

**PCT**WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales BüroINTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<b>(51) Internationale Patentklassifikation <sup>6</sup> :</b> <b>H01L 41/04, 41/09</b>	<b>A1</b>	<b>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/41791</b>  <b>(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:</b> 19. August 1999 (19.08.99)
<b>(21) Internationales Aktenzeichen:</b> PCT/DE99/00411 <b>(22) Internationales Anmeldedatum:</b> 13. Februar 1999 (13.02.99)  <b>(30) Prioritätsdaten:</b> 198 06 127.7      14. Februar 1998 (14.02.98)      DE  <b>(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US):</b> SIZMANN, Richard [DE/DE]; Unnützstrasse 2/B, D-81825 München (DE).  <b>(71)(72) Anmelder und Erfinder:</b> ZRENNER, Artur [DE/DE]; Nadistrasse 6, D-80809 München (DE).	<b>(81) Bestimmungsstaaten:</b> JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).  <b>Veröffentlicht</b> <i>Mit internationalem Recherchenbericht.  Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>	
<b>(54) Title:</b> METHOD FOR ELECTRICAL CONTROL OF PIEZOELECTRIC OR ELECTROSTRICTIVE ACTUATORS IN DRIVE MECHANISMS FOR STEP-BY-STEP MOTION  <b>(54) Bezeichnung:</b> VERFAHREN ZUR ELEKTRISCHEN ANSTEUERUNG VON PIEZOELEKTRISCHEN ODER ELEKTROSTRIKTIVEN AKTUATOREN IN ANTRIEBEN FÜR EINE SCHRITTWEISE BEWEGUNG  <b>(57) Abstract</b>  The invention aims at improving the method for electrical control of piezoelectric or electrostrictive actuators in displacement and positioning devices so that, for instance, objects can be positioned with greater accuracy in the nm range by varying the step size, whereby the regulated position is maintained in a currentless or idle state. This is achieved in that the electrical voltage signal for controlling the actuator has an appropriate combination of ranges with slow voltage changing speeds and voltage flanks, whereby the voltage ranges of the voltage flanks determine the step size for the voltage signal which can be regulated without varying the operating voltage. The methods are particularly suitable for piezoelectric inertia drives which should have a variable step size and high position accuracy in a currentless state.  <b>(57) Zusammenfassung</b>  Die Erfindung hat sich zur Aufgabe gemacht, Verfahren zur elektrischen Austeuerung von piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuatoren in Verschiebe- und Positioniervorrichtungen zu verbessern, so dass z.B. Objekte mit hoher Genauigkeit im nm-Bereich durch Variation der Schrittweite positioniert werden können, wobei die eingestellte Position im spannungs- und stromlosen Zustand gehalten wird. Die Aufgabe wird dadurch gelöst, dass das elektrische Spannungssignal zur Ansteuerung des Aktuators eine geeignete Kombination aus Bereichen mit langsamen Spannungsänderungsgeschwindigkeiten und Spannungsfanken aufweist, wobei die Spannungshübe der Spannungsfanken die Schrittweite pro Spannungssignal bestimmen, die sich ohne Variation der Betriebsspannung einstellen lassen. Die Verfahren eignen sich insbesondere für piezoelektrische Trägheitsantriebe, die eine variable Schrittweite und hohe Positioniergenauigkeit im stromlosen Zustand aufweisen sollen.		

### LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshjan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

## Beschreibung

### Verfahren zur elektrischen Ansteuerung von piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuatoren in Antrieben für eine schrittweise Bewegung

5

Die Erfindung betrifft Verfahren zur elektrischen Ansteuerung von Antrieben mit piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuatoren für eine schrittweise Bewegung in zB. Verschiebe- und Positioniervorrichtungen. Bei solchen Verschiebe- und Positioniervorrichtungen können Objekte mit geeigneten elektrischen Spannungssignalen sowohl im Bereich der Längenänderung des Aktuators als auch schrittweise, zB. nach dem Trägheitsprinzip, verschoben und positioniert werden.

Die Ansteuerung von piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuatoren, die im folgenden auch nur als Aktuatoren bezeichnet werden und zB. als Scher-, Rohr- oder plättchenförmige Piezoelemente ausgebildet sein können, erfolgt in solchen Antrieben durch ein Spannungssignal, das sich im allgemeinen zumindest aus folgenden Teilen zusammensetzt: Ein Teil des Spannungssignals, zB. die Flanke eines sägezahnartigen Spannungssignals, führt aufgrund einer hohen Spannungsänderungsgeschwindigkeit  $dU/dt$  zu einer stossartigen Längenänderung des piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuators, sodass eine Trägheitskraft  $F=ma$  der Objektmasse  $m$ , die im folgenden als bewegliche, zu positionierende Masse angenommen wird, hervorgerufen wird, die zu einer Verschiebung des Kraftübertragungselements an der Klemmstelle führt. Das Kraftübertragungselement in oder an der Klemmeinrichtung überwindet also die Haftreibung an der Klemmstelle, der Betrag der Verschiebung bestimmt die Schrittweite. Unter Kraftübertragungselement wird im folgenden ein Element verstanden, das fest mit dem Aktuator, der Referenzmasse oder der Objektmasse verbunden ist und die vom Aktuator hervorgerufenen Kräfte, wie zB. Trägheitskräfte auf eine Klemmeinrichtung, die zB. auch nur aus einer Reibfläche für das Kraftübertragungselement bestehen kann, überträgt. Die Referenzmasse wird im folgenden als statisch angenommen.

Ein zweiter Teil des Spannungssignals, zB. der flache Spannungsanstieg bzw. -abfall eines sägezahnartigen Spannungssignals, führt zu einer ausreichend langsamen Längenänderung des piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuators, sodass keine Verschiebung des Kraftübertragungselements in der Klemmeinrichtung zB. aufgrund der zu kleinen

Trägheitskraft der Objektmasse hervorgerufen wird. Dadurch wird die bewegliche Objektmasse verschoben entsprechend der Längenänderung des Aktuators bzw. der Spannungsänderung am Aktuator.

- 5 Unter Spannungssignal  $U(t)$  wird also im folgenden eine zeitliche Spannungsvariation  $U(t)$  als die Signaleinheit verstanden, die am Aktuator angelegt werden muss, um einen Bewegungsschritt des Objekts zu erreichen. Eine zB. periodische Folge von solchen Spannungssignalen führt zu einer Folge von schrittweisen Verschiebungen des Objekts mit einer Verschiebegeschwindigkeit bei gegebenem Spannungssignal, die sich aus der Schrittweite
- 10 pro Spannungssignal multipliziert mit der Wiederholfrequenz ergibt. Die maximal mögliche Wiederholfrequenz beträgt  $2\pi/\Delta T$  mit  $\Delta T$ , dem Zeitintervall für ein Spannungssignal.

