verwendung der der gemessenen Spannung und der Ladung.

Dabei werden die folgenden Gleichungen verwendet:

$$\Delta l/l = -s_{33} \cdot F/A + d_{33} \cdot U/d$$

$$Q/(A \cdot N) = -d_{33} \cdot F/A + \epsilon_{33} \cdot U/d.$$

Dabei bezeichnet

Δl den Hub des Piezoaktors,
l die aktive Länge des Piezoaktors,
F die auf den Piezoaktor wirkende Kraft,
A die aktive Fläche des Piezoaktors,
U die am Piezoaktor anliegende Spannung,
d die Dicke einer Piezolage,
N die Anzahl der Piezolagen,
Q die Ladung des Piezoaktors,
s₃₃ die inverse Elastizität des Piezoaktors,

d₃₃ die elektromechanische Kopplungskonstante des Piezoaktors,
ε₃₃ die Dielektrizitätskonstante des Piezoaktors.

5 Diese Größen werden zum Teil herstellerseitig bestimmt und im Speicher 2 hinterlegt und zum Teil während des Ladevorgangs des Piezoaktors gemessen oder berechnet.

10 Mit Hilfe dieser Piezogleichungen wird ein sich während des Ladevorgangs des Piezoaktors verändernder Wert C_{cor}(E(t)) der Piezokapazität berechnet, mit dessen Hilfe anhand der folgenden Gleichung die Kraft am Piezoaktor berechnet wird:

$$F = K \cdot (U \cdot C_{cor}(E(t))) - Q).$$

15 Die zeitliche Position des Maximums dieser Kraft F entspricht auch hier dem Zeitpunkt der Servoventilöffnung.

20 Der sich während des Ladevorgangs verändernde Wert der Piezokapazität C_{cor}(E(t)) wird anhand des Hystereeverhaltens im abgespeicherten Ladungs-Spannungs-Hysteresis-Diagramm des Piezoaktors gemäß der folgenden Beziehung ermittelt:

$$C_{cor}(E(t)) = C_{eoc} \cdot (1 - a \cdot e^{-b \cdot (E(t))}),$$

25 wobei C_{eoc} die Piezokapazität am Ende der Piezohaltephase, a eine Skalierungsgröße und b eine weitere Skalierungsgröße sind.

Diese Skalierungsgrößen haben beispielsweise folgende Werte:
a ≈ 0,6 und b ≈ 0,75/mJ.

30

Durch die Berücksichtigung des sich während des Ladevorganges verändernden Wertes der Piezokapazität, bei dem es sich um einen sich erhöhenden Wert handelt, bei der Ermittlung der auf den Piezoaktor wirkenden Kraft wird der beim Ladevorgang auftretende Kraftverlauf mit höherer Genauigkeit wiedergegeben als bei der bekannten Vorgehensweise. Insbesondere wird vermieden, dass sich bei niedrigem Druck auftretende Störeinflüsse auf die Genau-

35

igkeit der Detektion des Öffnungszeitpunkts des Servoventils negativ auswirken.

Die vorstehend beschriebene Vorgehensweise entspricht einer
5 Verwendung der Piezogleichungen in differentieller Form. Daraus ergibt sich, dass die in der Gleichung

$$F = K \cdot (U \cdot C_{\text{cor}}(E(t))) - Q$$

10 einzusetzende Kapazität $C_{\text{cor}}(E(t))$ der differentiellen Kapazität

$$C_{\text{cor}}(E(t)) = dQ/dU$$

15 entspricht. Für die Bestimmung der differentiellen Kapazität werden charakteristische, im Speicher 2 abgespeicherte, empirisch ermittelte Ladungs-Spannungs-Hysteresese-Diagramme ausgewertet, um die Skalierungsgrößen a und b zu ermitteln, die in der Gleichung

20

$$C_{\text{cor}}(E(t)) = C_{\text{eoc}} \cdot (1 - a \cdot e^{-b \cdot (E(t))})$$

benötigt werden.

25 Durch das beschriebene Verfahren wird ein kontinuierlicher Übergang von der Kleinsignalkapazität zur Großsignalkapazität dargestellt. Dadurch lässt sich der Kraftverlauf am Piezoaktor insbesondere bei niedrigem Druck im Druckspeicher genauer beschreiben. Dies ermöglicht es, auch die Genauigkeit der
30 Ermittlung des Öffnungszeitpunkts des Servoventils zu erhöhen.

Die Figur 2 zeigt ein Diagramm zur Veranschaulichung des Verlaufs der während eines Ladevorgangs des Piezoaktors auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für unterschiedliche Leerhübe beim Stand der
35 Technik, bei welchem der Kraftverlauf unter Verwendung eines korrigierten, konstanten Wertes für die Piezokapazität ermittelt wurde.

