

(51) Int Cl.:
F02D 41/20 (2006.01)

(22) Anmeldetag: **25.09.2009**

(72) Erfinder: **Schempp, Stefan**
73249, Wernau (DE)

(30) Priorität: 21.10.2008 DE 102008042981

Ansteuerungssignal, wenn die Ist-Aktorspannung oberhalb des Aktorspannungsschwellwerts liegt, für eine weitere Kraftstoffeinspritzung derart geregelt, dass die Ist-Aktorspannung während der weiteren Kraftstoffeinspritzung sich einer Soll-Aktorspannung nähert. Unter weiteren Gesichtspunkten schafft die Erfindung ein Computerprogrammprodukt zur Ausführung des Verfahrens und eine Steuervorrichtung zur Ansteuerung eines piezoelektrischen Aktors eines Kraftstoffinjektors für eine Brennkraftmaschine.



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Steuervorrichtung zur Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors, insbesondere eines Kraftstoffinjektors für eine Brennkraftmaschine, der einen piezoelektrischen Aktor aufweist. Ferner betrifft die Erfindung ein Computerprogrammprodukt zur Ausführung des Verfahrens.

[0002] Moderne Brennkraftmaschinen weisen oft Kraftstoffinjektoren auf, die durch eine geeignete Steuervorrichtungen mit elektrischen Ansteuersignalen beaufschlagt werden, um Kraftstoff in gewünschter Menge in den Verbrennungsraum oder den Ansaugtrakt der Brennkraftmaschine einzuspritzen. Die Umwandlung der elektrischen Energie der Ansteuersignale in mechanische Arbeit erfolgt z.B. durch piezoelektrische Aktoren innerhalb der Kraftstoffinjektoren, die einen oder mehrere zwischen Ansteuerelektroden angeordnete piezoelektrische Kristalle aufweisen.

[0003] Wird zur Ausführung einer Kraftstoffeinspritzung mittels eines derartigen Kraftstoffinjektors elektrischer Strom eines Ansteuersignals mit einem von einer Ansteuervorrichtung vorgebbaren zeitlichen Stromprofil in die Ansteuerelektroden des Aktors geleitet, baut sich zwischen den Ansteuerelektroden eine elektrische Spannung auf, deren zeitlicher Verlauf sowohl durch das zeitliche Stromprofil als auch die elektrische Kapazität des Aktors beeinflusst wird und wesentlich die Menge des eingespritzten Kraftstoffs und das zeitliche Mengenprofil der Kraftstoffeinspritzung bestimmt. Um Steuervorrichtungs- und Aktortoleranzen u. a. aufgrund von Exemplarstreuungen auszugleichen, werden daher Regler verwendet, die durch Veränderung des Ansteuerstromsignals z.B. eine Aktorsollspannung zu einem bestimmten Zeitpunkt während der Kraftstoffeinspritzung einregeln.

[0004] Im Betrieb einer Brennkraftmaschine mit mehreren Kraftstoffinjektoren, die z.B. unterschiedlichen Zylindern der Brennkraftmaschine zugeordnet sind, ist allerdings mit Störfällen zu rechnen, bei denen Ansteuerelektroden unterschiedlicher Kraftstoffinjektoren unbeabsichtigt miteinander kurzgeschlossen werden, z.B. durch Einwirkung von Feuchtigkeit, Hitze und/oder mechanischen Beschädigungen im Bereich der Verbindungsleitungen zwischen der das Ansteuersignal abgebenden Steuervorrichtung und den piezoelektrischen Aktoren. Im Falle eines Kurzschlusses zwischen zwei oder mehr Aktoren, bei dem diese parallel geschaltet werden, addieren sich die Kapazitäten der Aktoren, so dass bei gegebenem Stromprofil des Ansteuersignals für einen der kurzgeschlossenen Aktoren sich eine entsprechend verringerte Aktorspannung aufbaut. Greift nun eine wie oben beschriebene Regelung ein, die das Stromprofil der Ansteuerimpulse für nachfolgende Kraftstoffeinspritzungen derart erhöht, dass die an den Aktoren aufgebaute Spannung die Aktorsollspannung erreicht, öff-

nen die kurzgeschlossenen Aktoren gleichzeitig, sodass ggf. in unterschiedlichen Zylindern der Brennkraftmaschine gleichzeitig Kraftstoff eingespritzt und der Betrieb der Brennkraftmaschine erheblich beeinträchtigt wird.

[0005] Es besteht daher ein Bedürfnis, eine Regelung der Ansteuersignale zum Ausgleich eines weiten Bereichs von Steuervorrichtungs- und Aktortoleranzen zu ermöglichen, bei der gleichzeitig eine Beeinträchtigung des Betriebs der Brennkraftmaschine im Fall von Kurzschlüssen vermieden wird.

Offenbarung der Erfindung

[0006] Demgemäß vorgesehen ist ein Verfahren zur Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors für eine Brennkraftmaschine, der einen piezoelektrischen Aktor aufweist. Das Verfahren umfasst einen Schritt des Ansteuerens des Aktors mittels eines Ansteuerstromsignals für eine Kraftstoffeinspritzung, wobei eine Ist-Aktorspannung während der Kraftstoffeinspritzung ermittelt wird. Nach einem Vergleich, ob die Ist-Aktorspannung oberhalb eines Aktorspannungsschwellwerts liegt, wird das Ansteuerstromsignal, wenn die Ist-Aktorspannung oberhalb des Aktorspannungsschwellwerts liegt, für eine weitere Kraftstoffeinspritzung derart geregelt, dass die Ist-Aktorspannung während der weiteren Kraftstoffeinspritzung sich einer Soll-Aktorspannung nähert.

[0007] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht, den Aktorspannungsschwellwert derart zu wählen, dass er nur geringfügig mehr als die Höhe der Ist-Aktorspannung aufweist, die bei Berücksichtigung von Steuervorrichtungs- und Aktortoleranzen aufgrund von Exemplarstreuungen, Einfluss der Temperaturen an Steuervorrichtung und Aktor usw. für den Fall maximal zu erwarten ist, dass zwei Aktoren parallel geschaltet werden. Da sich bereits bei Parallelschaltung von nur zwei Aktoren die bei gegebenem Ansteuerstromsignal zu erwartende Ist-Aktorspannung erheblich erniedrigt (z.B. auf etwa die Hälfte bei angenähert verdoppelter Aktorkapazität) und bei Parallelschaltung von mehr als zwei Aktoren eine noch stärkere Erniedrigung der Ist-Aktorspannung zu erwarten ist, kann ein weiterer Bereich von Steuervorrichtungs- und Aktortoleranzen ausgeglichen werden, sodass eine kostengünstige Auslegung der Steuervorrichtungen und Aktoren mit entsprechend großen Toleranzen ermöglicht ist.