Gemäß dem Stand der Technik sind unterschiedliche Verfahren zur elektrischen Ansteuerung von Trägheitsantrieben mit piezoelektrischen Aktuatoren bekannt, die zu einer schrittweisen

- 15 Bewegung führen:

Ein Verfahren, piezoelektrische Aktuatoren in Trägheitsantrieben anzusteuern, ist ein Spannungssignal anzulegen mit zyklidem Spannungsverlauf (Ch.Renner et al., Rev.Sci.Instrum. 61, S965 (1990), DE-OS 39 33 291). Der zyklide Spannungsverlauf führt an den Umkehrpunkten zu einer hohen Beschleunigung der beweglichen Masse in einer

- 20 Richtung und zu einer ausreichend schwachen Beschleunigung in der anderen Richtung, sodass eine schrittweisen Bewegung der Objektmasse erfolgt, wie oben erläutert. Die Nachteile von diesem Verfahren sind das aufwendig zu erzeugende Spannungssignal mit einer quadratischen Zeitabhängigkeit, sowohl bei analog als auch bei digital generierten Signalen. Bei digital generierten Signalen ist ein DA-Wandler mit hoher Wandlerfrequenz nötig, um insbesondere
- 25 bei niedrigen Spannungsamplituden, d.h. bei kleinen Schrittweiten eine ausreichend gut definierte Wellenform zu erzeugen. Die Schrittweite wird bei dieser Signalform über die Spannungsamplitude eingestellt, sodass nachteilig eine Variation der Betriebsspannung und damit auch eine Variation der Signalform zur Einstellung der Schrittweite erforderlich ist.

- 30 Andere Verfahren benutzen sägezahnartige Spannungssignale, um eine schrittweise Bewegung von Trägheitsantrieben zu erreichen (EP 0611 485; US-PS 5,410,206, DE 196 44 550, US 5,589,723). Die grosse Spannungsänderungsgeschwindigkeit  $dU/dt$  der steilen Spannungsflanke erzeugt zB. eine grosse Trägheitskraft der Objektmasse, die die Blockierkraft

des Antriebs übertreffen, wie oben erläutert. Der langsam ansteigende oder abfallende Teil des Spannungssignal führt zu einer Verschiebung des Objekts und in Fig.1 der Patentschrift DE196 44 550 gezeigt. Die sägezahnartigen Spannungssignale in der Patentschrift US 5,589,723 in Fig.25 und 26 bzw. US 5,410,206 in Fig.18 werden mit Hilfe von Steuerverfahren erzeugt, die

5 Konstantstrom-Quellen bzw. Induktivitäten aufweisen. Dadurch wird erreicht, dass der Abschnitt sich langsam ändernder Spannung nach begrenzter Zeit auf Referenzspannung oder Betriebsspannung ist. Der Nachteil dieser Verfahren ist, dass bei dieser Signalform die Schrittlänge pro Sägezahn nur über die Betriebsspannung eingestellt werden kann. Zudem wird bei Abschnitten nach einer e-Funktion sich langsam ändernder Spannung ein relativ langer

10 Zeitraum  $\Delta T$  benötigt, um die Spannung im langsam variierenden Teil des Spannungssignals auf den ursprünglichen Spannungswert hier zB. 0V, die hier auch als Referenzspannung bezeichnet wird, zu bringen, was die Wiederholfrequenz des Spannungssignals und damit die Verschiebegeschwindigkeit der Objektmasse begrenzt, wie oben erläutert. Verkürzt man die Abfallzeit und lässt man den Wert nicht bis zum Ausgangswert abfallen, wird die anliegende

15 Betriebsspannung nachteilig nicht voll genutzt, was die maximal mögliche Schrittweite verkürzt und damit ebenfalls die Verschiebegeschwindigkeit limitiert.

Zur Feineinstellung des Objekts wird häufig nicht die Schrittweite variiert, sondern am piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuator wird eine statische Spannung angelegt (EP

20 0611 485). Nachteilig ist bei diesem Verfahren, dass die Spannung am Aktuator zeitlich einen konstanten Wert aufweisen muss, um die eingestellte Position zu halten. Die eingestellte Position wird also nachteilig nicht im stromlosen bzw. spannungslosen Zustand gehalten.

Zudem sind Verfahren bekannt die zur Ansteuerung von Trägheitsantrieben mit mindestens

25 zwei piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuatoren, deren Bewegung gegenphasig erfolgen muss, um eine schrittweise Bewegung zu erreichen (DE-OS 39 33 296). Dies ist zB. erforderlich, wenn die gegenüberliegenden Seiten der Objektmasse in Bewegungsrichtung mit Aktuatoren versehen sind. Diese gegenüberliegend an der Objektmasse angebrachten Aktuatoren werden einzeln mit Spannungssignalen angesteuert (siehe DE-OS 39 33 296), wie

30 oben erläutert, die zeitlich korreliert und zB. spannungsmässig invertiert sind. Dazu ist nachteilig eine aufwendige Elektronik erforderlich. Zudem sind Doppelstapelantriebe bekannt (EP 0 800 220), die zwar keine Trägheitsantiebe darstellen, aber aufgrund der Anordnung gegensinnig angesteuert werden müssen. Nachteilig ist, dass die Auslenkung des Objekts auf

Längenänderung der Piezoelemente mit der Spannung begrenzt ist. Die eingestellte Position kann nicht im strom- und spannungslosen Zustand gehalten werden. Bei Kraft-Weg-Übersetzungen wie in EP 0 800 220 wird zwar aufgrund der Hebelwirkung ein relativ grosser Verschiebeweg auf Kosten der Einstellgenauigkeit gemäss des Hebelgesetzes erreicht

5

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Trägheitsantriebe zu positionieren, wobei die eingestellte Position im strom- und spannungslosen Zustand gehalten wird und die oben erwähnten Nachteile von den Verfahren vermindert oder beseitigt werden.