In diesem Diagramm ist nach oben die Ladungsdifferenz ($U \cdot C_{\text{eoc}} - Q$) in As und nach rechts die Zeit t in ms aufgetragen, wobei C_{eoc} die Kapazität des Piezoaktors am Ende der Ladephase des Piezoaktors ist. Die Kurve K1 zeigt den Verlauf der auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für eine Leerhubreferenzspannung von 90 V, die Kurve K2 den Verlauf der auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für eine Leerhubreferenzspannung von 80 V, die Kurve K3 den Verlauf der auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für eine Leerhubreferenzspannung von 60 V, die Kurve K4 den Verlauf der auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für eine Leerhubreferenzspannung von 40 V, die Kurve K5 den Verlauf der auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für eine Leerhubreferenzspannung von 30 V und die Kurve K6 den Verlauf der auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für eine Leerhubreferenzspannung von 20 V. Diese Kurvenverläufe wurden jeweils bei einem vergleichsweise niedrigen Arbeitsdruck von 300 bar ermittelt.

Aus den dargestellten Verläufen der während der Ladephase des Piezoaktors auf den Piezoaktor wirkenden Kraft ist ersichtlich, dass die Kraftmaxima längs der Zeitachse vergleichsweise breit gestreut sind. Der Anstieg der Kurven resultiert insbesondere beim Vorliegen einer großen Leerhubreferenzspannung von 80 V und 90 V aus dem Bestromungsbeginn des jeweiligen Piezoaktors. Diese Kurven geben in diesem Bereich den tatsächlichen Kraftverlauf nicht korrekt wieder.

Die Figur 3 zeigt ein Diagramm zur Veranschaulichung des Verlaufs der während eines Ladevorgangs des Piezoaktors auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für unterschiedliche Leerhubreferenzspannungen bei Berücksichtigung von während des Ladevorgangs des Piezoaktors auftretenden Veränderungen der Piezokapazität.

In diesem Diagramm ist nach oben die Ladungsdifferenz ($U \cdot C_{\text{scaling}} - Q$) in As und nach rechts die Zeit t in ms aufgetragen, wobei C_{scaling} die während des Ladevorgangs veränderliche Kapazität des Piezoaktors ist. Die Kurve K1' zeigt den Verlauf der auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für eine Leerhubreferenzspannung von 90 V, die Kurve K2' den Verlauf der auf den Piezoaktor wirkenden

Kraft für eine Leerhubreferenzspannung von 80 V, die Kurve K3` den Verlauf der auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für eine Leerhubreferenzspannung von 60 V, die Kurve K4` den Verlauf der auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für eine Leerhubreferenzspannung 40 V, die Kurve K5` den Verlauf der auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für eine Leerhubreferenzspannung von 30 V und die Kurve K6` den Verlauf der auf den Piezoaktor wirkenden Kraft für eine Leerhubreferenzspannung von 20 V. Diese Kurvenverläufe wurden jeweils bei einem vergleichsweise niedrigen Arbeitsdruck von 300 bar ermittelt.

Aus den dargestellten Verläufen der während der Ladephase des Piezoaktors auf den Piezoaktor wirkenden Kraft ist ersichtlich, dass die Kraftmaxima längs der Zeitachse vergleichsweise eng beieinander liegen. Der Anstieg der Kurven insbesondere beim Vorliegen einer vergleichsweise großen Leerhubreferenzspannung von 80 V oder 90 V ist praktisch nicht mehr an den Bestromungsbeginn gekoppelt. Die Kurven geben in diesem Bereich den tatsächlichen Kraftverlauf deutlich verbessert wieder.

Die Figur 4 zeigt ein Diagramm zur Veranschaulichung der leerhubabhängigen Änderung des Servoventilöffnungszeitpunktes bei bereits korrigiertem Beginn der Bestromung für vier unterschiedliche Piezoinjektoren IA, IB, IC und ID beim Stand der Technik, bei welchem der Kraftverlauf unter Verwendung eines korrigierten, konstanten Wertes für die Piezokapazität ermittelt wurde.

In diesem Diagramm ist nach oben die zeitliche Differenz ΔT_{TT1} zwischen dem Zeitpunkt der erkannten Servoventilöffnung und dem Zeitpunkt des Beginns der Bewegung der Düsennadel in μs und nach rechts die Leerhubreferenzspannung in V aufgetragen. Die in dieser Figur gezeigten Kurvenverläufe wurden jeweils bei einem vergleichsweise niedrigen Arbeitsdruck von 300 bar ermittelt.