[0008] Unter weiteren Gesichtspunkten sind ein Computerprogrammprodukt zur Ausführung des Verfahrens und eine Steuervorrichtung zur Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors für eine Brennkraftmaschine vorgesehen, der einen piezoelektrischen Aktor aufweist. Die Steuervorrichtung umfasst eine Ansteuerereinheit, die den Aktor mittels eines Ansteuerstromsignals für eine Kraftstoffeinspritzung ansteuert, einen Spannungsmesser, der eine Ist-Aktorspannung während der Kraftstoffeinspritzung ermittelt, einen Spannungsvergleicher, der ermittelt, ob die Ist-Aktorspannung oberhalb des Aktorspannungsschwellwerts liegt, und einen Ansteuerstromregler, der,

wenn die Ist-Aktorspannung oberhalb des Aktorspannungsschwellwerts liegt, das Ansteuerstromsignal für eine weitere Kraftstoffeinspritzung derart regelt, dass die Ist-Aktorspannung während der weiteren Kraftstoffeinspritzung sich einer Soll-Aktorspannung nähert.

[0009] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens sind weiterhin ein Schritt des Ermitteln einer Temperatur am Aktor und ein Schritt des Ermitteln des Aktorspannungsschwellwerts basierend auf der Temperatur vorgesehen. Die Aktorkapazität piezoelektrischer Aktoren ist im Allgemeinen temperaturabhängig, was die Höhe der bei einem gegebenen Ansteuerstromsignal am Aktor ermittelbaren Ist-Aktorspannung direkt beeinflusst. Die Änderung der Kapazität eines Aktors mit seiner Temperatur ist ferner auch wirksam, wenn der Aktor bei einem Kurzschluss mit einem weiteren Aktor parallel geschaltet wird, da sich in diesem Fall die Kapazitäten der Aktoren addieren. Somit zeigen die Kapazität des Aktors im störungsfreien Betrieb und die Kapazität der im Störfall parallel geschalteten Aktoren eine gleichgerichtete Abhängigkeit von der Temperatur. Ferner zeigt damit ebenfalls für ein gegebenes Ansteuerstromsignal die Ist-Aktorspannung am Aktor im störungsfreien Betrieb und die Ist-Aktorspannung an dem im Störfall parallel geschalteten Aktoren eine gleichgerichtete Abhängigkeit von der Temperatur.

[0010] Das Ermitteln des Aktorspannungsschwellwerts in Abhängigkeit von der Temperatur am Aktor ermöglicht daher, den Aktorspannungsschwellwert temperaturabhängig derart zu wählen, dass seine Temperaturabhängigkeit gleichgerichtet mit der Temperaturabhängigkeit der Ist-Aktorspannung am Aktor im störungsfreien Betrieb für ein gegebenes Ansteuerstromsignal ist. Hierdurch wird ermöglicht, einen noch weiteren Bereich von Steuervorrichtungs- und Aktortoleranzen auszugleichen, sodass eine noch kostengünstigere Auslegung der Steuervorrichtungen und Aktoren mit entsprechend größeren Toleranzen ermöglicht ist.

[0011] Vorzugsweise erfolgt das Ermitteln der Temperatur am Aktor basierend auf einer Kraftstofftemperatur oder/und einer Kühlwassertemperatur der Brennkraftmaschine. Dies ist kostengünstig möglich, da in der Regel bereits Temperatursensoren für die Kraftstofftemperatur oder die Kühlwassertemperatur vorhanden sind und die Aktoren typischerweise vom Kühlwasserkreislauf und/oder Kraftstoffzulauf umströmt und daher durch deren Temperatur beeinflusst sind.

[0012] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung erfolgt das Ermitteln des Aktorspannungsschwellwerts weiterhin basierend auf mindestens einer Kenngröße des Kraftstoffinjektors. Hierdurch kann vorteilhaft die Exemplarstreuung der Kraftstoffinjektoren berücksichtigt werden, so dass ermöglicht wird, einen noch weiteren Bereich von Steuervorrichtungs- und Aktortoleranzen auszugleichen.

[0013] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung umfasst das Ermitteln des Aktorspannungsschwellwerts ei-

ne lineare Interpolation zwischen einem ersten und einem zweiten Stützwert. Eine Berechnung auf diese Weise erfordert besonders geringe Rechenkapazitäten und einen geringen Energieverbrauch in der Steuervorrichtung. Vorzugsweise entsprechen der erste und zweite Stützwert einer minimalen bzw. maximalen Betriebstemperatur des Aktors, sodass mit Extrapolationen zusammenhängende Ungenauigkeiten vermieden werden können.

[0014] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist weiterhin ein Schritt des Ermitteln der Soll-Aktorspannung vorgesehen, basierend auf einem Druck in einem Kraftstoffdruckspeicher der Brennkraftmaschine und/oder mindestens einer Kenngröße des Kraftstoffinjektors. Auf diese Weise kann die Soll-Aktorspannung präzise an die einzelnen Kraftstoffinjektoren und Betriebsbedingungen angepasst werden.

[0015] Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung ist weiterhin ein Schritt des Ausgebens eines Fehlersignals vorgesehen, wenn die Ist-Aktorspannung nicht oberhalb des Aktorspannungsschwellwerts liegt. Das Fehlersignal ermöglicht es z.B., durch Servicepersonal abrufbare Diagnoseinformationen zu speichern, ein Warnsignal an einen Fahrzeugführer auszugeben oder eine Notabschaltung der Brennkraftmaschine einzuleiten.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0016] Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend anhand bevorzugter Ausführungsformen und beigefügten Figuren erläutert. Von den Figuren zeigen:

- Fig. 1 ein Diagramm eines Spannungsverlaufs an einem Aktor eines Kraftstoffinjektors,
- Fig. 2 ein Blockdiagramm einer Ansteuervorrichtung zur Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors, gemäß einer Ausführungsform,
- Fig. 3 ein Zustandsdiagramm des Zusammenhangs zwischen elektrischer Aktorkapazität und am Aktor anliegender elektrischer Spannung und
- Fig. 4 ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zur Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors, gemäß einer Ausführungsform.

[0017] In den Figuren bezeichnen gleiche Bezugszeichen gleiche oder funktionsgleiche Elemente, soweit nicht explizit anders angegeben.

Ausführungsformen der Erfindung

[0018] Figur 1 zeigt ein von einer waagerechten Zeitachse 100 und einer senkrechten Spannungsachse 102 aufgespanntes Kurvendigramm, in dem zwei Kurven 140, 142 dargestellt sind. Eine erste 140 der beiden Kurven 140, 142 gibt einen typischen zeitlichen Spannungs-

verlauf an einem Piezoaktor eines Kraftstoffinjektors wieder, der sich im störungsfreien Betrieb einstellt, wenn der Aktor zur Ausführung einer Kraftstoffeinspritzung 150 von einer Steuervorrichtung mittels eines Ansteuersignals mit einem bestimmten, nicht gezeigten, zeitlichen Stromverlauf angesteuert wird. Die zweite 142, gestrichelt gezeichnete der beiden Kurven 140, 142 gibt einen zeitlichen Spannungsverlauf wieder, der sich an demselben Aktor bei Ansteuerung mit demselben zeitlichen Stromverlauf in einem Fall einstellt, wenn der Aktor z.B. aufgrund eines Kurzschlusses von Verbindungsleitungen oder einer sonstigen Störung mit einem weiteren Aktor parallel geschaltet ist. Dass beide Spannungsverläufe 140, 142 über der gemeinsamen Zeitachse 100 aufgetragen sind, soll nicht bedeuten, dass die Spannungsabläufe 140, 142 gleichzeitig ablaufen, sondern vielmehr, dass beiden Spannungsverläufen 140, 142 durch ein bezüglich der Zeitachse 100 identisch verlaufendes Ansteuerstromsignal zugrunde liegt.

