





(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— mit internationalem Recherchenbericht

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

---

(57) **Zusammenfassung:** Ein piezoelektrischer Aktor eines Einspritzventils wird durch Vorgabe einer Steuerkurve (k), auf der die maximalen Amplituden ( $\hat{I}_n$ ) des das Stellglied ansteuernden Stromes (I) liegen, angesteuert. Hierbei wird ein zu Beginn oder am Ende einer Lade- oder Entladephase langsam ansteigender bzw. abfallender Ladungsverlauf und somit eine über der Zeit linear steuerbare Ladungsmenge im Stellglied erreicht. Weiter wird so ein Überschwingen des Aktors verhindert.

Verfahren und Vorrichtung zum Ansteuern eines kapazitiven Stellglieds

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ansteuern eines piezoelektrischen Stellglieds, insbesondere eines piezoelektrischen Aktors für ein Einspritzventil einer Brennkraftmaschine.

10

Beim Ansteuern kapazitiver Stellglieder, d. h. beim Auf- und/oder Entladen kapazitiver Stellglieder, werden an die Ansteuer-elektronik des Stellglieds erhebliche Anforderungen gestellt. So müssen dabei Spannungen im Bereich von mehreren  
15 100 V und kurzzeitige Ströme zum Laden und Entladen von mehr als 10 A bereitgestellt werden. Die Ansteuerung erfolgt meist in Bruchteilen von Millisekunden. Gleichzeitig sollte während dieser Ansteuerphasen der Strom und die Spannung dem Stellglied kontrolliert zugeführt werden.

20

Eine Ausführungsform eines kapazitiven Stellglieds stellt ein piezoelektrischer Aktor dar, wie er zur Betätigung eines Einspritzventils Verwendung findet. Ein solches Einspritzventil wird in Brennkraftmaschinen zum Einspritzen von Kraftstoff in  
25 einen Brennraum eingesetzt. Hier werden sehr hohe Anforderungen an ein exaktes und reproduzierbares Öffnen und Schließen der Ventile und damit auch an die Ansteuerung des Aktors gestellt. Um zukünftige Abgasemissionsgrenzwerte einhalten zu können, erhöht sich die Anzahl der Kraftstoffeinspritzung pro  
30 Verbrennungstakt. Dadurch werden die Einspritzzeiten und somit auch die Ansteuerzeiten für den piezoelektrischen Aktor immer kürzer, was zusätzliche Anforderungen an die Ansteuer-elektronik des Aktors stellt.

35

Bei einer bekannten Schaltungsanordnung (DE 199 44 733 A1) wird ein piezoelektrischer Aktor von einem Ladekondensator über einen Transformator geladen. Hierzu wird ein auf der

Primärseite des Transformators angeordneter Ladeschalter mit einem pulsweitenmodulierten Steuersignal angesteuert. Der Lade- und auch der Entladeschalter sind dort als steuerbare Halbleiterschalter ausgeführt. Dem piezoelektrischen Aktor werden zum Laden oder Entladen vorgegebene Energiepakete zugeführt bzw. entnommen.

Werden Energiepakete benötigt, die kleiner als die vorgegebenen Energiepakete sind, so benötigt die bekannte Schaltungsanordnung zur zeitlichen Mittelung der dem piezoelektrischen Aktor zugeführten und wieder entnommenen Energie ein stark wirksames Ausgangsfilter. Weiter werden hier identische Lade- und Entladeströme vorausgesetzt, sofern die Steuerkennlinie des Aktors keine Unstetigkeitsstellen aufweisen soll.

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Ansteuern eines kapazitiven Stellglieds zu schaffen, die sich durch eine hohe Auflösung und Reproduzierbarkeit auszeichnen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Patentanspruchs 1, sowie durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Patentanspruchs 11 gelöst.

Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird das Stellglied in zumindest drei Schritten mit jeweils einer vorgegebenen Zeitdauer aufgeladen. Während jeder dieser zumindest drei Zeitdauern fließt beim Aufladen des Stellglieds ein Strom in das Stellglied.

Während der ersten Zeitdauer wird eine Amplitude des Stroms von einem vorgegebenen Minimum auf ein vorgegebenes Maximum erhöht. Während der zweiten Zeitdauer wird die Amplitude des Stroms in etwa konstant gehalten. Schließlich wird während der dritten Zeitdauer die Amplitude des Stroms von einem vorgegebenen maximalen Strom auf einen ebenfalls vorgegebenen Endwert reduziert.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung weist eine Steuervorrichtung und eine Endstufe auf, wobei die Endstufe über ein Steuersignal der Steuervorrichtung angesteuert wird. Die Steuervorrichtung stellt für eine erste vorgegebene Zeitdauer ein Steuersignal zur Verfügung, das während dieser ersten Zeitdauer von einem vorgegebenen Minimum auf ein vorgegebenes Maximum ansteigt. Für eine zweite vorgegebene Zeitdauer, die auf die erste Zeitdauer folgt, stellt die Steuervorrichtung ein weitestgehend konstantes Steuersignal zur Verfügung. Für eine dritte vorgegebene Zeitdauer stellt die Steuervorrichtung ein Steuersignal zur Verfügung, das sich über die dritte vorgegebene Zeitdauer von dem vorgegebenen Maximum auf einen vorgegebenen Endwert verringert.