Aus den dargestellten Verläufen ist ersichtlich, dass insbesondere in einem Leerhubreferenzspannungsbereich zwischen 30 V und 60 V eine vergleichsweise starke Streuung des Verlaufs der

Zeitdifferenz zwischen erkannter Servoventilöffnung und dem Beginn der Nadelbewegung auftritt. In diesem Leerhubreferenzspannungsbereich haben die dargestellten Kurven eine vergleichsweise große Steigung. Eine genaue Abschätzung der Zeitdifferenz zwischen dem Zeitpunkt der erkannten Servoventilöffnung und dem Zeitpunkt des Beginns der jeweils zugehörigen Nadelbewegung ist nicht möglich.

Die Figur 5 zeigt ein Diagramm zur Veranschaulichung der leerhubabhängigen Änderung des Servoventilöffnungszeitpunktes bei bereits korrigiertem Beginn der Bestromung für die vier unterschiedlichen Piezoinjektoren IA, IB, IC und ID bei Berücksichtigung von während des Ladevorgangs des Piezoaktors auftretenden Veränderungen der Piezokapazität.

In diesem Diagramm ist nach oben die zeitliche Differenz ΔT_{TT1} zwischen dem Zeitpunkt der erkannten Servoventilöffnung und dem Zeitpunkt des Beginns der Bewegung der Düsenadel in μs und nach rechts die Leerhubreferenzspannung in V aufgetragen. Die in dieser Figur gezeigten Kurvenverläufe wurden jeweils bei einem vergleichsweise niedrigen Arbeitsdruck von 300 bar ermittelt.

Aus den dargestellten Verläufen ist ersichtlich, dass insbesondere in einem Leerhubreferenzspannungsbereich zwischen 30 V und 60 V aufgrund der Berücksichtigung der Veränderung der Piezokapazität während des Ladevorganges des Piezoaktors die Streuung des Verlaufs der Zeitdifferenz zwischen erkannter Servoventilöffnung und dem Beginn der jeweils zugehörigen Nadelbewegung reduziert ist. In diesem Bereich verlaufen die Kurven IA', IB', IC' und ID' vergleichsweise flach. Dies erlaubt eine genauere Abschätzung der Zeitdifferenz zwischen dem Zeitpunkt der erkannten Servoventilöffnung und dem Zeitpunkt des Beginns der jeweils zugehörigen Nadelbewegung.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung des Öffnungszeitpunktes eines Servoventils eines einen Piezoaktor, das Servoventil und eine
5 Düsenadel aufweisenden Piezoinjektors, wobei der Verlauf der während eines Ladevorganges des Piezoaktors auf den Piezoaktor wirkenden Kraft unter Berücksichtigung der Kapazität des Piezoaktors ermittelt wird und der Zeitpunkt des Maximums der auf
10 den Piezoaktor wirkenden Kraft als Öffnungszeitpunkt des Servoventils erkannt wird,
dadurch gekennzeichnet, dass
während des Ladevorganges des Piezoaktors auftretende Veränderungen der Kapazität des Piezoaktors ermittelt und bei der Ermittlung des Verlaufs der während des Ladevorgangs auf den
15 Piezoaktor wirkenden Kraft berücksichtigt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Veränderungen der Kapazität des Piezoaktors während des Ladevorganges des Piezoaktors anhand des Hystereverhalten in
20 einem Ladungs-Spannungs-Hysteresis-Diagramm des Piezoaktors ermittelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Veränderungen der Kapazität des Piezoaktors während des
25 Ladevorganges des Piezoaktors unter Verwendung der folgenden Beziehung ermittelt werden:

$$C_{cor}(E(t)) = C_{eoc} \cdot (1 - a \cdot e^{-b \cdot (E(t))}),$$

wobei

$C_{cor}(E(t))$ die veränderte Kapazität des Piezoaktors,
30 C_{eoc} die Kapazität des Piezoaktors am Ende der Haltephase,
 a eine Skalierungsgröße,
 b eine Skalierungsgröße und
 $E(t)$ die in den Piezoaktor eingebrachte Energie
ist.

35

4. Vorrichtung zur Ermittlung des Öffnungszeitpunktes eines Servoventils eines einen Piezoaktor, das Servoventil und eine
Düsenadel aufweisenden Piezoinjektors, welche eine Steuer-

einheit (1) aufweist, die zur Ermittlung des Verlaufes der während eines Ladevorganges des Piezoaktors (4) auf den Piezoaktor wirkenden Kraft unter Berücksichtigung der Kapazität des Piezoaktors und zur Erkennung des Zeitpunkts des Maximums der auf den Piezoaktor wirkenden Kraft als Öffnungszeitpunkt des Servoventils (5) ausgebildet ist, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (1) des Weiteren dazu ausgebildet ist, während des Ladevorganges des Piezoaktors (4) auftretende Veränderungen der Kapazität des Piezoaktors zu ermitteln und bei der Ermittlung des Verlaufs der während des Ladevorganges auf den Piezoaktor wirkenden Kraft zu berücksichtigen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (1) dazu ausgebildet ist, Veränderungen der Kapazität des Piezoaktors während des Ladevorganges des Piezoaktors anhand des Hystereverhalten in einem Ladungs-Spannungs-Hysteresis-Diagramm des Piezoaktors zu ermitteln.