[0019] Gemäß dem ersten Spannungsverlauf 140, der den störungsfreien Betrieb wiedergibt, liegt am Aktor zunächst eine Spannung 110 von 0 V an, die bis zu einem Ladebeginnzeitpunkt 120 konstant bleibt. Zum Ladebeginn 120 wird ein Ladestromimpuls des Ansteuersignals eingeschaltet, der entsprechend der elektrischen Kapazität des Aktors die am Aktor anliegende Spannung 140 erhöht. Zu einem Ladeendzeitpunkt 122, an welchem der Ladestromimpuls endet, erreicht die am Aktor anliegende Spannung 140 einen Maximalwert 116. Die Spannung 140 fällt nun leicht ab, bis zu einem Entladebeginnzeitpunkt 124 ein Entladestromimpuls des Ansteuersignals eingeschaltet wird, der eine zum Ladestromimpuls entgegengesetzte Polarität aufweist und die am Aktor anliegende Spannung 140 wieder absenkt, bis zu einem Entladeendzeitpunkt 126 wieder die anfängliche Spannung 110 von 0 V erreicht wird.

[0020] Gemäß dem zweiten Spannungsverlauf 142, der den Betrieb im genannten Störfall wiedergibt, liegt am Aktor ebenfalls bis zum Ladebeginnzeitpunkt 120 konstant die Spannung 110 von 0 V an. Zum Ladebeginn 120 wird der Ladestromimpuls des Ansteuersignals eingeschaltet, der entsprechend der elektrischen Gesamtkapazität des Aktors und des mit dem Aktor aufgrund der Störung parallel geschalteten Aktors die am Aktor anliegende Spannung 140 erhöht. Da die Gesamtkapazität des Aktors und des weiteren Aktors gegenüber der Kapazität des im störungsfreien Betrieb anzusteuern Aktors allein erhöht, der Ansteuerstromimpuls jedoch als unverändert angenommen ist, zeigt der zweite Spannungsverlauf 142 nach dem Ladebeginn 120 einen geringeren Anstieg als der erste Spannungsverlauf und erreicht zum Ladeendzeitpunkt 122 einen gegenüber dem Maximalwert 116 des ersten Spannungsverlaufs 140 verringerten Maximalwert 148. Analog zum ersten Spannungsverlauf 140 fällt nun die Spannung 142 leicht ab, bis zum Entladebeginnzeitpunkt 124 der Entladestromimpuls des Ansteuersignals eingeschaltet wird, durch welchen bis zum Entladeendzeitpunkt 126 wieder die an-

fängliche Spannung 110 von 0 V erreicht wird.

[0021] Um im störungsfreien Betrieb ein gewünschtes zeitliches Einspritzmengenprofil nachfolgender Kraftstoffeinspritzungen zu gewährleisten, wird zu einem bestimmten Messzeitpunkt 128 während der Kraftstoffeinspritzung 150, der hier beispielhaft als kurz vor Entladebeginn 124 angenommen ist, die am Aktor anliegende Spannung 140 vermessen, um auf diese Weise eine Ist-Aktorspannung 144 zu ermitteln. Ein in der Steuervorrichtung vorgesehener Regler vergleicht die ermittelte Ist-Aktorspannung 144 mit einer Soll-Aktorspannung 114, von welcher gewünscht ist, dass sie bei einer nachfolgenden Kraftstoffeinspritzung zum Messzeitpunkt 128 während dieser nachfolgenden Kraftstoffeinspritzung erreicht werden soll, und verändert zur Verwendung für die nachfolgende Kraftstoffeinspritzung das bei der vorliegenden Kraftstoffeinspritzung 150 verwendete Ansteuersignal derart, dass der Spannungsverlauf am Aktor während der nachfolgenden Kraftstoffeinspritzung zum Messzeitpunkt zu messende Wert der Ist-Aktorspannung die Soll-Aktorspannung 114 erreicht oder sich zumindest der Soll-Aktorspannung 114 annähert.

[0022] Tritt der oben genannte Störfall eines Kurzschlusses zwischen zwei Aktoren ein, wird zum Messzeitpunkt 128 eine gegenüber dem störungsfreien Betrieb verminderte Ist-Aktorspannung 146 gemessen. Um zu verhindern, dass in diesem Fall der Regler der Steuervorrichtung das für die nachfolgende Kraftstoffeinspritzung zu verwendende Ansteuerstromsignal derart erhöht, dass trotz der durch den Kurzschluss vergrößerten Aktorkapazität der während der nachfolgenden Kraftstoffeinspritzung zum Messzeitpunkt zu messende Wert der Ist-Aktorspannung die Soll-Aktorspannung 114 erreicht oder sich der Soll-Aktorspannung 114 annähert, was dazu führen könnte, dass beide kurzgeschlossenen Injektoren öffnen und einspritzen, wird zunächst die zum Messzeitpunkt 128 ermittelte Ist-Aktorspannung 144 bzw. 146 mit einem Aktorspannungsschwellwert 112 verglichen, und Veränderung des Ansteuerstromsignals durch den Regler nur ausgeführt, wenn die Ist-Aktorspannung 144 bzw. 146 oberhalb des Aktorspannungsschwellwerts 112 liegt.

[0023] Figur 2 zeigt in schematischer Blockdarstellung eine Steuervorrichtung 210 für eine Kraftstoffeinspritzvorrichtung 260 zum Einspritzen von Kraftstoff in die Brennräume einer nicht gezeigten Brennkraftmaschine eines Kraftfahrzeugs. Die Kraftstoffeinspritzvorrichtung 160 ist beispielhaft durch einen einzelnen Kraftstoffinjektor 202 wiedergegeben, der über eine Kraftstoffzuleitung 254 mit einem Kraftstoffdruckspeicher 204 und über eine Kraftstoffrückleitung 252 mit einem nicht gezeigten Kraftstofftank verbunden ist. Ein im Kraftstoffinjektor 202 enthaltener piezoelektrischer Aktor 200 ist über eine elektrische Ansteuerleitung 250 an eine Ansteuerereinheit 220 der Steuervorrichtung 210 angeschlossen. Die Ansteuerereinheit 220 ist dazu ausgebildet, im Betrieb der Steuervorrichtung 210 den Aktor 200 mittels eines über die Ansteuerleitung 250 geleiteten Ansteuerstromsignals

derart anzusteuern, dass der Kraftstoffinjektor 202 öffnet und eine Kraftstoffeinspritzung ausführt.

[0024] Von der Ansteuerleitung 250 zweigt innerhalb der Steuervorrichtung 210 eine Spannungsmessleitung 251 ab, über die der Ausgang der Ansteuereinheit 220 und der Aktor 200 mit einem Spannungsmesser 222 der Steuervorrichtung 210 verbunden ist. Der Spannungsmesser 222 ist dazu ausgebildet, im Betrieb der Steuervorrichtung 210 zu einem vorgebbaren Messzeitpunkt während einer vom Kraftstoffinjektor 202 ausgeführten Kraftstoffeinspritzung eine Ist-Aktorspannung zu ermitteln, die zum Messzeitpunkt am Aktor 200 anliegt.