Entsprechende Annahmen gelten auch für das Entladen eines Stellglieds. Hierbei wird während der ersten Zeitdauer ebenfalls die maximale Amplitude des Stroms von einem Minimum auf ein Maximum erhöht. Während der zweiten Zeitdauer wird die Amplitude konstant gehalten und während der dritten Zeitdauer wird die Amplitude des Stroms von einem Maximum auf einen ebenfalls vorgegebenen Endwert erniedrigt. Hierbei ist der Entladestrom so gerichtet, dass sich die im Aktor gespeicherte Energie verringert.

Durch die erfindungsgemäße Ansteuerung des Stellglieds wird ein weicher Anfangs- und Endverlauf der dem Stellglied zugeführten elektrischen Ladung erreicht. Da beispielsweise bei einem piezoelektrischen Stellglied die diesem zugeführte Ladung proportional zu dessen Wegänderung und Kraftänderung ist, wird durch eine langsame Änderung der Ladung über der Zeit im Anfangs- und Endverlaufs des Aufladens oder Entladens ein Überschwingen des Stellglieds verhindert. Hierdurch werden störende mechanische oder akustische Effekte reduziert.

35

Eine Steuerung des Lade- oder Entladestroms ist ausschließlich für die Zeitdauer des Ladens oder Entladens erforderlich.

- 5 Vorteilhaftere Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen angegeben.

In einer ersten bevorzugten Ausführungsform ist ein Einstellen der dem Stellglied zugeführten Ladung ohne eine Änderung  
10 der gesamten Ladezeitdauer möglich. Hier werden lediglich die Steigungen in der ersten und in der dritten Zeitdauer des Ladens bzw. Entladens verändert. Durch eine Anpassung der Steigung lässt sich die Linearität der Ansteuerung beeinflussen.

15 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird die dem Stellglied zugeführte Ladungsmenge durch eine Änderung der zweiten Zeitdauer variiert. Auf diese Weise kann trotz einer Quantisierung, wie sie beispielsweise durch eine getaktete Endstufe hervorgerufen wird, das Stellglied linear gesteuert  
20 werden. Die erste und/ oder dritte Zeitdauer bleibt hierbei unverändert, wodurch die Abschalttrampe nur zeitlich verschoben wird und das Abschaltverhalten gleich bleibt.

So lässt sich ein weiterer linearer Steuerbereich erzielen.  
25 Hierbei sind Änderungen von 10 bis 100 % in Bezug auf die Energie oder 20 bis 100 % in Bezug auf die Zeit möglich. Ein Linearitätsfehler kleiner 0,5 % ist so realisierbar. Unterschiedliche Lade- und Entladeströme haben keinen Einfluss auf die Linearität des Steuerverfahrens.

30 In einer bevorzugten Ausführungsform hat das der Endstufe zugeführte Steuersignal einen vorbestimmten Ausgangsstrom zur Folge. Das Steuersignal lässt sich durch eine analoge oder eine digitale Schaltung erzeugen. Unabhängig von der Ansteuerung der Endstufe selbst ist so die Form des dem Stellglied  
35 zugeführten Stroms einstellbar.

Vorteilhafterweise entspricht die maximale Amplitude des Stroms während der zweiten Zeitdauer und das Maximum der dritten Zeitdauer in etwa dem vorgegebenen Maximum der ersten Zeitdauer.

5

In einem weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiel entspricht die Einhüllende der maximalen Amplituden über die drei vorgegebenen Zeitdauern in etwa der Form eines Trapezes.

10 In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform handelt es sich bei dem Lade- und/ oder Entladestrom um einen intermittierenden Strom, der beispielsweise durch eine getaktete Strom- oder Spannungsquelle zur Verfügung gestellt wird.

15 Weiter kann der Strom aus einer Folge von Pulsen zusammengesetzt werden, deren maximale Amplitude jeweils auf einem für diese Zeitdauer vorgegebenen Punkt der Hüllkurve liegt.

In bevorzugter Weise eignen sich für diese Pulse Dreieckspulse.  
20

In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens wird das Stellglied nicht lückend angesteuert, d. h. die Amplitude des Stroms steigt nach Erreichen eines vorgegebenen  
25 Minimums wieder ohne Pause an.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die schematischen Zeichnungen weiter beschrieben. Es zeigen:

30

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel eines Verlaufs des einem Stellglied zugeführten Stroms und der daraus resultierenden Ladung des Stellglieds über der Zeit,  
Figur 2 ein weiteres Ausführungsbeispiel eines dem Stellglied zugeführten Stromverlaufs,  
35 Figur 3 ein Blockschaltbild einer Vorrichtung zum Ansteuern eines kapazitiven Stellglieds,

Figur 4a ein erstes Ausführungsbeispiel einer Steuereinheit,  
und  
Figur 4b ein zweites Ausführungsbeispiel einer Steuereinheit.