- 10 Die Aufgabe wird mit den erfindungsgemässen Verfahren gelöst. Nach Anspruch 1 weist das Spannungssignal  $U(t)$  zur Ansteuerung von piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuatoren zB. in Trägheitsantrieben vorteilhaft eine Kombination von zumindest einer ansteigenden und zumindest einer abfallenden Spannungsflanke auf mit zB. unterschiedlich grossen Spannungshüben  $\Delta U$ . Diese Spannungsflanken besitzen eine
- 15 Spannungsänderungsgeschwindigkeit  $dU/dt$ , die am piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuator eine stossartige Längenänderung hervorruft, sodass zB. aufgrund der Trägheitskraft  $F=ma$  der Objektmasse  $m$  eine Verschiebung des Kraftübertragungselements in oder an der Klemmeinrichtung des Antriebs ermöglicht wird. Neben dem oben erwähnten Spannungsflanken weist das Signal vorteilhaft auch zB. einen Bereich mit ausreichend langsam
- 20 abfallender oder ansteigender Spannung auf, in dem die Trägheitskraft der beweglichen Objektmasse zu keiner Verschiebung des Kraftübertragungselements in oder an der Klemmeinrichtung des Antriebs führt. In diesem Signalbereich verschiebt sich die bewegliche Objektmasse, zB. der Läufer eines Positioniertisches, entsprechend der Längenänderung des Aktuators bzw. der Spannungsänderung am Aktuator. Vorteilhaft ergibt sich die Schrittweite
- 25 pro Spannungssignal aus der Differenz der Spannungshübe  $\Delta U$ , die bestimmt werden durch die ansteigenden und abfallenden Spannungsflanken. Mit derartigen Spannungssignalen können zB. Rohr-, Scherpiezoelemente oder plättchenartige Vielschichtpiezoelemente angesteuert werden.

Das oben Gesagte gilt analog auch für äquivalente Signalformen, zB. kann das

- 30 Spannungssignal zuerst eine abfallende und anschliessend eine ansteigende Spannungsflanke besitzen oder mehrere ansteigende und/oder abfallende Spannungsflanken mit verschiedenen Krümmungen und mit mehreren Bereichen langsamer Spannungsänderungsgeschwindigkeiten aufweisen. Die Betriebsspannung kann positive wie negative Werte annehmen. Zudem wird der

Aktuator meistens mit einer periodischen Folge von Spannungssignalen angesteuert, um die bewegliche Masse über einen Bereich schrittweise mit einer von der Wiederholfrequenz und Schrittweite abhängigen Geschwindigkeit zu verschieben.

- 5 Vorteilhaft kann nach Anspruch 2 bei einem solchen Spannungssignal die Höhe der Spannungsflanken eingestellt werden, um Schrittweiten zB. eines piezoelektrischen Trägheitsantriebs zu variieren ohne die Betriebsspannung zu ändern. Das ermöglicht, insbesondere eine Positionierung des Objekts mit einer Genauigkeit im Nanometerbereich vorzunehmen. Die Schrittweite pro Spannungssignal ergibt sich vorteilhaft aus der Differenz
- 10 der Spannungshübe  $\Delta U$  der ansteigenden und abfallenden Spannungsflanken im Spannungssignal. D.h. es muss, wie erwähnt, vorteilhaft nicht die Betriebsspannung variiert werden, um die Schrittweite zu variieren, sondern nur eine geeignete Differenz der Spannungshübe der beiden Spannungsflanken eingestellt werden mit zB. einem Bereich langsamer Spannungsänderungsgeschwindigkeit zwischen den Spannungsflanken. Dies
- 15 erfordert vorteilhaft keine aufwendige Elektronik. Von Vorteil ist auch, dass die eingestellte Position des Objekts durch dieses Positionierverfahren im strom- und spannungslosen Zustand gehalten wird im Gegensatz zu einer Positionierung mit einer statischen Spannung am Aktuator.
- 20 Nach Anspruch 3 kann es vorteilhaft sein, den Spannungshub  $\Delta U$  zumindest einer Spannungsflanke so klein zu wählen, dass das Kraftübertragungselement in der Klemmstelle nicht verschoben wird. Aufgrund der Spannungsänderungsgeschwindigkeit  $dU/dt$  der Spannungsflanke würde zB. die Trägheitskraft der Objektmasse ausreichen, eine Verschiebung hervorzurufen. Der Spannungshub wird vorteilhaft aber, wie erwähnt, so klein gewählt, dass
- 25 die Längenänderung des Aktuator kleiner ist als die mindestens erforderliche Längenänderung, um eine Verschiebung des Kraftübertragungselements in der Klemmung zu erreichen. Der Schwellenwert für die mindestens erforderliche Längenänderung ist eine Systemgröße des Antriebs und wird zB. durch die Steifigkeit der Antriebselemente bestimmt. Mit einer solchen Spannungsflanke in Bereich des Signals mit langsamer Spannungsänderungsgeschwindigkeit
- 30 wird erreicht, dass innerhalb eines kürzeren Zeitintervalls des Spannungssignal  $\Delta T$  die Referenzspannung oder die Betriebsspannung erreicht wird ohne nachteilig in diesem Bereich eine Verschiebung hervorzurufen als ohne diese Spannungsflanke. Das ermöglicht vorteilhaft

eine hohe Wiederholffrequenz für ein solches Spannungssignal, wie oben erläutert, und damit eine hohe Verschiebegeschwindigkeit des Antriebs.

- Nach einem vorteilhaften Verfahren in Anspruch 4 weist das Spannungssignal eine
- 5 Kombination von zumindest einen Bereich mit langsam ansteigender bzw. abfallender Spannung und einer an den Bereich anschliessenden ansteigenden bzw. abfallenden Spannungsflanke, die zB, das Spannungssignal auf Betriebsspannung bzw. Referenzspannung schaltet, auf. Im Bereich langsam variierender Spannung bzw. an der Spannungsflanke wird durch die Spannungsänderungsgeschwindigkeits keine bzw. eine Verschiebung des
- 10 Kraftübertragungselements in oder an der Klemmeinrichtung hervorgerufen. Die Höhe des Spannungshubs der Spannungsflanke wird gesteuert durch den Bereich mit langsam variierender Spannung. Vorteilhaft kann durch das Zusammenwirken bzw. durch die Kombination des Bereichs langsam variierender Spannung und der Spannungsflanke die Schrittweite, die durch die Spannungsflanke hervorgerufen wird, eingestellt werden, ohne die
- 15 Betriebsspannung zu variieren. Die Spannungsänderung in dem Bereich mit langsam variierender Spannung wird im wesentlichen bestimmt zB. durch ein RC-Glied bestehend aus Lade- bzw. Entladewiderstand R und Kapazität C des Piezoelements. Bei Steuerung der Schrittweite mit gleicher die Lade- bzw. Entladezeit ist die Spannungsänderung beim Laden gleich der beim Entladen des Piezoelements, unabhängig von der Kapazität der Piezoelements.
- 20 Dadurch wird vorteilhaft erreicht, dass die Spannungshübe der Spannungsflanken und damit die dadurch hervorgerufene Schrittweite für beide Bewegungsrichtungen unabhängig von der Kapazität des Piezoelements im wesentlichen gleich gross sind.