[0025] Die Steuervorrichtung 102 weist ferner einen Soll-Aktorspannungsermittler 232 auf, der mit einem am Kraftstoffdruckspeicher 204 angeordneten Kraftstoffdrucksensor 206 verbunden ist und basierend auf einem vom Kraftstoffdrucksensor 206 ermittelten Druck im Kraftstoffdruckspeicher 204 eine Soll-Aktorspannung am Aktor 200 ermittelt, die während einer Kraftstoffeinspritzung zum Messzeitpunkt gewünscht ist, um die Kraftstoffeinspritzung in einer gewünschten Weise auszuführen. Der Soll-Aktorspannungsermittler 232 berücksichtigt zur Ermittlung der Soll-Aktorspannung weiterhin Kenngrößen 233 des Kraftstoffinjektors 202, die z.B. wie gezeigt im Soll-Aktorspannungsermittler 232 abgespeichert sind.

[0026] Die Steuervorrichtung 102 weist ferner einen Ansteuerstromregler 230 auf, der mit dem Spannungsmesser 222 und dem Soll-Aktorspannungsermittler 232 derart verbunden ist, dass im Betrieb der Steuervorrichtung 210 der Soll-Aktorspannungsermittler 232 dem Ansteuerstromregler 230 die Soll-Aktorspannung und der Spannungsmesser 222 den jeweils während einer Kraftstoffeinspritzung ermittelten Ist-Aktorspannungswert bereitstellt. Der Ansteuerstromregler 230, der weiterhin mit der Ansteuereinheit 220 verbunden ist, ist dazu ausgebildet, das für eine gegebene Kraftstoffeinspritzung von der Ansteuereinheit 220 abgegebene Ansteuerstromsignal für eine weitere Kraftstoffeinspritzung derart regelnd zu verändern, dass die Ist-Aktorspannung während der weiteren Kraftstoffeinspritzung sich der vom Soll-Aktorspannungsermittler 232 bereitgestellten Soll-Aktorspannung nähert.

[0027] Der Spannungsmesser 222 ist weiterhin mit einem ersten 226 und einem zweiten 228 Spannungsvergleicherelement verbunden, denen er ebenfalls im Betrieb der Steuervorrichtung 210 den jeweils während einer Kraftstoffeinspritzung ermittelten Ist-Aktorspannungswert bereitstellt. Mit dem ersten 226 und zweiten 228 Spannungsvergleicherelement weiterhin verbunden ist ein Aktorspannungsschwellwertermittler 224 der Steuervorrichtung 102, der sowohl dem ersten 226 als auch dem zweiten 228 Spannungsvergleicherelement im Betrieb der Steuervorrichtung 210 einen Aktorspannungsschwellwert 112 bereitstellt. Der Aktorspannungsschwellwertermittler 224 weist eine Kennlinie 225 auf, die einen Zusammenhang zwischen einer Temperatur 312 am Aktor 200 und dem Aktorspannungsschwellwert 112 beschreibt. Zur Ermitt-

lung der Temperatur 312 am Aktor 200 weist die Steuervorrichtung 210 einen mit dem Aktorspannungsschwellwertermittler 224 verbundenen Temperaturermittler 234 auf, der ausgebildet ist, die Temperatur 312 am Aktor 200 aus einem von einem am Kraftstoffdruckspeicher 204 angeordneten Kraftstofftemperatursensor 205 abgegebenen Temperatursignal abzuleiten, z.B. indem die Kraftstofftemperatur im Kraftstoffdruckspeicher 204 als Näherungswert unverändert verwendet oder zu dieser eine konstant angenommene Temperaturdifferenz addiert wird. Der Temperaturermittler 234 kann alternativ oder zusätzlich auch mit weiteren Temperatursensoren verbunden sein, die z.B. eine Kühlwassertemperatur der Brennkraftmaschine oder die Temperatur des Aktors 200 direkt messen.

[0028] Der erste Spannungsvergleicherelement 226 ist dazu ausgebildet, im Betrieb der Steuervorrichtung 210 den jeweils während einer Kraftstoffeinspritzung ermittelten Ist-Aktorspannungswert mit dem Aktorspannungsschwellwert 112 zu vergleichen und ein Freibabesignal abzugeben, wenn der Ist-Aktorspannungswert einen größeren Betrag aufweist als der Aktorspannungsschwellwert. Ausgangsseitig ist der erste Spannungsvergleicherelement 226 derart mit dem Ansteuerstromregler 230 verbunden, dass der Ansteuerstromregler 230 freigegeben oder blockiert wird, wenn der erste Spannungsvergleicherelement 226 das Freigabe- bzw. Blockiersignal abgibt.

[0029] Der zweite Spannungsvergleicherelement 228 ist dazu ausgebildet, im Betrieb der Steuervorrichtung 210 den jeweils während einer Kraftstoffeinspritzung ermittelten Ist-Aktorspannungswert mit dem Aktorspannungsschwellwert 112 ebenfalls zu vergleichen, jedoch ein Fehlersignal abzugeben, wenn der Ist-Aktorspannungswert einen gleichen oder kleineren Betrag aufweist als der Aktorspannungsschwellwert. Der zweite Spannungsvergleicherelement 228 ist ausgangsseitig mit einer Fehlerbehandlungseinheit 236 der Steuervorrichtung 210 verbunden, die im Betrieb der Steuervorrichtung 210 die Zahl der eintreffenden Fehlersignale als Diagnoseinformation speichert und ggf. bei Überschreitung einer vorgebbaren Fehlerzahlschwelle ein Warnsignal und/oder eine Notabschaltung z.B. des betroffenen Kraftstoffinjektors 202 oder der gesamten Brennkraftmaschine einleitet.

[0030] Die Funktion insbesondere des Aktorspannungsschwellwertermittlers 224 soll nun anhand von Fig. 3 für ein Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. Die elektrische Kapazität piezoelektrischer Aktoren weist abgesehen von Toleranzen durch Exemplarstreuung noch einen Temperaturgang 340 auf, d.h. die Kapazität der Aktoren lässt sich als Summe eines temperaturabhängigen Teils ohne exemplarabhängige Toleranzen und eines weiteren Teils darstellen, der die exemplarabhängigen Toleranzen zusammenfasst. Mit steigender Kapazität wird im Allgemeinen die Kapazität größer. Der Temperaturgang 340 der Aktorkapazität ist in einem eingezeichneten Diagramm 341 innerhalb von Fig. 3 dargestellt.

[0031] Das Hauptdiagramm 342 von Fig. 3 ist ein Zu-

standsdiagramm des Zusammenhangs zwischen elektrischer Aktorkapazität 320 und am Aktor 200 anliegende elektrische Spannung 102, wobei vereinfachend das Verhalten eines idealen Kondensators mit

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C} \int I(t) dt$$

zugrunde gelegt wurde. Hierbei steht t für die Zeit, $I(t)$ für den zeitlichen Stromverlauf während des Ladestromimpulses, Q für die durch den Ladestromimpuls in den Aktor gebrachte elektrische Ladung, C für die Aktorkapazität 320 und U für die am Aktor 200 anliegende elektrische Spannung 102.