- 5 Die Figuren 1 und 2 zeigen den Verlauf eines einem Stellglied  
zugeführten Stroms  $I$ . In Figur 1 ist zusätzlich die durch den  
Strom  $I$  in das Stellglied eingespeicherte Ladungsmenge  $Q$  als  
Funktion der Zeit  $t$  aufgetragen.
- 10 Bei dem Stellglied handelt es sich hier um ein kapazitives,  
insbesondere ein piezoelektrisches Stellglied  $P$ , wie es zum  
Betätigen eines Einspritzventils verwendet wird. Solche Ein-  
spritzventile finden beispielsweise bei Brennkraftmaschinen  
Anwendung.
- 15 Der obere Teil der Figur 1 zeigt den Verlauf des dem Stell-  
glied zugeführten Stroms  $I$ . Hierbei schließen sich dreieck-  
förmige Strompulse  $P_U$  mit einer Pulsdauer  $T_p$  einander an. Die  
maximalen Amplituden  $\hat{I}_1$  bis  $\hat{I}_n$  folgen hierbei einer Steuer-  
20 kurve  $k$ .
- Der Verlauf der Steuerkurve  $k$  entspricht hier einem Trapez.  
Während einer ersten Zeitdauer  $T_1$  steigen die maximalen Amp-  
plituden  $\hat{I}_n$  des Stroms  $I$  von einem vorgegebenen Minimum  
25  $\hat{I}_{minT_1}$ , hier  $0$ , auf ein vorgegebenes Maximum  $\hat{I}_{maxT_1}$  an. Die-  
ses Maximum  $\hat{I}_{maxT_1}$  wird aufgrund einer gewünschten Ladung  $Q$   
des Stellglieds  $P$  am Ende der Ladephase ( $T_1+T_2+T_3$ ) aus einem  
vorgegebenen Kennlinienfeld gewählt. Das Kennlinienfeld kann  
beispielsweise die Zuordnung verschiedener Parameter der  
30 Brennkraftmaschine, wie z.B. Drehzahl und/ oder Last zur be-  
nötigten Kraftstoffmenge und somit zur gewünschten Ladung  $Q$   
enthalten. Dieses Kennlinienfeld kann beispielsweise experi-  
mentell oder auch rechnerisch ermittelt werden. Die Wegände-  
rung  $\Delta d$  am Stellglied  $P$  entspricht hierbei der dem Stell-  
35 glied  $P$  zugeführten Ladung  $Q$ . Für die Ladung  $Q$  gilt  $Q = \int I(dt)$ .

Im unteren Teil der Figur 1 ist der zeitliche Verlauf der im Stellglied P eingespeicherten Ladung Q über der Zeit t aufgetragen. Während der ersten Zeitdauer T1 steigt die im Stellglied P gespeicherte Ladungsmenge Q proportional zu  $t^2$  an.

5

Während einer zweiten Zeitdauer T2 bleibt die maximale Amplitude der Strompulse PU konstant. Es folgen hier Strompulse PU mit einer maximalen Amplitude  $\hat{I}_{T2}$  und einer Pulsbreite  $T_p$  direkt aufeinander. Hier entspricht  $\hat{I}_{T2}$  in etwa dem maximalen Strom  $\hat{I}_{maxT1}$  der Zeitdauer T1. Während dieser Zeitdauer T2 steigt die dem Stellglied P zugeführte Ladungsmenge Q proportional mit Zeit t an.

Im letzten Abschnitt T3 reduziert sich die Amplitude  $\hat{I}$  in der Strompulse PU von einem vorgegebenen Maximum  $\hat{I}_{maxT3}$  bis auf einen ebenfalls vorgegebenen Endwert  $\hat{I}_{minT3}$ , hier 0. Hier entspricht  $\hat{I}_{maxT3}$  in etwa der maximalen Amplitude  $\hat{I}_{maxT1}$ , die in der Zeitdauer T1 auftritt. Die dem Stellglied P zugeführte Ladungsmenge Q verhält sich während dieser Zeitdauer T3 proportional zu  $(t_3-t)^2$ .

20

Die Zeitdauern T1 und T3 werden hier so gewählt, dass hinreichend viele Pulse PU in T1 oder T3 vorhanden sind. Dementsprechend wird eine Schaltfrequenz  $f_p = \frac{1}{2T_p}$  gewählt.