6. Steuereinheit nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Steuereinheit (1) dazu ausgebildet ist, die Veränderungen der Kapazität des Piezoaktors (4) während des Ladevorganges des Piezoaktors unter Verwendung der folgenden Beziehung zu ermitteln:

$$C_{cor}(E(t)) = C_{eoc} \cdot (1 - a \cdot e^{-b \cdot (E(t))}),$$

wobei

$C_{cor}(E(t))$ die veränderte Kapazität des Piezoaktors,
 C_{eoc} die Kapazität des Piezoaktors am Ende der Haltephase,
 a eine Skalierungsgröße,
 b eine Skalierungsgröße und
 $E(t)$ die in den Piezoaktor eingebrachte Energie ist.

FIG 1

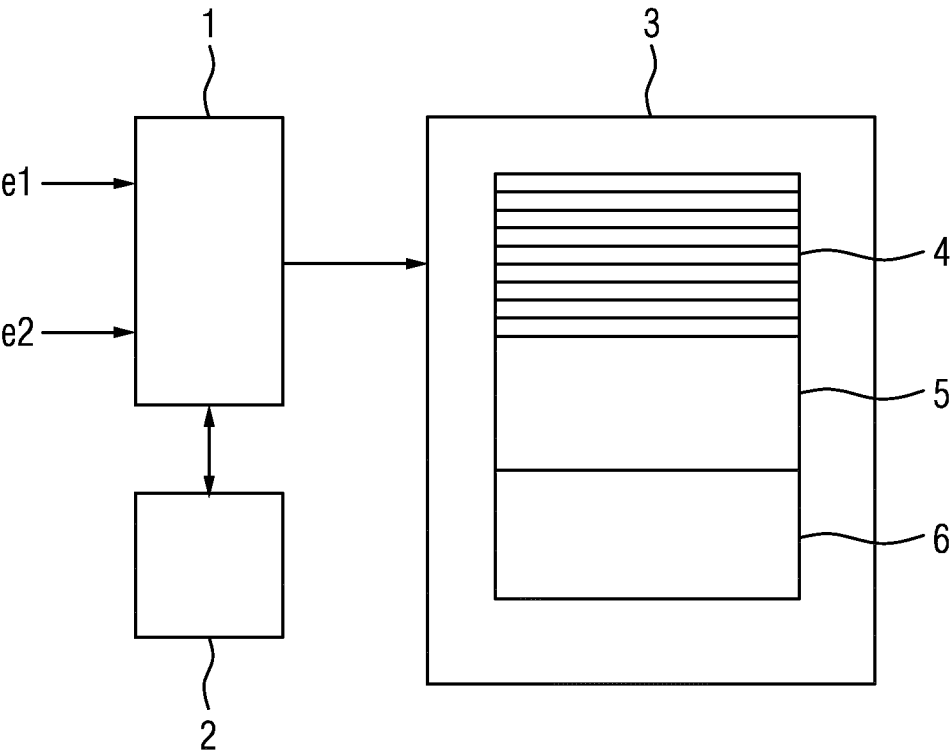


FIG 2

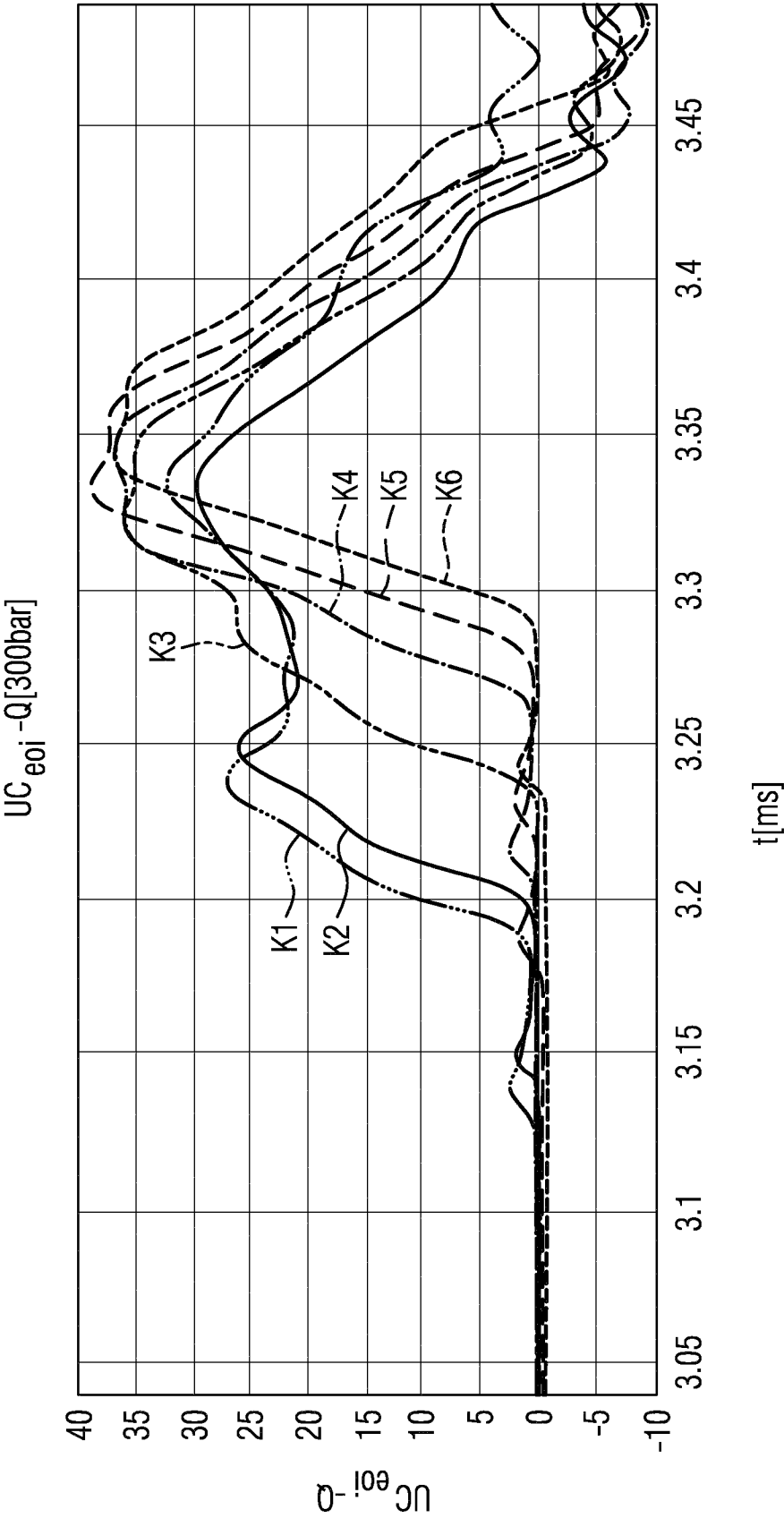


FIG 3

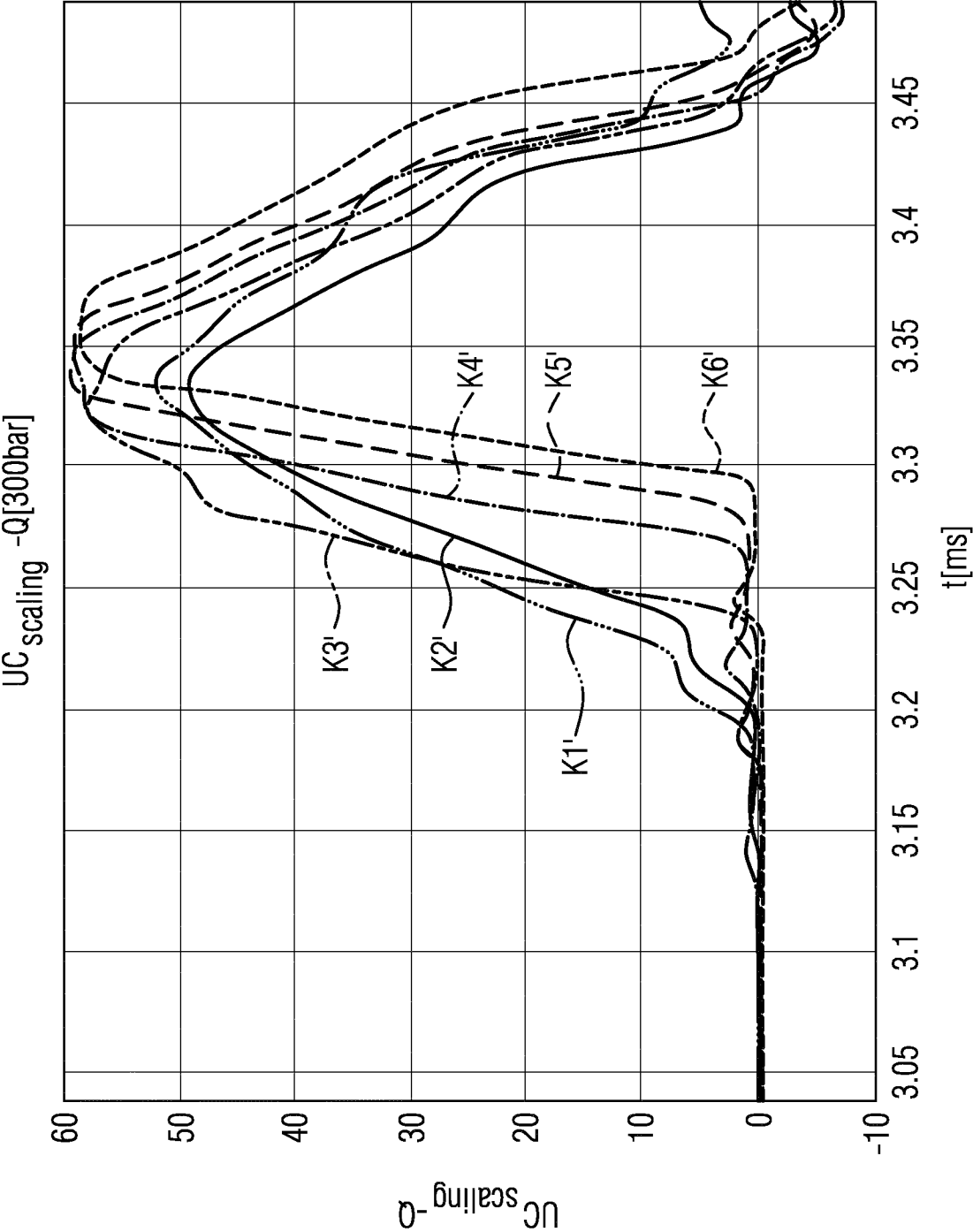