[0032] Im Hauptdiagramm 342 von Fig. 3 stellt nun ein flächenhaft markierter, erster zweidimensionaler Toleranzbereich 322 die vereinten Toleranzen der Steuervorrichtung 210 und des Aktors 200 dar, die gemäß ihren Spezifikationen garantiert werden. Hierbei wurde ein Anteil 324 der Toleranzen, der auf einen Einfluss des Temperaturgangs 340 der Kapazität des Aktors 200 im Intervall zwischen einer minimalen 310 und einer maximalen 314 Betriebstemperatur zurückgeht, von dem verbleibenden Teil 326 der vereinten Toleranzen abgespalten und entlang der Kapazitätsachse 320 des Diagramms dargestellt. Die untere 350 und obere 351 Begrenzung dieses Anteils 324 entsprechen dabei der minimalen 310 bzw. maximalen 314 Betriebstemperatur. Der verbleibende Teil 326 der vereinten Toleranzen ist entlang der Spannungsachse 102 dargestellt, als Intervall 326 beiderseits eines nominellen Spannungsverlaufs 327, in welchem Toleranzen (mit Ausnahme des Temperaturgangs 340) unberücksichtigt sind.

[0033] Ein ebenfalls flächenhaft markierter, zweiter zweidimensionaler Toleranzbereich 332 stellt analog die vereinten Toleranzen der Steuervorrichtung 210, des Aktors 200 und eines gleichartig angenommenen weiteren Aktors dar, der mit dem Aktor 200 parallel geschaltet ist. Ebenfalls analog ist ein Anteil 334 der Toleranzen, der auf den Einfluss des Temperaturgangs 340 der verdoppelten Kapazität der parallel geschalteten Aktoren zurückgeht, von dem verbleibenden Teil der Toleranzen 326 abgespalten und entlang der Kapazitätsachse 320 des Diagramms dargestellt. Die untere 360 und obere 361 Begrenzung dieses Anteils 334 entsprechen dabei der minimalen 310 bzw. maximalen 314 Betriebstemperatur, mit gegenüber den Begrenzungen 350 bzw. 351 des ersten zweidimensionalen Toleranzbereichs 322 jeweils verdoppelten Kapazitätswerten.

[0034] Im Betrieb der Steuervorrichtung 210 ermittelt nun der Aktorspannungsschwellwertermittler 224 zunächst anhand des Temperaturgangs 340 einen für den Aktor 200 bei der vom Temperaturermittler 234 ermittelten Temperatur 312 gültigen Kapazitätswert. Anschließend wird anhand einer im Hauptdiagramm von Fig. 3

dargestellten Aktorspannungsschwellwertkurve 370 ein dem Kapazitätswert entsprechender Spannungswert als Aktorspannungsschwellwert aufgesucht.

[0035] Die Aktorspannungsschwellwertkurve 370 wird zweckmäßig wie dargestellt so gewählt, dass sie unterhalb des ersten zweidimensionalen Toleranzbereichs 322 liegt, sodass ermöglicht ist, durch den Ansteuerstromregler 230 sämtliche den Spezifikationen von Steuervorrichtung 210 und Aktor 200 entsprechenden Toleranzen auszuregulieren. Darüber hinaus ist es zweckmäßig, die Aktorspannungsschwellwertkurve 370 weiterhin so festzulegen, dass eine von dieser abgeleitete Kurve 371, die aus der Aktorspannungsschwellwertkurve 370 durch Annahme einer verdoppelten Aktorkapazität entsteht, oberhalb des zweiten zweidimensionalen Toleranzbereichs 332 liegt, sodass ermöglicht ist, eine kurzschlussbedingte Verdopplung der Aktorkapazität für den gesamten den Spezifikationen von Steuervorrichtung 210 und Aktor 200 entsprechenden Toleranzbereich zuverlässig zu erkennen.

[0036] Bei den in Fig. 3 dargestellten Ausmaßen der zweidimensionalen Toleranzbereiche 322, 332 ist dies nur möglich, wenn die Aktorspannungsschwellwertkurve 370 kapazitätsabhängig bzw. vermittelt durch den Temperaturgang 340 temperaturabhängig festgelegt wird. Ein an der Untergrenze des ersten zweidimensionalen Toleranzbereichs 322 konstant festgelegter Aktorspannungsschwellwert 390 würde z.B. dazu führen, dass innerhalb des im zweiten zweidimensionalen Toleranzbereich 332 schraffierten annähernd dreieckigen Bereichs 391 ein Kurzschluss nicht mehr korrekt erkannt würde. In diesem Fall würde der Ansteuerstromregler 230 das Ansteuerstromsignal für nachfolgende Kraftstoffeinspritzungen so verändern, dass wie durch einen bis über eine Funktionsgrenze 394 der Aktoren verschobenen annähernd dreieckigen Bereich 395 in Fig. 3 angedeutet ein gleichzeitiges Öffnen der Aktoren nicht zuverlässig verhinderbar ist.

[0037] Figur 4 zeigt ein Ablaufdiagramm eines Verfahrens zur Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors für eine Brennkraftmaschine, der einen piezoelektrischen Aktor aufweist. Das gezeigte Verfahren ist z.B. unter Anwendung der Steuervorrichtung 210 aus Fig. 2 durchführbar.

[0038] In Schritt 400 wird der Aktor des Kraftstoffinjektors mit einem Ansteuerstromsignal zur Ausführung einer Kraftstoffeinspritzung beaufschlagt, z.B. während eines ersten Arbeitsspiels der Brennkraftmaschine. Das Ansteuerstromsignal umfasst z.B. einen Ladestromimpuls, durch welchen im ordnungsgemäßen Betrieb der Kraftstoffinjektor geöffnet wird und einen entgegen gerichteten Entladestromimpuls, durch welchen der Kraftstoffinjektor wieder geschlossen wird.

[0039] In Schritt 402 wird während der Kraftstoffeinspritzung zu einem vorgebbaren Messzeitpunkt die am Aktor anliegende Spannung gemessen, um auf diese eine Ist-Aktorspannung als Spannungswert zu erhalten. Hierbei ist mit "während der Kraftstoffeinspritzung" die gesamte Zeitspanne des Ansteuerstromsignals gemeint,

während derer im ordnungsgemäßen Betrieb die Kraftstoffeinspritzung erfolgt, d.h. vom Beginn des Ladestromimpulses bis zum Ende des Entladestromimpulses. Beispielsweise kann der Messzeitpunkt kurz vor den Beginn des Entladestromimpulses gelegt sein.

[0040] In Schritt 404 wird eine Temperatur am Aktor 200 bestimmt. Dies kann näherungsweise erfolgen, indem z.B. die Temperatur gestützt auf die Kraftstoffzulauftemperatur und/oder die Kühlwassertemperatur abgeschätzt wird. In Schritt 406 wird aus der Temperatur die elektrische Kapazität errechnet, die der Aktor bei der betreffenden Temperatur aufweist, z.B. unter Verwendung individueller Kennlinien des angesteuerten Aktorexemplars. In Schritt 407 wird aus der Kapazität ein Aktorspannungsschwellwert ermittelt. Beispielsweise wird der Aktorspannungsschwellwert so ermittelt, dass er nur geringfügig mehr als die Höhe der Ist-Aktorspannung beträgt, die bei Berücksichtigung von Steuervorrichtungen- und Aktortoleranzen aufgrund von Exemplarstreuungen und ggf. dem Einfluss der Temperatur der Steuervorrichtung für den Fall maximal zu erwarten ist, dass der Aktor die ermittelte Temperatur aufweist und mit einem weiteren Aktor parallel geschaltet ist. Die Schritte 406 und 407 können auch kombiniert ausgeführt werden, z.B. indem eine ggf. exemplarspezifische Kennlinie verwendet wird, die die Temperatur mit dem Aktorspannungsschwellwert verknüpft.