25

Vorzugsweise sollten etwa 5 bis 10 Pulse innerhalb der ansteigenden bzw. abfallenden Flanke der Kurve verlaufen. Dementsprechend muss die Schaltfrequenz  $f_t$  einer das Stellglied ansteuernden Endstufe E ausgewählt werden. Durch die geeignete Wahl der Pulsbreite  $T_p$  wird eine ausreichende Mittelung der durch die Pulsbreite  $T_p$  hervorgerufenen Quantisierung ermöglicht und die Ladungsmenge über der gesamten Ladezeit  $T1+T2+T3$  linear gesteuert.

Die Pulsbreite  $T_p$  kann während der Zeitdauer T1, T2 und T3 des Ansteuerens konstant bleiben.

35

Um eine lineare Steuerung der Wegänderung  $\Delta d$  am Stellglied P zu Erreichen, wird die dem Stellglied zugeführte Ladungsmenge hauptsächlich durch eine Änderung der zweiten Zeitdauer T2 erreicht. Hierbei wird die abfallende Rampe, die die Hüllkurve der Amplituden  $\hat{I}$  während der dritten Zeitdauer T3 bildet, zeitlich verschoben, die dritte Zeitdauer T3 bleibt unverändert.

Eine alternative Ausführungsform des das Stellglied P ansteuernden Stroms I ist in Figur 2 dargestellt. Hier wird die Pulsbreite  $T_p$  während der Zeitdauer T3 reduziert und somit die Schaltfrequenz  $f_t$  erhöht.

Figur 3 zeigt ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer Vorrichtung zum Ansteuern eines Stellglieds. Das Stellglied, hier ein piezoelektrisches Stellglied P, ist über eine Induktivität L mit einer Endstufe E verbunden. Die Endstufe E liefert einen das piezoelektrische Stellglied über die Induktivität L aufladenden Strom I. Die Endstufe E kann als herkömmlicher Schaltwandler, beispielsweise als Buck-Boost-, als Flyback-, oder als SEPIC-Konverter ausgeführt sein. Die Endstufe E liefert abhängig von einer Steuerspannung UST, die von einer Steuereinheit ST bereitgestellt wird, den das piezoelektrische Stellglied P auf- oder entladenden Strom I. Die in Figur 3 eingezeichnete Richtung des Stroms I zeigt die Stromrichtung bei einem Ladevorgang.

Figur 4a zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel einer Steuereinheit ST. Diese weist einen Digital-Analog-Wandler, vorzugsweise einen schnellen multiplizierenden Digital-Analog-Wandler D/A1 mit einem nachgeschalteten Tiefpassfilter R1', C1' auf. Dem Digital-Analog-Wandler D/A1 wird an einem Digitaleingang Din einen Vorgabewert X zugeführt und an einem weiteren Eingang Ref eine die maximale Amplitude  $\hat{I}_{max}$  des Stroms I vorgegebende Steuerspannung  $\hat{U}_{max}$ . Die angelegte Steuerspannung  $\hat{U}_{max}$  wird dann mit dem eingestellten Digitalwert X multipliziert und am Ausgang als Steuerspannung UST ausgege-

ben, so dass der Digital-Analog-Wandler wie ein genaues digitales Potentiometer arbeitet. Sowohl der Vorgabewert  $X$ , als auch die maximale Amplitude werden von einem Mikrocontroller  $\mu C$  bereitgestellt. Hierbei wird die Steuerspannung  $U_{\text{max}}$  aus der digitalen Information des Mikrocontrollers  $\mu C$  durch einen zweiten Digital-Analog-Wandler D/A2 erzeugt. Über das aus dem Widerstand  $R1'$  und dem Kondensator  $C1'$  gebildete Tiefpassfilter wird das so erzeugte Steuersignal UST der Endstufe E zugeführt. So kann die Hüllkurve  $k$  vorgegeben werden, ohne dass die zeitliche Ansteuerung des Aktors P durch die Endstufe verändert wird.

Figur 4b zeigt ein Ausführungsbeispiel einer aus analogen Bauelementen aufgebauten Schaltungsanordnung zum Erzeugen des Steuersignals UST. Die dort gezeigte Schaltungsanordnung weist einen einerseits mit Masse GND verbundenen Ladekondensator  $C1$  auf, der andererseits über einen Spannungsbegrenzer B mit dem Ausgang UST der Schaltungsanordnung verbunden ist.