- Nach Anspruch 5 kann es vorteilhaft sein, dass ein Spannungssignal nach Anspruch 4
- 25 zumindest zwei Bereiche mit zB. einer langsam zunehmenden bzw. abnehmenden Spannungsänderung und einer nachfolgenden ansteigender bzw abfallender Spannungsflanke aufweist. Durch Einstellen der Beladezeit relativ zur Entladezeit der Kapazität des Aktuators kann die Schrittweite und Bewegungsrichtung eingestellt werden. Diese Zeiten lassen sich zB. digital über einen MOS-FET-Transistor als Schalter einfach einstellen und steuern.

30

Ein vorteilhaftes Verfahren zur Feinpositionierung des Objekts im Nanometerbereich ist im Anspruch 6 angegeben, wobei die Position des Objekts im spannungs- und stromlosen Zustand gehalten wird. Das Spannungssignal weist vorteilhaft eine Kombination von zumindest einen

Bereich, indem die Länge des Aktuators mit einer Spannung, zB. per Hand über ein Potentiometer oder per Maus oder Joystick über Computer, eingestellt oder eingeregelt wird, bis das Objekt sich in der richtigen Position befindet, und von zumindest einer Spannungsflanke auf. Nach dem Positionieren wird vorteilhaft die Spannung am Aktuator mit der

5 Spannungsflanke abgeschaltet. Die Spannungsänderungsgeschwindigkeit der Spannungsflanke wird so gross gewählt, dass zB. die Trägheit der Objektmasse eine Verschiebung des Kraftübertragungselements in der Klemmeinrichtung oder an einer Reibungsfläche hervorruft. Das Objekt wird also durch das Abschalten der Spannung mit der Spannungsflanke vorteilhaft im wesentlichen in der eingestellten Position bleiben, wobei der Aktuator sich in einem

10 spannungs- und stromlosen Zustand befindet. Es muss vorteilhaft keine zeitlich konstante Spannung angelegt werden, um die Position zu halten. Dieses Verfahren erlaubt die genauest mögliche Positionierung des Objekt im spannungs- und stromlosen Zustand, die mit einer gegebenen Positioniervorrichtung erreichbar ist. Systemparameter von Positioniervorrichtungen, wie Steifigkeit des Kraftübertragungselements usw. begrenzen die

15 Genauigkeit. Die Schrittweite wird also vorteilhaft während der Positionierung des Objekts mit der einstellbaren oder regelbaren Spannung festgelegt, bevor der Aktuator durch eine Spannungsflanke in einen stromlosen Zustand überführt wird.

Zur Feinpositionierung des Objekts kann es erforderlich sein, vorteilhaft zuerst den Aktuator

20 zB. zu dehnen durch eine Spannungsflanke, wie in Anspruch 7 angegeben, sodass das Kraftübertragungselement zB. durch die Trägheit der Objektmasse in der Klemmstelle verschoben wird. Anschliessend wird mit dem in Anspruch 6 angegebenen Verfahren die Position des Objekts eingestellt und der Aktuator mit einer entsprechenden Spannungsflanke in einen spannungs- und stromlosen Zustand überführt.

25 Bei der Überführung des Aktuators mit einer Spannungsflanke in einen stromlosen Zustand nach Anspruch 6, kann es zu systematischen Verschiebungen kommen, insbesondere wenn zB. die Trägheit der Objektmasse, hervorgerufen durch die Spannungsflanke, nicht sehr gross ist gegen die Klemmkraft des Kraftübertragungselements. Diese systematischen Abweichungen

30 können vorteilhaft nach Anspruch 8 durch eine geeignet eingestellte Spannungsänderung vor dem Abschalten der Spannung mit einer Spannungsflanke zumindest teilweise kompensiert werden. Das Objekt wird also mit einer einstellbaren Spannung positioniert, vor dem Abschalten der Spannung mit der Spannungsflanke nach Anspruch 6 wird die eingestellte

Spannung nach Anspruch 8 geändert, sodass die Verschiebung des Objekts durch die Spannungsflanke durch eine entsprechend geänderte Länge des Aktuators vorteilhaft möglichst vollständig ausgeglichen wird. Mit diesem Verfahren lässt sich die Positioniergenauigkeit des Antriebs verbessern.

5

Ein weiteres vorteilhaftes Verfahren zur Kompensation von systematischen Verschiebungen beim Abschalten der Spannung über eine Spannungsflanke nach Anspruch 6 ist in Anspruch 9 angegeben. Für Antriebe, bei welchen diese Verschiebung im wesentlichen unabhängig ist von dem Spannungshub der Spannungsflanke und diese Verschiebung für ansteigende und 10 abfallende Spannungen im wesentlichen betragsmässig gleich, richtungsmässig aber entgegengesetzt ist, kann die Verschiebung wie folgt kompensiert werden: Nach Positionierung des Objekts mit einer einstellbaren Spannung, wie in Anspruch 6 erläutert, wird die Spannung vorteilhaft erst mit einer Spannungsflanke erhöht, bevor sie mit einer Spannungsflanke abgeschaltet wird. Dadurch kann zumindest ein Teil der Verschiebung des 15 Objekts durch eine abfallende Spannungsflanke kompensiert werden.

Ein vorteilhaftes Verfahren zur Ansteuerung von zumindest zwei Aktuatoren mit gegenphasiger, zeitlich korrelierter Bewegung ist in Anspruch 10 angegeben, das vorteilhaft auch mit obigen Verfahren zur Ansteuerung kombiniert werden kann. Gegenphasige zeitlich 20 korrelierte Bewegung ist zB. für Aktuatoren erforderlich, die an den gegenüberliegenden Seiten des Objekts in Bewegungsrichtung, zB. eines Läufers von einem Positioniertisch, angebracht sind. Erfindungsgemäss werden dazu die zumindest zwei Aktuatoren elektrisch in Serie geschaltet und eine Vorspannung, zB. die Betriebsspannung angelegt. Aktuatoren die eine gleichphasige Bewegung durchführen müssen werden parallel geschaltet. Das 25 Spannungssignal zur Ansteuerung der Aktuatoren, zB. ein Signal wie oben erläutert, wird vorteilhaft auf die Kontakte der Aktuatoren gegeben, die elektrisch miteinander verbunden sind. Dadurch wird vorteilhaft erreicht, dass die Ansteuerung der Aktuatoren mit nur einem Spannungssignal erfolgen kann und die Aktuatoren gegenphasig und zeitlich richtig korreliert die Länge ändern ohne aufwendige Steuerelektronik.