[0041] In Entscheidungsschritt 408 wird verglichen, ob die in Schritt 402 ermittelte Ist-Aktorspannung oberhalb des Aktorspannungsschwellwerts liegt. Ist dies der Fall, geht das Verfahren davon aus, dass kein Störfall mit Kurzschluss mehrerer Aktoren vorliegt und verzweigt zu Schritt 409. Hier wird eine Soll-Aktorspannung ermittelt, die für eine nachfolgende Kraftstoffeinspritzung zu einem Messzeitpunkt erwünscht ist, zu welchem, bezogen auf die vorliegende Kraftstoffeinspritzung in Schritt 402 die Ist-Aktorspannung ermittelt wurde. Beispielsweise wird ein konstant (ggf. unter Verwendung individueller Kenngrößen des Kraftstoffinjektors) vorgegebener Wert als Soll-Aktorspannung verwendet, oder die Soll-Aktorspannung wird basierend auf einem Druck im Kraftstoffzulauf ermittelt. In Schritt 410 wird ein Ansteuerstromsignal für eine weitere Kraftstoffeinspritzung, z.B. die als nächstes zur Ausführung durch den Kraftstoffinjektor vorgesehene Einspritzung gleichen Typs ermittelt, unter Verwendung der Soll-Aktorspannung als Regelziel. Das Verfahren springt anschließend zurück zu Schritt 400, wo das in Schritt 410 ermittelte, ggf. gegenüber der vorliegenden Kraftstoffeinspritzung abgeänderte Ansteuersignal zur Ausführung der weiteren Kraftstoffeinspritzung an den Injektor abgegeben wird.

[0042] Wird in Entscheidungsschritt 408 für die vorliegende Kraftstoffeinspritzung allerdings festgestellt, dass die in Schritt 402 ermittelte Ist-Aktorspannung unterhalb des Aktorspannungsschwellwerts liegt, wird in Schritt 412 ein Fehlersignal ausgegeben und ggf. für Diagnose, Warn- oder andere Zwecke weiterverarbeitet. Das Verfahren springt in diesem Fall zurück zu Schritt 400, ohne

dass in Schritt 410 ein neues Ansteuerstromsignal ermittelt wurde, sodass in Schritt 400 für eine weitere Kraftstoffeinspritzung ein gegenüber der vorliegenden Kraftstoffeinspritzung unverändertes Ansteuerstromsignal an den Aktor abgegeben wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors (202) für eine Brennkraftmaschine, welcher einen piezoelektrischen Aktor (200) aufweist, mit folgenden Schritten:
 - Ansteuern (400) des Aktors (200) mittels eines Ansteuerstromsignals für eine Kraftstoffeinspritzung (150);
 - Ermitteln (402) einer Ist-Aktorspannung (144, 146) während (128) der Kraftstoffeinspritzung (150);
 - Vergleichen (408), ob die Ist-Aktorspannung (144, 146) oberhalb eines Aktorspannungsschwellwerts (112) liegt; und
 - Regeln (410) des Ansteuerstromsignals, wenn die Ist-Aktorspannung (144) oberhalb des Aktorspannungsschwellwerts (112) liegt, für eine weitere Kraftstoffeinspritzung derart, dass die Ist-Aktorspannung während der weiteren Kraftstoffeinspritzung sich einer Soll-Aktorspannung (114) nähert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, weiterhin umfassend folgende Schritte:
 - Ermitteln (404) einer Temperatur am Aktor (200); und
 - Ermitteln (406, 407) des Aktorspannungsschwellwerts (112) basierend auf der Temperatur.
3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei das Ermitteln (404) der Temperatur am Aktor (200) basierend auf einer Kraftstofftemperatur oder/und einer Kühlwassertemperatur der Brennkraftmaschine erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei das Ermitteln (406, 407) des Aktorspannungsschwellwerts (112) weiterhin basierend auf mindestens einer Kenngröße des Kraftstoffinjektors (202) erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, wobei das Ermitteln (406) des Aktorspannungsschwellwerts eine lineare Interpolation zwischen einem ersten (300) und einem zweiten (302) Stützwert umfasst, wobei insbesondere der erste (300) und zweite Stützwert einer minimalen (310) bzw. maximalen (314) Betriebstemperatur (312) des Aktors (200) entsprechen.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend einen Schritt des Ermitteln (409) der Soll-Aktorspannung (114) basierend auf einem Druck in einem Kraftstoffdruckspeicher (204) der Brennkraftmaschine und/oder mindestens einer Kenngröße (233) des Kraftstoffinjektors (202). 5
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin umfassend einen Schritt des Ausgebens (412) eines Fehlersignals, wenn die Ist-Aktorspannung (146) nicht oberhalb des Aktorspannungsschwellwerts (112) liegt. 10
8. Computerprogrammprodukt mit Programmanweisungen, die auf einem maschinenlesbaren Träger gespeichert sind, zur Durchführung des Verfahrens nach wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, wenn die Programmanweisungen auf einem Computer oder einer Steuervorrichtung (210) ausgeführt werden. 15
20
9. Steuervorrichtung (210) zur Ansteuerung eines Kraftstoffinjektors (202) für eine Brennkraftmaschine, welcher einen piezoelektrischen Aktor (200) aufweist, mit: 25
- einer Ansteuereinheit (220), welche den Aktor (200) mittels eines Ansteuerstromsignals für eine Kraftstoffeinspritzung (150) ansteuert;
 - einem Spannungsmesser (222), welcher eine Ist-Aktorspannung (144, 146) während (128) der Kraftstoffeinspritzung (150) ermittelt; 30
 - einem Spannungsvergleicher (226), welcher ermittelt, ob die Ist-Aktorspannung (144, 146) oberhalb eines Aktorspannungsschwellwerts (112) liegt; und 35
 - einem Ansteuerstromregler (230), welcher, wenn die Ist-Aktorspannung (144) oberhalb des Aktorspannungsschwellwerts (112) liegt, das Ansteuerstromsignal für eine weitere Kraftstoffeinspritzung derart regelt, dass die Ist-Aktorspannung während der weiteren Kraftstoffeinspritzung sich einer Soll-Aktorspannung (114) nähert. 40
45
10. Steuervorrichtung (210) nach Anspruch 9, weiterhin aufweisend:
- einen Temperaturermittler (234), welcher eine Temperatur (312) am Aktor (200) ermittelt; und 50
 - einen Aktorspannungsschwellwertermittler (224), welcher basierend auf der Temperatur (312) den Aktorspannungsschwellwert (112) ermittelt. 55