Der Spannungsbegrenzer B ist am nicht invertierenden Eingang + mit einer der zu begrenzenden Spannung entsprechenden Spannung  $U/2$  verbunden. Der invertierende Eingang - ist mit der Masse abgewandten Seite des Kondensators  $C1$  verbunden. Der Ausgang UST des Spannungsbegrenzers B ist ebenfalls mit diesem Anschluss des Kondensators  $C1$  elektrisch verbunden. Der Kondensator  $C1$  ist weiter über einen Widerstand  $R5$  und einen Auswahlschalter  $S1$  (bei Schalterstellung Entladen "E") mit der Versorgungsspannung  $U$  elektrisch verbunden. In einer zweiten Schalterstellung Laden "L" des Schalters  $S1$  ist der Kondensator  $C1$  über den Widerstand  $R5$  mit dem Ausgang eines als invertierenden Spannungsverstärkers geschalteten Operationsverstärkers OP verbunden. Der Operationsverstärker OP ist mit seinem nicht invertierenden Eingang + mit Masse GND und mit seinem invertierenden Eingang - über einen Widerstand  $R3$  mit der hier durch einen Spannungsteiler  $R1, R2$  ( $R1=R2$ ) halbierten Versorgungsspannung  $U$  verbunden. Der Ausgang des Ope-

rationsverstärkers OP ist über einen weiteren Widerstand R4 auf seinen invertierenden Eingang rückgekoppelt.

Hier wird die Rampe des Steuersignals UST dadurch erzeugt,  
5 dass der Kondensator C1 in der Schalterstellung L geladen und  
anschließend in Schalterstellung E entladen wird. Durch den  
Strombegrenzer B wird erreicht, dass die Entladespannung des  
Kondensators C1 so begrenzt wird, dass die Steuersignal UST  
sich im linearen Bereich der Entladespannung des Kondensators  
10 C1 befindet. Anstelle des RC-Glieds R5, C1 kann jedoch auch  
ein idealer Integrator verwendet werden.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Ansteuern eines Stellglieds, insbesondere eines piezoelektrischen Stellglieds, das die folgenden Schritte aufweist:
- das Stellglied wird in zumindest drei Schritten mit jeweils einer vorgegebenen Zeitdauer ( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ ) durch einen Strom ( $I$ ) auf- oder entladen,
  - während der ersten Zeitdauer ( $T_1$ ) wird die maximale Amplitude ( $\hat{I}_n$ ) des Stroms ( $I$ ) von einem vorgegebenen Minimum ( $\hat{I}_{\min T_1}$ ) auf ein vorgegebenes erstes Maximum ( $\hat{I}_{\max T_1}$ ) erhöht,
  - während der zweiten Zeitdauer ( $T_2$ ) wird die maximale Amplitude ( $\hat{I}_n$ ) des Stroms ( $I$ ) in etwa konstant gehalten, und
  - während der dritten Zeitdauer ( $T_3$ ) wird die maximale Amplitude ( $\hat{I}_n$ ) des Stroms ( $I$ ) von einem weiteren vorgegebenen Maximum ( $\hat{I}_{\max T_3}$ ) auf ein weiteres vorgegebenes Minimum ( $\hat{I}_{\min T_3}$ ) erniedrigt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Maximum ( $\hat{I}_{\max T_1}$ ) entsprechend einer dem Stellglied ( $p$ ) zuzuführenden Ladungsmenge ( $Q$ ) gewählt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die zweite Zeitdauer ( $T_2$ ) entsprechend einer dem Stellglied ( $p$ ) zuzuführenden Ladungsmenge ( $Q$ ) gewählt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das erste Maximum ( $\hat{I}_{\max T_1}$ ) und/ oder die zweite Zeitdauer ( $T_2$ ) in Abhängigkeit von von einer vorgegebenen Längenänderung ( $\Delta d$ ) aus einem Kennlinienfeld ausgelesen werden.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die maximalen Amplituden ( $\hat{I}_n$ ) auf einer

Hüllkurve (k) liegen, die über die drei vorgegebenen Zeitdauern (T1, T2, T3) in etwa die Form eines Trapezes aufweist.

5 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Strom (I) intermittierend ist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Strom (I) aus einer Folge von Pulsen (PU) zusammengesetzt wird, wobei die maximale Amplitude ( $\hat{I}$ ) jeweils dem maximalen  
10 Strom des jeweiligen Pulses (PU) entspricht.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Pulse (PU) die Form eines Dreiecks aufweisen.

15 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass Amplituden ( $\hat{I}_n$ ) des Stroms (I) nach Erreichen eines vorgegebenen Minimums ohne Pause ansteigen.

20 10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Strom (I) von einer Endstufe (E) in Abhängigkeit von einer Steuerspannung (UST) bereitgestellt wird, wobei die Steuerspannung (UST) von einem Digital-Analog-Wandler (DA1) bereitgestellt wird.

25 11. Vorrichtung zum Ansteuern eines Stellglieds, insbesondere eines piezoelektrischen Stellglieds, die aufweist:

- eine Endstufe (E), die einen Steuereingang (UST) aufweist, und
- eine Steuervorrichtung (ST), die eine Steuerspannung (UST) zum Betreiben der Endstufe (E) bereitstellt, wobei das  
30 Steuersignal (UST) während einer ersten vorgegebenen Zeitdauer (T1) von einem vorgegebenen Minimum ( $\hat{I}_{\min T1}$ ) auf ein vorgegebenes Maximum ( $\hat{I}_{\max T1}$ ) ansteigt, während einer zweiten vorgegebenen Zeitdauer (T2) konstant bleibt und während  
35 einer dritten vorgegebenen Zeitdauer (T3) von einem vorgegebenen Maximum ( $\hat{I}_{\max T3}$ ) auf einen vorgegebenen Endwert ( $\hat{I}_{\min T3}$ ) abfällt.

12. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Vorrichtung einen Digital-Analog-Wandler (DA1) aufweist, der die Steuerspannung (UST) bereitstellt.

5

FIG 1

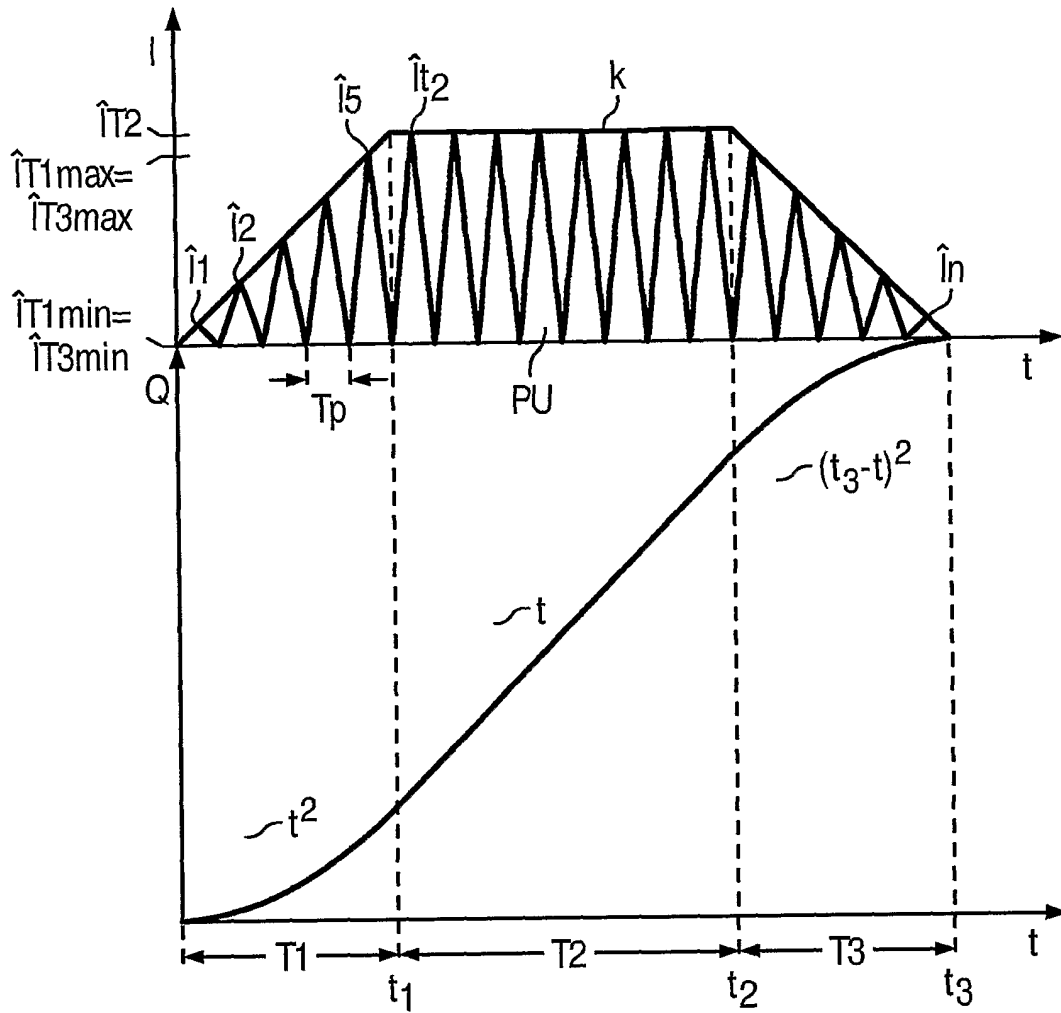