30

Nach Anspruch 11 ist es vorteilhaft, die Vorspannung in Anspruch 10 vor dem Anlegen des Spannungssignals anzuschalten und nach dem Signal abzuschalten, da es beim An- und Abschalten der Vorspannung zu einer Verschiebung der Objektmasse kommen kann.

Vorteilhaft sind die Aktuatoren dann nach jedem Schritt in einem spannungs- und stromlosen Zustand, die eingestellte Position ohne Spannung gehalten werden.

Nach Anspruch 12 ist es vorteilhaft, die Vorspannung mit Spannungsflanken zu- oder  
5 abzuschalten, wobei die Spannungsänderungsgeschwindigkeit so gross gewählt wird, dass sich die Objektmasse zB. aufgrund der auftretenden Trägheitskräfte im wesentlich nicht bewegt, sondern das bzw. die Kraftübertragungselement bzw. -elemente in der bzw. den Klemmeinrichtung bzw. -einrichtungen. Dadurch wird vorteilhaft erreicht, dass die Verschiebung beim Zu- oder Abschalten der Vorspannung möglichst klein gehalten wird.

10

Vorteilhaft wird nach Anspruch 13 die Vorspannung so angelegt, dass sie zB. über den Aktuator von den mindestens zwei Aktuatoren abfällt, der die kleinere Klemmkraft des Kraftübertragungselements in der Klemmeinrichtung aufweist. Bei mehreren Aktuatoren wird die Vorspannung vorteilhaft an die Gruppe von parallel geschalteten Aktuatoren angelegt, die  
15 im Vergleich zur anderen Gruppe in der Summe die kleinere Klemmkraft der Kraftübertragungselemente in den Klemmeinrichtungen aufweist. Dadurch wird erreicht, dass beim Ein- und Ausschalten der Vorspannung die Objektmasse nicht verschiebt. Vorteilhaft bleibt die Objektmasse nach diesem Verfahren in der Position, die durch die Spannungssignale eingestellt worden ist.

20

Die erzielbaren Vorteile werden an den nun folgenden Ausführungsbeispielen erläutert. In den Zeichnungen wird die Erfindung beispielsweise veranschaulicht und zwar zeigen  
- die Figur 1a bis 1d wie ein Aktuator in einem Trägheitsantrieb mit erfindungsgemässen Spannungssignal angesteuert wird, um eine schrittweise Bewegung zu erreichen.  
25 - die Figur 2a und 2b Spannungssignale mit gleicher Betriebsspannung aber unterschiedlicher Schrittweite.  
- die Figur 3a und 3b Spannungssignale mit gleicher Betriebsspannung und gleicher Schrittweite, aber mit unterschiedlich langen Zeitintervallen.  
- die Figur 4a bis 4c Spannungssignale, bei denen der Spannungshub einer Spannungsflanke  
30 durch eine Bereich mit langsam variierender Spannung gesteuert wird.  
- die Figur 5a bis 5c erfindungsgemässe Spannungssignale zur Feinpositionierung eines piezoelektrischen oder elektrostriktiven Antriebs.

- die Figur 6a und 6b einen Messtisch mit piezoelektrischen Trägheitsantrieb, wobei die Aktuatoren für eine schrittweise Bewegung eine gegenphasige Längenänderung durchführen müssen.
- die Figur 7a und 7b Vorspannung und Spannungssignale zum Ansteuern von Aktuatoren.
- 5 -die Figur 8 einen schematischen Schaltplan, zum Erzeugen von den erfindungsgemässen Spannungssignalen.

In Fig. 1a bis 1d ist die Bewegung eines Trägheitsantriebs in Abhängigkeit von einem erfindungsgemässen Spannungssignal  $U(t)$  1 schematisch dargestellt. In diesem Beispiel setzen  
10 sich die Spannungssignale 1, 1' aus folgenden Teilen zusammen:

Einer Referenzspannung 5, die als 0V angenommen wird, einer Betriebsspannung 6, die positive oder negative Spannungswerte relativ zur Referenzspannung haben kann, der ansteigenden Spannungsflanken 2, der abfallenden Spannungsflanken 3 und einem Bereich mit einer langsam variierender Spannung 4. Der Trägheitsantrieb besteht aus einem  
15 piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuator 7 mit einer zu positionierenden Objektmasse 9 und einem Kraftübertragungselement 8, das sich in einer Klemmvorrichtung 10 befindet. Die Klemmvorrichtung 10 ist mit der Referenzmasse 11 verbunden, die als ortfest angenommen wird. Die elektrischen Anschlüsse des Aktuators 7 sind übersichtshalber nicht eingezeichnet. In Fig.1a liegt keine Spannung am Aktuator 7 an. Nun wird eine Spannungsflanke 2 auf den  
20 Aktuator 7 gegeben, wie in Fig.1b gezeigt, mit einer Spannungsänderungsgeschwindigkeit der Spannungsflanke 2, die vorteilhaft so gross gewählt, dass die Trägheitskraft der zu positionierenden Objektmasse 9 eine Verschiebung des Kraftübertragungselements 8 in der Klemmeinrichtung 10 hervorruft.

Anschliessend wird in Fig.1c eine langsam abfallende Spannung 4 am Aktuator 7 angelegt mit  
25 einer Spannungsänderungsgeschwindigkeit der Spannung 4, die vorteilhaft so gewählt ist, dass die Trägheitskraft der zu positionierenden Objektmasse 9 nicht ausreicht eine Verschiebung des Kraftübertragungselements 8 in der Klemmeinrichtung 10 hervorzurufen. Durch die Längenänderung des Aktuators 7 mit der Spannungsänderung 4 verschiebt sich die Objektmasse 9, wie in Fig.1c gezeigt.