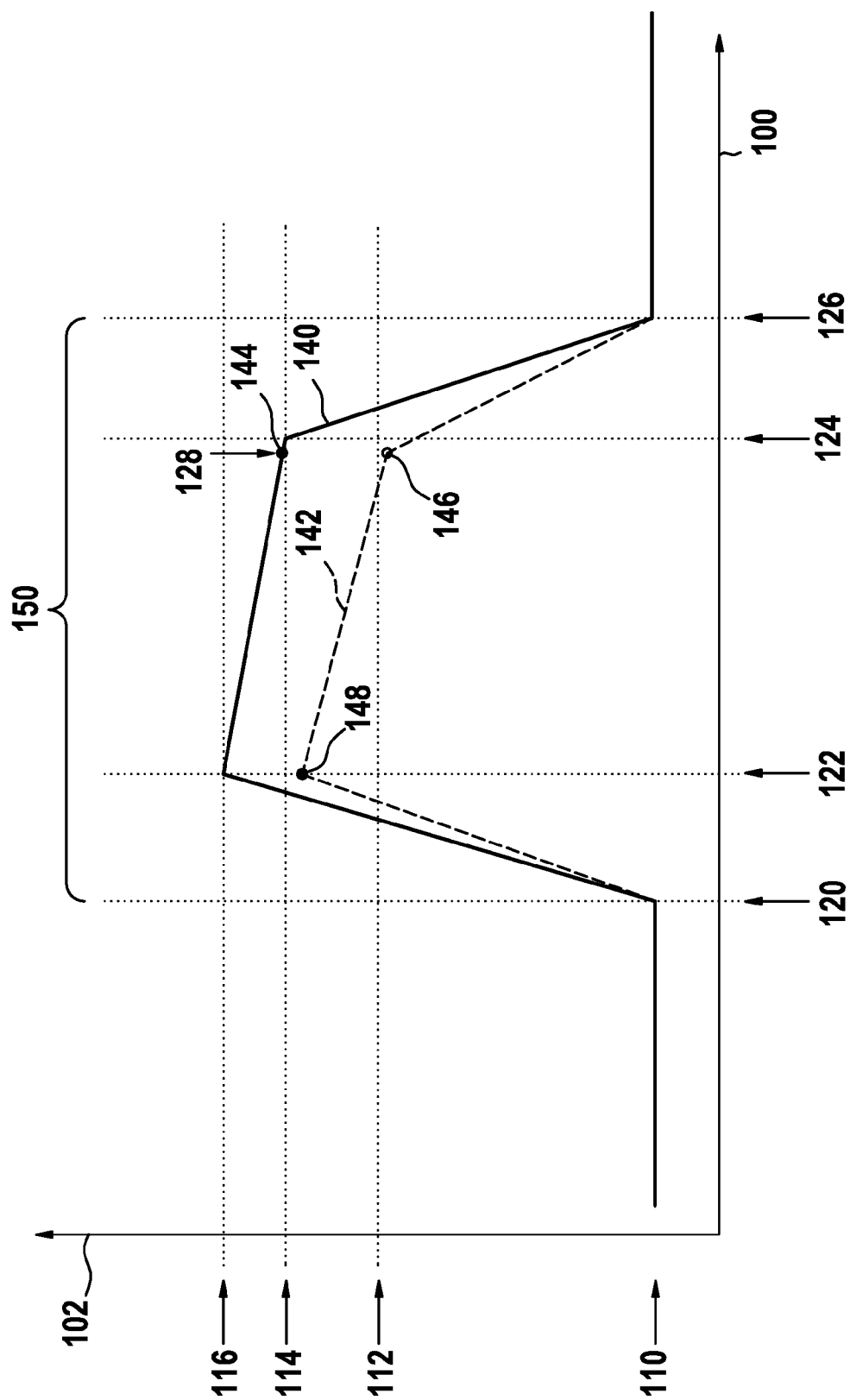


Fig. 1

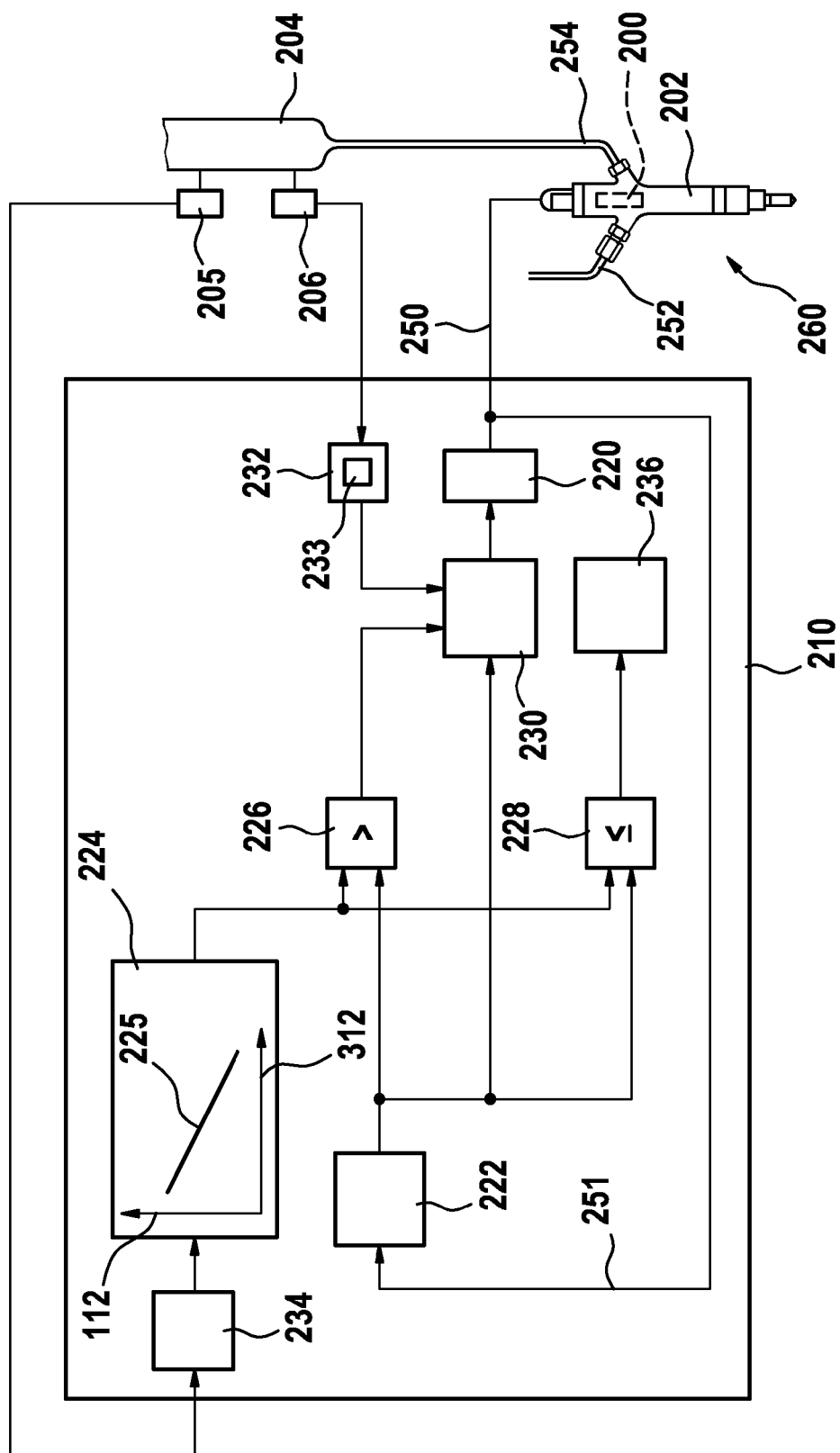


Fig. 2