FIG 2

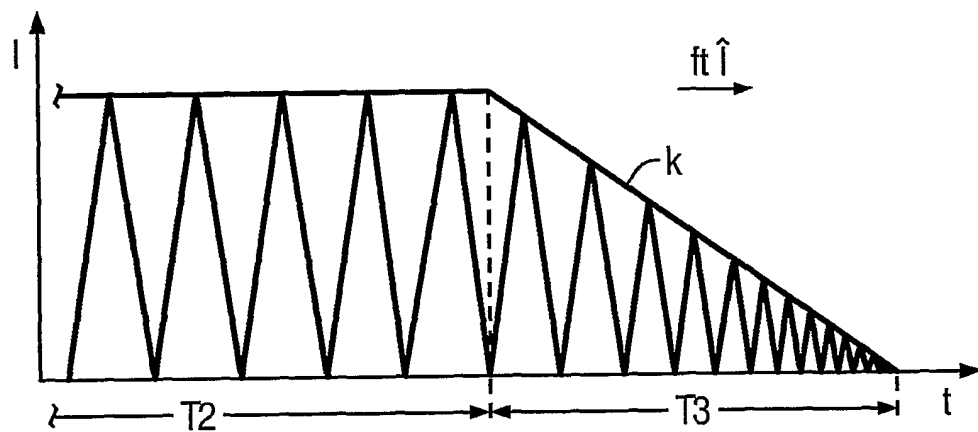


FIG 3

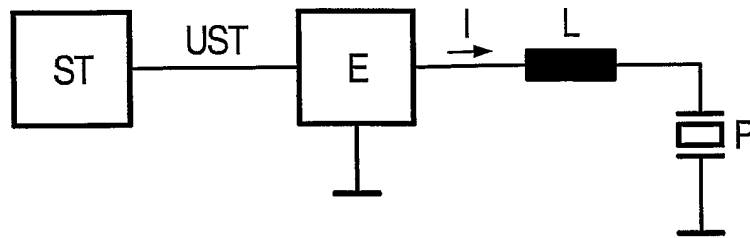


FIG 4A

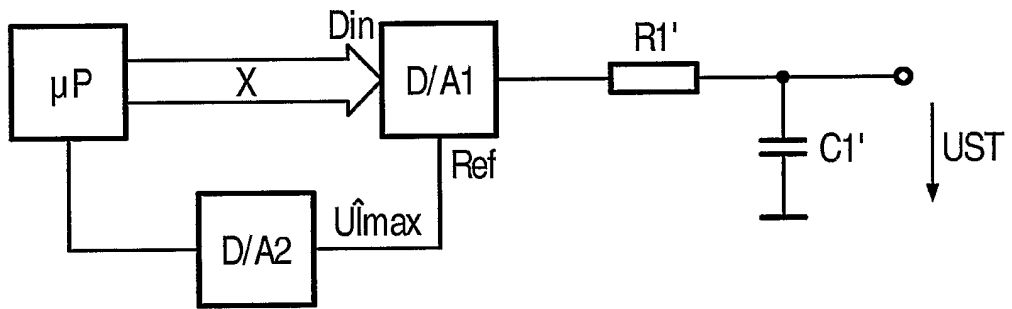
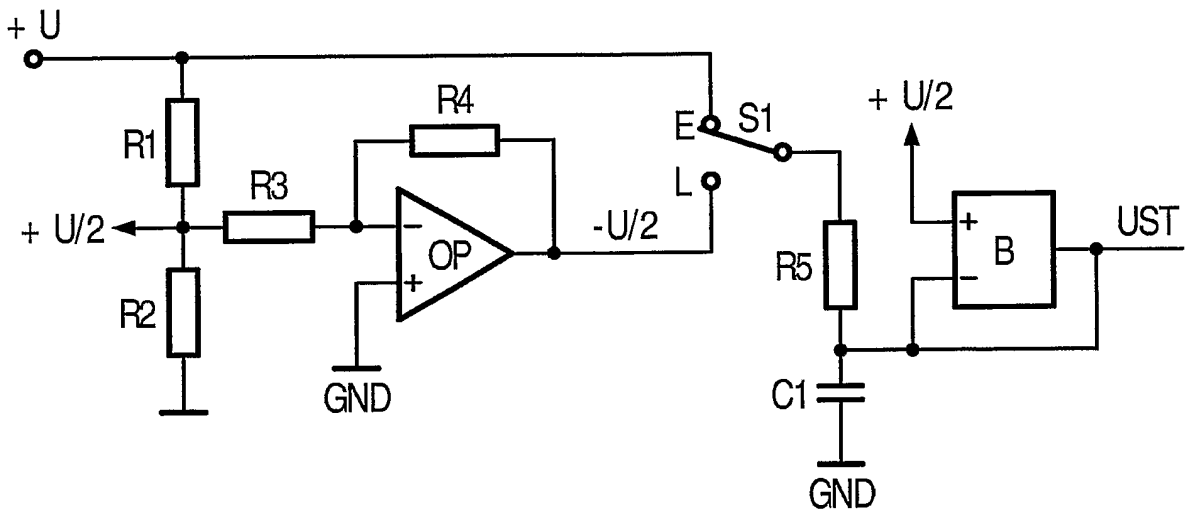