30 In Fig.1d wird nun die Spannung 4 mit der Spannungsflanke 3 am Aktuator 7 auf Referenzspannung 0V 5 gebracht. Die Spannungsänderungsgeschwindigkeit der Spannungsflanke 3 wird vorteilhaft so gross gewählt, dass die Trägheitskraft der zu positionierenden Objektmasse 9 eine Verschiebung des Kraftübertragungselements 8 in der

Klemmeinrichtung 10 hervorruft und sich die Objektmasse 9 im wesentlichen nicht bewegt, wie in Fig. 1d dargestellt. Vorteilhaft ergibt sich die Schrittweite der Verschiebung der Objektmasse pro Spannungssignal 1 aus der Differenz der Spannungshübe der Spannungsflanken 2 und 3. Das Spannungssignal 1 kann periodisch mit einer gewissen Wiederholfrequenz am Aktuator 7 angelegt werden, um eine einstellbare Verschiebegeschwindigkeit der Objektmasse 9, die sich aus Schrittweite mal Wiederholfrequenz ergibt, zu erreichen.

Vorteilhaft kann durch Einstellen der Spannungsdifferenzen der Spannungsflanken 2 und 3 die Schrittweite pro Spannungssignal 1, 1' eingestellt werden ohne die Betriebsspannung variieren zu müssen, wie in Fig. 2a und 2b gezeigt. Die Spannungssignale 1, 1' auf der linken Seite von Fig. 2a und 2b erzeugen einen grösseren Verschiebeschritt der Objektmasse 9 pro Spannungssignal 1 als die Signale 1, 1' auf der rechten Seite. Vorteilhaft kann also eine genaue Positionierung des Objekts 9 mit diesem Verfahren vorgenommen werden, die Position wird dann im spannungslosen bzw. stromlosen Zustand der Aktuatoren 7 gehalten. Die Spannungssignale 1' in Fig. 2b unterscheiden sich von den Spannungssignalen 1 in Fig. 2a dadurch, dass sie das Objekt 9 in die entgegengesetzte Richtung bewegen, wie in Fig. 1a-d gezeigt.

Vorteilhaft kann nach Fig. 3a und 3b eine Spannungsflanke 2' oder 3 dazu genutzt werden, das Zeitintervall T' auf das Zeitintervall T zu verkürzen, ohne die Gesamtschrittweite zu ändern im Vergleich zu einem Spannungssignal ohne die Spannungsflanken 2' oder 3 (gestrichelte Linien). Die Spannungshübe der Spannungsflanken 2' und 3 müssen so klein gewählt werden, dass die Längenänderung des Aktuators 7 nicht ausreicht, das Kraftübertragungselement 8 in der Klemmvorrichtung 10 zu verschieben aufgrund der nicht unendlich grossen Steifigkeit des Antriebs. Auf diese Weise kann vorteilhaft die Spannung des Spannungssignals 1, 1' schnell wieder auf die Referenzspannung 5 gebracht werden, ohne die Schrittweite zu verkürzen. Die maximale Wiederholfrequenz erhöht sich von  $2\pi/T'$  auf  $2\pi/T$  und damit vorteilhaft die maximale Verschiebegeschwindigkeit.

In den Fig. 4a und 4b sind Spannungssignale 1, 1' gezeigt, die einen Bereich 4'', 4''' mit einer Spannungsänderungsgeschwindigkeit aufweisen, die zu keiner Verschiebung des Kraftübertragungselements 8 in oder an der Klemmeinrichtung 10 des Antriebs führt, und einer sich daran anschliessenden Spannungsflanke 2, 3'. Die Spannungshub der

Spannungsflanke 2, 3' wird vorteilhaft über die Spannungsänderung im Bereich 4'', 4''' gesteuert und damit die durch die Spannungsflanke 2, 3' hervorgerufene Schrittweite. Die Schrittweite pro Spannungssignal 1,1' rechts in Fig.4a und 4b kürzer als die pro Signal 1,1' links. Vorteilhaft wird die Spannungsänderung im Bereich 4'' bzw. 4''' gesteuert über die Lade- bzw. Entladezeit. Unabhängig von der Kapazität C des Piezoelements 7, bedingt durch im wesentlichen gleiche RC-Konstanten, mit R einem Lade- bzw. Entladewiderstand, erhält man dann gleich grosse Spannungsänderungen im Bereich 4'' und 4''', und damit in beiden Bewegungsrichtungen (vgl. Fig.4a und Fig.4b) im wesentlichen gleich grosse Schrittweiten durch die Spannungsflanken 2, 3'. Vorteilhaft kann die Lade- und Entladezeit zB. digital mit einem MOSFET als Schalter eingestellt werden, wie zB. in Fig.8 gezeigt.

Das Spannungssignal 1' in Fig.4c weist vorteilhaft zwei Bereiche 4' bzw. 4''' mit der sich daran anschliessenden Spannungsflanke 2' bzw. 3' auf. Die Schrittweite und die Bewegungsrichtung kann bei einem solchen Signal 1' in Fig.4c über die Beladezeit  $t_1$  und die Entladezeit  $t_2$  eingestellt werden, ohne die Betriebsspannung 6 variieren zu müssen. Für  $t_1 > t_2$  bewegt sich der Antrieb in die entgegengesetzte Richtung als für  $t_1 < t_2$ . Die Grösse der Differenz  $|t_1 - t_2|$  bestimmt im wesentlichen die Schrittweite des Antriebs pro Spannungssignal 1'.

Fig. 5a bis 5c zeigen erfindungsgemässe Spannungssignale 1'', die sich insbesondere zur Feinpositionierung von Objekten 9 eignen. Die Feinpositionierung des Objekts 9 erfolgt im Bereich der Längenänderung des Aktuators 7 mit einer einstellbaren oder regelbaren Spannung 4'''' des Spannungssignals 1'', zB. per Hand über ein Potentiometer oder über Joystick per Computer. Entscheidend ist, dass vorteilhaft nach Justierung mit einer Spannung 4'''' , die Spannung am Aktuator 7 mit einer Spannungsflanke 3'' auf Referenzspannung 5 gebracht wird, d.h. es liegt nach dem Positioniervorgang keine Spannung am Aktuator 7 an. Die Spannungsänderungsgeschwindigkeit der Spannungsflanke 3'' wird vorteilhaft so gross gewählt, dass zB. die Trägheitskraft der zu positionierenden Objektmasse 9 eine Verschiebung des Kraftübertragungselements 8 in der Klemmeinrichtung 10 hervorruft und sich die Objektmasse 9 im wesentlichen nicht bewegt.