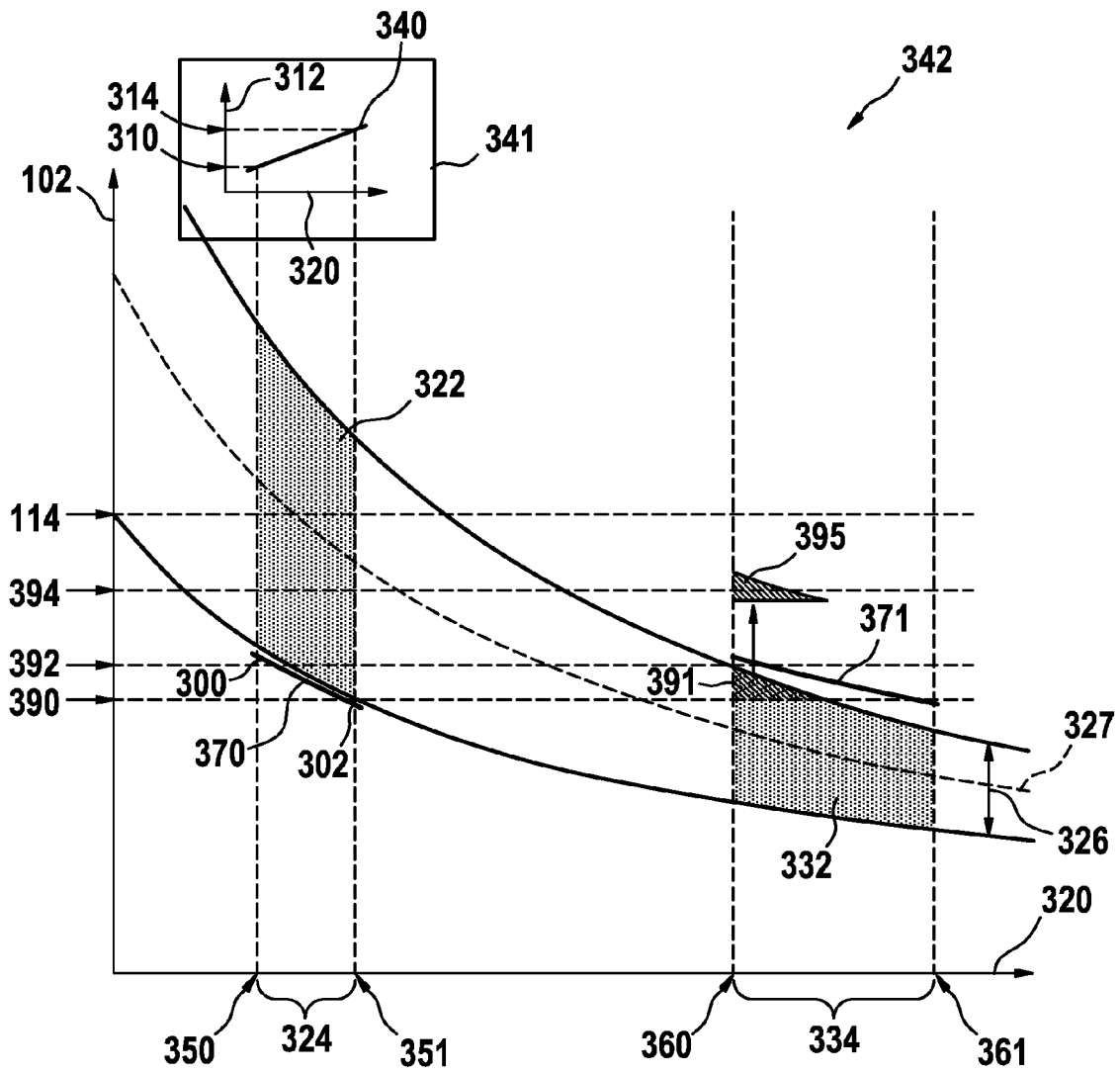


Fig. 3

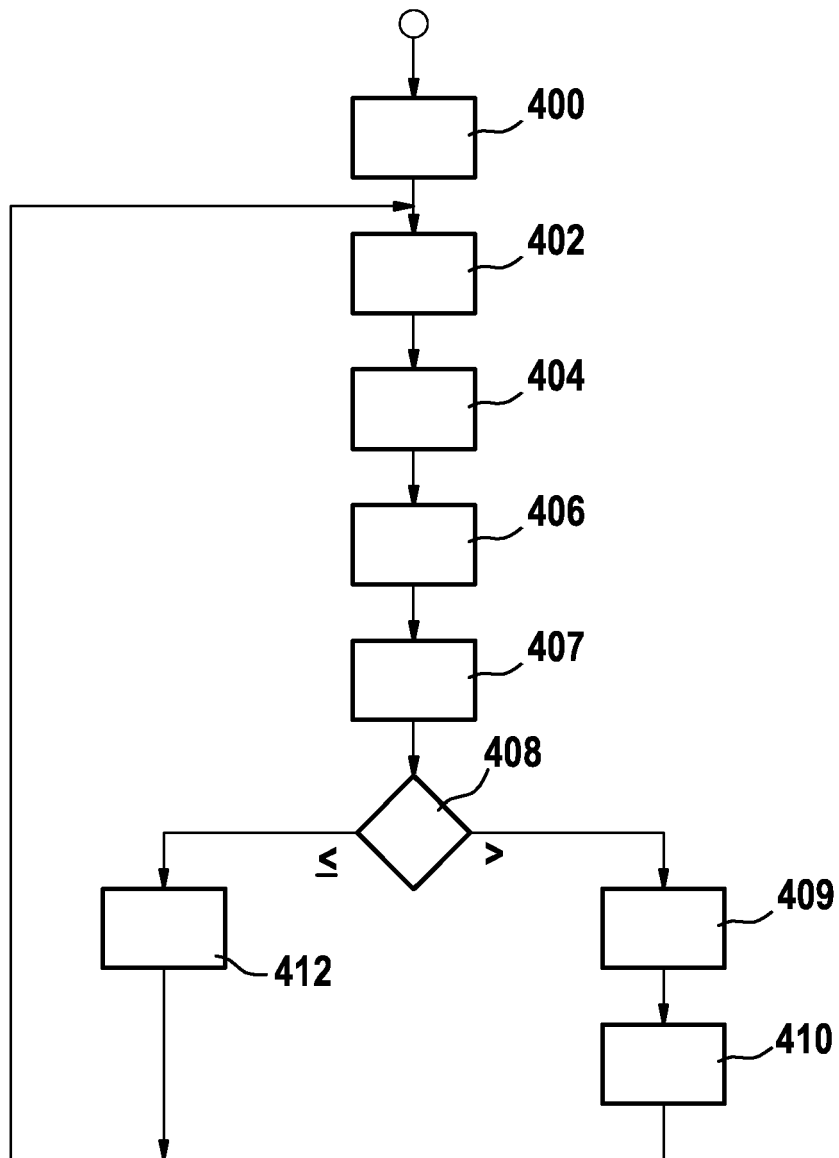


Fig. 4