FIG 4

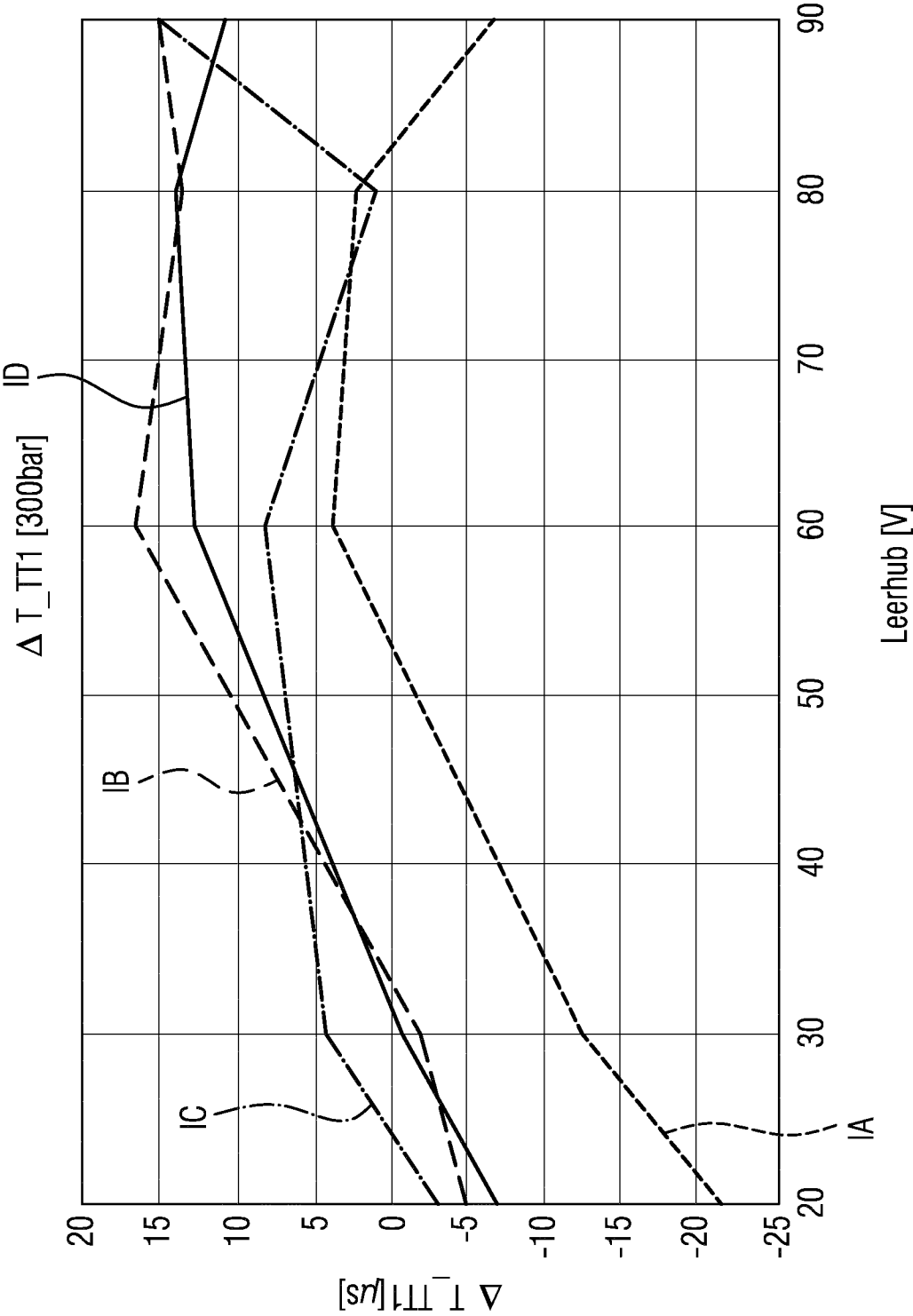
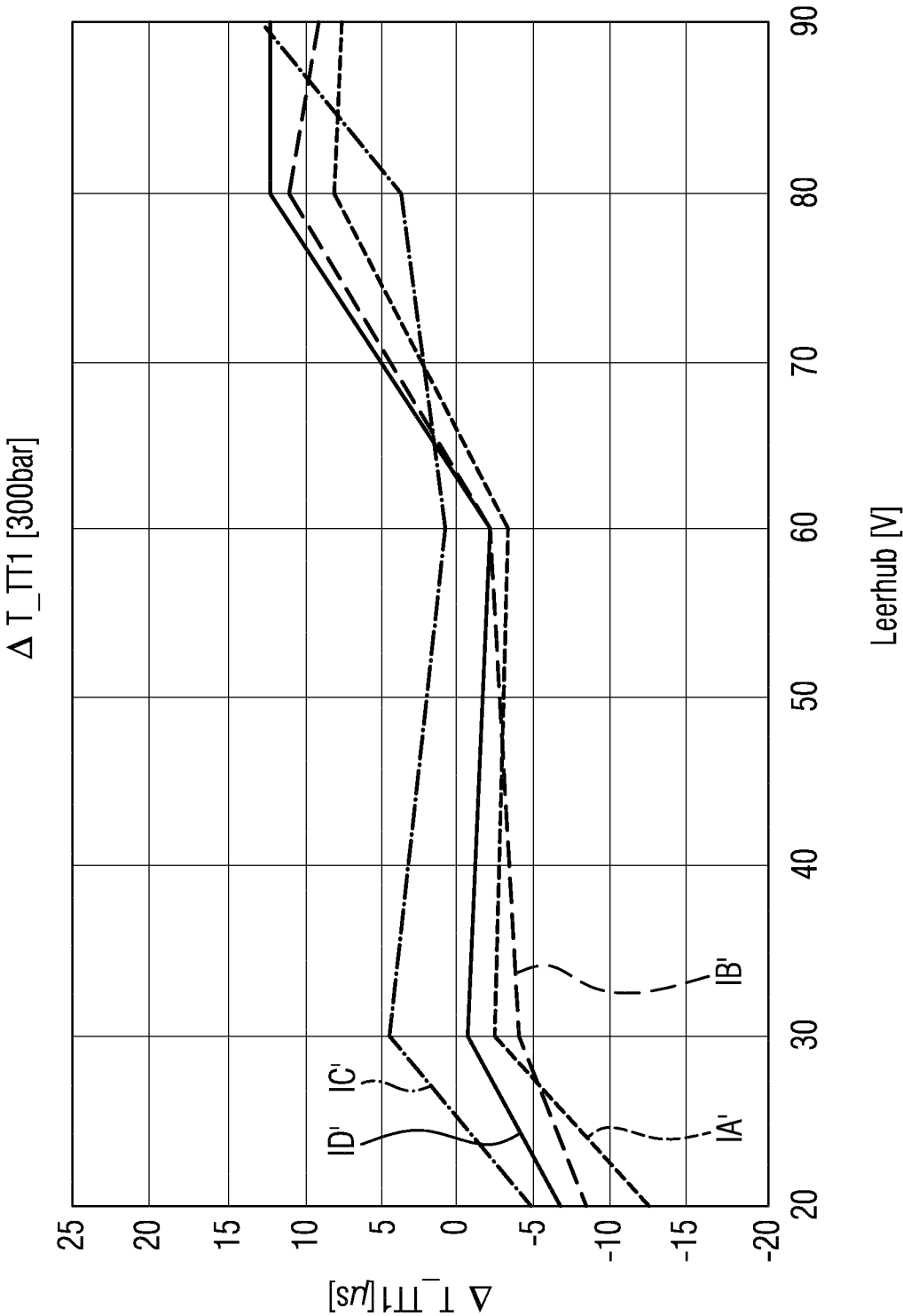


FIG 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/080431**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER****F02D 41/20**(2006.01)i