Die mit der Spannung 4'''' eingestellte Position des Objekts 9 wird vorteilhaft nach Abschalten der Spannung am Aktuator 7 im spannungs- und stromlosen Zustand gehalten. Dieses Verfahren erlaubt eine Feinpositionierung im Nanometerbereich bzw. eine sehr genaue

Positionierung im stromlosen Zustand, die nur aufgrund zB. der Mechanik und Steifigkeit des Antriebs begrenzt ist.

Zur Feinpositionierung des Objekts 9 kann es erforderlich und vorteilhaft sein, den Aktuator 7  
5 zuerst zB. mit einer ansteigenden Spannungsflanke 2'' auf die Spannung 6' zu dehnen, um  
dann eine Feineinstellung in die Bewegungsrichtung vorzunehmen, wie in Fig. 1a-d angegeben.  
Die Spannungsänderungsgeschwindigkeit der Spannungsflanke 2'' ist vorteilhaft so gross  
gewählt, dass die Trägheitskraft der zu positionierenden Objektmasse 9 eine Verschiebung des  
Kraftübertragungselements 8 in der Klemmeinrichtung 10 hervorruft und sich die Objektmasse  
10 9 im wesentlichen nicht bewegt. Anschliessend wird, wie oben erläutert, das Objekt 9 mit der  
Spannung 4'''' feinpositioniert, und schliesslich die Spannung 4'''' mit der Spannungsflanke 3''  
am Aktuator 7 abgeschaltet. Ein solches Spannungssignal 1'' ist in Fig. 5b gezeigt. Mit den  
Spannungssignalen 1'' in Fig. 5a wird eine Feinpositionierung für einen Antrieb, wie in Fig. 1a-d  
schematisch gezeigt, genau in die entgegengesetzte Richtung, wie für das Spannungssignal 1''  
15 in Fig. 5b, vorgenommen.

Beim Abschalten der Spannung 4'''' am Aktuator 7 mit der Flanke 3'' kann es systembedingt  
zu einer Verschiebung der Objektmasse 9 kommen, wodurch die Positioniergenauigkeit  
begrenzt wird. Diese Verschiebung kann kompensiert werden durch eine Spannungsänderung  
20 3''', die die Länge des Aktuators 7 um den Betrag ändert, der beim Abschalten der Spannung  
4'''' durch die Spannungsflanke 3'' als Verschiebung zu erwarten ist. Solche Spannungssignale  
1'' sind in Fig. 5c gezeigt. Mit diesem Verfahren lassen sich systembedingte Verschiebungen  
durch die Spannungsflanke 3'' des Antriebs zumindest teilweise kompensieren und die  
Einstellgenauigkeit erhöhen.

25

In Fig. 5a, rechtes Signal 1'', wird eine Verschiebung durch die Spannungsflanke 3'' mit einer  
Spannungsflanke 3'''' zumindest teilweise kompensiert. Dieses Verfahren eignet sich dann  
vorteilhaft, wenn die auftretende Verschiebung betragsmässig unabhängig ist von der Höhe des  
Spannungshubes der ansteigenden 3'''' und der abfallenden Spannungsflanke 3'' ist, aber  
30 richtungsmässig verschieden ist. Der Aktuator 7 wird zB. von der eingestellten Spannung 4''''  
auf Betriebsspannung 6 geschaltet mit der Spannungsflanke 3'''' und anschliessend mit der  
Spannungsflanke 3'' abgeschaltet, wie in Fig. 5a im rechten Signal 1'' gezeigt.

In Fig. 6a und 6b ist ein Verschiebetisch mit einem Läufer 9 gezeigt, der als das zu verschiebende Objekt 9 fest durch drei Kraftübertragungselemente 8 über die Klemmeinrichtung 10 am Stator als Referenzmasse 11 eingespannt ist. Diese Anordnung führt vorteilhaft zu einer absoluten Spielfreiheit des Läufers 9. Zur Verschiebung des Läufers 9 muss  
5 eine zeitlich und spannungsmässig korrelierte Ansteuerung der Aktuatoren 7, 7' erfolgen. Die piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuatoren 7 und 7' müssen so angesteuert werden, dass der Aktuator 7 im Vergleich zu den Aktuatoren 7' eine gegenphasige Bewegung, d.h. Längenänderung durchführt, um den Läufer 9 zu bewegen. Erfindungsgemäss werden die Aktuatoren 7 und 7' elektrisch in Serie  
10 geschaltet, wie durch die elektrischen Leitungen 14 dargestellt. Die Aktuatoren 7' führen eine gleichphasige Bewegung durch und sind daher elektrisch parallel geschaltet. Zwischen den Anschlüssen 13 und 13' wird die Vorspannung 15, die vorzugsweise der Betriebsspannung 6 entspricht, angelegt. Vorteilhaft wird das Spannungssignal 1''' auf die Anschlüsse 12, 12' der Aktuatoren 7, 7' gegeben, die elektrisch verbunden sind. Mit diesem erfindungsgemässen  
15 Verfahren wird erreicht, dass mit einem Signal 1''' die drei Aktuatoren 7, 7' zeitlich richtig angesteuert werden: Der Aktuator 7 wird kontrahiert, wenn die Aktuatoren 7' durch das Spannungssignal 1''' gedehnt werden und umgekehrt, um zB. eine schrittweise Bewegung des Läufers 9 zu erreichen.

20 Vorteilhaft fällt die Vorspannung 15 am Aktuator 7 ab, ohne Spannungssignal 1''' liegen 12 und 12' auf Referenzspannung 5. Ohne Signal 1''' liegt also keine Spannung den Aktuatoren 7' an. Zudem wird angenommen, dass die Summe der Klemmkräfte der Kraftübertragungselemente 8, die mit den Aktuatoren 7' verbunden sind, grösser sind als die Klemmkraft des Kraftübertragungselements 8 von Aktuator 7. Unter diesen Bedingungen  
25 verschiebt sich vorteilhaft beim Ein- und Ausschalten der Vorspannung 15 das Kraftübertragungselement 8 von Aktuator 7, der Läufer 9 wird vorteilhaft nicht verschoben.

Fig.7a und 7b zeigen, wie das Spannungssignal 1''' und die Vorspannung 15 vorteilhaft zeitlich geschaltet werden können. In Fig.7a wird die Vorspannung 15 mit Spannungsflanken 15' und  
30 15'' ein- und ausgeschaltet, wobei die Spannungsänderungsgeschwindigkeit der Spannungsflanken 15' und 15'' vorteilhaft so gross gewählt ist, dass zB. die Trägheit der Objektmasse 9 eine Verschiebung der Kraftübertragungselemente 8 in den Klemmeinrichtungen 10 bewirkt. Dadurch wird erreicht, dass beim Ein- und Ausschalten der

Vorspannung 15 weitgehend eine Verschiebung der Objektmasse vermieden wird, die Position des Objekts 9 wird im wesentlichen durch das Spannungssignal  $1'''$  eingestellt.