FIG 4B



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2005/050508

<b>A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER</b> IPC 7 F02D41/20				
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC				
<b>B. FIELDS SEARCHED</b>				
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 7 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 practical, search terms used) EPO-Internal, WPI Data, PAJ				
<b>C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT</b>				
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.		
X	WO 01/33061 A (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; CHEMISKY, ERIC; KAPPEL, ANDREAS; GOTTLIEB,) 10 May 2001 (2001-05-10) abstract; claims 1,6-9; figures 3-5 page 2, line 24 - page 4, line 6 page 10, line 10 - page 12, line 2	1,5-12		
X	US 6 031 707 A (MEYER ET AL) 29 February 2000 (2000-02-29) abstract; claim 1; figure 2 column 4, line 37 - column 4, line 65	1,5,11		
A	DE 101 58 553 A1 (DENSO CORP., KARIYA) 13 June 2002 (2002-06-13) abstract; claims 1,6; figure 13 paragraphs '0097! - '0102! ----- -/--	1-12		
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of box C.				
<input checked="" type="checkbox"/> Patent family members are listed in annex.				
* Special categories of cited documents :				
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;">                     *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance                      *E* earlier document 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                 </td> <td style="width: 50%; border: none; vertical-align: top;">                     *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.                      *&amp;* document member of the same patent family                 </td> </tr> </table>			*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document 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
*A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance *E* earlier document 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  <p style="text-align: center;">13 May 2005</p>	Date of mailing of the international search report  <p style="text-align: center;">23/05/2005</p>			
Name and mailing address of the ISA European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  <p style="text-align: center;">Van der Staay, F</p>			

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP2005/050508

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 130 598 A (VERHEYEN ET AL) 14 July 1992 (1992-07-14) abstract; claims 1-4,10; figure 3b column 4, line 48 - column 5, line 6 -----	1,11

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

 International Application No  
 PCT/EP2005/050508

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0133061	A	10-05-2001	DE 19952950 A1	07-06-2001
			WO 0133061 A1	10-05-2001
			DE 50007513 D1	23-09-2004
			EP 1226348 A1	31-07-2002
US 6031707	A	29-02-2000	DE 19907505 A1	09-09-1999
			GB 2334623 A ,B	25-08-1999
			JP 11280527 A	12-10-1999
DE 10158553	A1	13-06-2002	JP 2002161824 A	07-06-2002
			JP 2002217462 A	02-08-2002
US 5130598	A	14-07-1992	AU 6296890 A	27-11-1991
			BR 9007546 A	30-06-1992
			CA 2063382 A1	09-11-1991
			DE 69004693 D1	23-12-1993
			DE 69004693 T2	10-03-1994
			EP 0482112 A1	29-04-1992
			JP 4507481 T	24-12-1992
			WO 9117351 A1	14-11-1991

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2005/050508

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> IPK 7 F02D41/20		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b>		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7 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, PAJ		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 01/33061 A (SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; CHEMISKY, ERIC; KAPPEL, ANDREAS; GOTTLIEB,) 10. Mai 2001 (2001-05-10) Zusammenfassung; Ansprüche 1,6-9; Abbildungen 3-5 Seite 2, Zeile 24 - Seite 4, Zeile 6 Seite 10, Zeile 10 - Seite 12, Zeile 2	1,5-12
X	US 6 031 707 A (MEYER ET AL) 29. Februar 2000 (2000-02-29) Zusammenfassung; Anspruch 1; Abbildung 2 Spalte 4, Zeile 37 - Spalte 4, Zeile 65	1,5,11
A	DE 101 58 553 A1 (DENSO CORP., KARIYA) 13. Juni 2002 (2002-06-13) Zusammenfassung; Ansprüche 1,6; Abbildung 13 Absätze '0097! - '0102!	1-12
-/--		
<input checked="" type="checkbox"/>	Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen	<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</p> <p>*A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</p> <p>*E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</p> <p>*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)</p> <p>*O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</p> <p>*P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>*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</p> <p>*X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden</p> <p>*Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist</p> <p>*G* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
13. Mai 2005		23/05/2005
Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter  Van der Staay, F

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2005/050508

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	US 5 130 598 A (VERHEYEN ET AL) 14. Juli 1992 (1992-07-14) Zusammenfassung; Ansprüche 1-4,10; Abbildung 3b Spalte 4, Zeile 48 - Spalte 5, Zeile 6 -----	1,11

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen  
PCT/EP2005/050508

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 0133061	A	10-05-2001	DE 19952950 A1	07-06-2001
			WO 0133061 A1	10-05-2001
			DE 50007513 D1	23-09-2004
			EP 1226348 A1	31-07-2002
US 6031707	A	29-02-2000	DE 19907505 A1	09-09-1999
			GB 2334623 A , B	25-08-1999
			JP 11280527 A	12-10-1999
DE 10158553	A1	13-06-2002	JP 2002161824 A	07-06-2002
			JP 2002217462 A	02-08-2002
US 5130598	A	14-07-1992	AU 6296890 A	27-11-1991
			BR 9007546 A	30-06-1992
			CA 2063382 A1	09-11-1991
			DE 69004693 D1	23-12-1993
			DE 69004693 T2	10-03-1994
			EP 0482112 A1	29-04-1992
			JP 4507481 T	24-12-1992
			WO 9117351 A1	14-11-1991