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

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 102013223750 B3 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 19 February 2015 (2015-02-19) abstract; claim 1 paragraph [0010] - paragraph [0015]	1,2,4,5
X	DE 102005040530 B3 (SIEMENS AG [DE]) 21 December 2006 (2006-12-21) abstract; figure 4 paragraph [0032] - paragraph [0039]	1-6
X	DE 102005040534 A1 (SIEMENS AG [DE]) 01 March 2007 (2007-03-01) abstract; figure 4 paragraph [0045] - paragraph [0052]	1-6
X	DE 102005025415 A1 (SIEMENS AG [DE]) 07 December 2006 (2006-12-07) abstract; figures 4a,4b,4c,5 paragraph [0025] paragraph [0052] - paragraph [0059]	1-6



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

21 January 2019

Date of mailing of the international search report

28 January 2019

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands

Telephone No. (+31-70)340-2040

Facsimile No. (+31-70)340-3016

Authorized officer

Van der Staay, Frank

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/EP2018/080431

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	DE 102010021169 A1 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 24 November 2011 (2011-11-24) abstract; figure 3 paragraph [0008] paragraph [0041] - paragraph [0044]	1,4
X	DE 102013223764 B3 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 26 February 2015 (2015-02-26) abstract; claims 1,2 paragraph [0008] - paragraph [0011] paragraph [0023] - paragraph [0024]	1,4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/EP2018/080431

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
DE	102013223750	B3	19 February 2015	CN	105940207	A	14 September 2016
				DE	102013223750	B3	19 February 2015
				KR	20160070149	A	17 June 2016
				US	2016298562	A1	13 October 2016
				WO	2015074794	A1	28 May 2015
DE	102005040530	B3	21 December 2006	NONE			
DE	102005040534	A1	01 March 2007	NONE			
DE	102005025415	A1	07 December 2006	NONE			
DE	102010021169	A1	24 November 2011	CN	103154483	A	12 June 2013
				DE	102010021169	A1	24 November 2011
				EP	2572096	A1	27 March 2013
				KR	20130111236	A	10 October 2013
				US	2013133748	A1	30 May 2013
				WO	2011144452	A1	24 November 2011
DE	102013223764	B3	26 February 2015	CN	105723084	A	29 June 2016
				DE	102013223764	B3	26 February 2015
				KR	20160073992	A	27 June 2016
				US	2016298563	A1	13 October 2016
				WO	2015074793	A1	28 May 2015

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. F02D41/20
ADD.

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
F02D

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 2013 223750 B3 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 19. Februar 2015 (2015-02-19) Zusammenfassung; Anspruch 1 Absatz [0010] - Absatz [0015] -----	1,2,4,5
X	DE 10 2005 040530 B3 (SIEMENS AG [DE]) 21. Dezember 2006 (2006-12-21) Zusammenfassung; Abbildung 4 Absatz [0032] - Absatz [0039] -----	1-6
X	DE 10 2005 040534 A1 (SIEMENS AG [DE]) 1. März 2007 (2007-03-01) Zusammenfassung; Abbildung 4 Absatz [0045] - Absatz [0052] ----- -/-	1-6

☒ 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

21. Januar 2019

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

28/01/2019

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

Bevollmächtigter Bediensteter

Van der Staay, Frank

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	DE 10 2005 025415 A1 (SIEMENS AG [DE]) 7. Dezember 2006 (2006-12-07) Zusammenfassung; Abbildungen 4a,4b,4c,5 Absatz [0025] Absatz [0052] - Absatz [0059] -----	1-6
X	DE 10 2010 021169 A1 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 24. November 2011 (2011-11-24) Zusammenfassung; Abbildung 3 Absatz [0008] Absatz [0041] - Absatz [0044] -----	1,4
X	DE 10 2013 223764 B3 (CONTINENTAL AUTOMOTIVE GMBH [DE]) 26. Februar 2015 (2015-02-26) Zusammenfassung; Ansprüche 1,2 Absatz [0008] - Absatz [0011] Absatz [0023] - Absatz [0024] -----	1,4

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2018/080431

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102013223750 B3	19-02-2015	CN 105940207 A	14-09-2016
		DE 102013223750 B3	19-02-2015
		KR 20160070149 A	17-06-2016
		US 2016298562 A1	13-10-2016
		WO 2015074794 A1	28-05-2015

DE 102005040530 B3	21-12-2006	KEINE	

DE 102005040534 A1	01-03-2007	KEINE	

DE 102005025415 A1	07-12-2006	KEINE	

DE 102010021169 A1	24-11-2011	CN 103154483 A	12-06-2013
		DE 102010021169 A1	24-11-2011
		EP 2572096 A1	27-03-2013
		KR 20130111236 A	10-10-2013
		US 2013133748 A1	30-05-2013
		WO 2011144452 A1	24-11-2011

DE 102013223764 B3	26-02-2015	CN 105723084 A	29-06-2016
		DE 102013223764 B3	26-02-2015
		KR 20160073992 A	27-06-2016
		US 2016298563 A1	13-10-2016
		WO 2015074793 A1	28-05-2015