Fig.7b zeigt Vorspannung 15 und Signalspannung  $1'''$  für den Fall, dass die Vorspannung 15 vor dem Anfang des Signals  $1'''$  eingeschaltet und nach dem Ende des Signals  $1'''$

5 ausgeschaltet wird. Nach jedem Schritt ist die Objektmasse 9 vorteilhaft im spannungs- und stromlosen Zustand positioniert, eine Verschiebung der Objektmasse 9 durch das Ein- und Ausschalten der Vorspannung 15 kann einfach zur Verschiebung der Objektmasse 9 durch das Spannungssignal  $1'''$  hinzuaddiert werden, um so die Gesamtverschiebung pro Signaleinheit zu erhalten.

10

Fig. 8 zeigt einen schematischen Schaltplan mit vier MOSFET-Transistoren M1,M2,M3,M4, den Belade- R1 und Entladewiderstand R2 zB. mit  $R1 = R2$ , sowie die Kapazität  $7''$  als Ersatzschaltbild für einen piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuator 7. Die MOSFET-Transistoren M1-M4 können direkt mit einem digitalen Signal über die Gate-Elektrode

15 geschaltet werden. Bereiche, zB.  $4,4',4''$ , im Spannungssignal 1 mit langsam ansteigenden bzw. abfallenden Spannungsänderungsgeschwindigkeiten können mit R1 und M1 bzw. R2 und M2, ansteigende bzw. abfallende Spannungsflanken, zB.  $2,3$ , können mit M3 bzw. M4 erzeugt werden. Die Spannungssignale  $1''$  in Fig.5a bis 5c lassen sich zB. im Bereich  $4''''$  durch Einstellen des Widerstandswerts von R1 und/oder R2 bei durchgeschalteten M1 und M2

20 erzeugen, wobei R1 und/oder R2 in diesem Fall zB. Potentiometer darstellen.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur elektrischen Ansteuerung zumindest eines piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuators in einem Antrieb, der zumindest ein Kraftübertragungselement und
- 5 zumindest eine Klemmeinrichtung aufweist, mit einem elektrischen Spannungssignal, das an den piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuator angelegt wird, und das pro Periode aufweist:
- mindestens eine Flanke mit einer grossen Steilheit, die das Kraftübertragungselement in der Klemmeinrichtung durchrutschen lässt,
  - 10 - mindestens einen Abschnitt langsam variierender Spannung, die einen Reibschluss des Kraftübertragungselements in der Klemmeinrichtung ermöglicht, dadurch gekennzeichnet, dass das elektrische Spannungssignal (1, 1') zumindest eine ansteigende Spannungsflanke (2, 2') und zumindest eine abfallende Spannungsflanke (3, 3') mit unterschiedlicher Amplitude
  - 15 aufweist, wobei zwischen den Flanken (2, 2' bzw. 3, 3') das Spannungssignal (1, 1') einen Abschnitt (4) langsam variierender Spannung aufweist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass
- 20 die durch das elektrische Spannungssignal (1, 1') hervorgerufene Schrittweite über die Differenz der Spannungshübe der zumindest einen ansteigenden Spannungsflanke (2, 2') und der zumindest einen abfallenden Spannungsflanke (3, 3') eingestellt wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass
- 25 die Längenänderung des Aktuators (7), die durch die kleinere Spannungsflanke (2, 2' bzw. 3, 3') hervorgerufen wird, kleiner als die Mindestlängenänderung des Aktuators (7) ist, die erforderlich ist, um ein Durchrutschen des Kraftübertragungselements (8) in der Klemmstelle (10) hervorzurufen.

4. Verfahren zur elektrischen Ansteuerung eines piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuators in einem Antrieb mit einem elektrischen Spannungssignal, das an den piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuator angelegt wird, dadurch gekennzeichnet, dass
- 5 das elektrische Spannungssignal (1, 1') zumindest einen Bereich (4'', 4''') mit einer Spannungsänderungsgeschwindigkeit, die keine Verschiebung des Kraftübertragungselements (8) in oder an der Klemmeinrichtung (10) hervorruft, und eine an den Bereich (4'', 4''') nachfolgende Spannungsflanke (2, 3') mit einer Spannungsänderungsgeschwindigkeit, die eine Verschiebung des Kraftübertragungselements (8) in oder an der Klemmeinrichtung (10)
- 10 hervorruft, aufweist, wobei die Spannungshub der Spannungsflanke (2, 3') über den Bereich (4'', 4''') eingestellt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass
- 15 das elektrische Spannungssignal (1, 1') zumindest einen weiteren Bereich (4') mit einer Spannungsänderungsgeschwindigkeit, die keine Verschiebung des Kraftübertragungselements (8) in oder an der Klemmeinrichtung (10) hervorruft, und eine an den Bereich (4') nachfolgende Spannungsflanke (2') mit einer Spannungsänderungsgeschwindigkeit, die eine Verschiebung des Kraftübertragungselements (8) in oder an der Klemmeinrichtung (10)
- 20 hervorruft, aufweist, wobei die Spannungshub der Spannungsflanke (2') über den Bereich (4') eingestellt wird.
6. Verfahren zur elektrischen Ansteuerung eines piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuators in einem Antrieb mit einem elektrischen Spannungssignal, das an den
- 25 piezoelektrischen oder elektrostriktiven Aktuator angelegt wird, dadurch gekennzeichnet, dass
- das elektrische Spannungssignal (1'') zumindest einen Bereich (4''') aufweist, in dem zur Positionierung des Objekts (9) die Längen des Aktuators (7) mit einer Spannung eingestellt wird, und zumindest eine Spannungsflanke (3'') aufweist, die die Spannung am Aktuator (7)
- 30 abschaltet, wobei die Spannungsänderungsgeschwindigkeit der Spannungsflanke (3'') eine Verschiebung des Kraftübertragungselements (8) in oder an der Klemmeinrichtung (10) hervorruft.

7. Verfahren nach Anspruch 6,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Spannungssignal (1'') zuerst zumindest eine Spannungsflanke (2'') aufweist, die das  
Spannungssignal (1'') von Referenzspannung (5) auf Spannung (6') bringt, wobei die  
5 Spannungsänderungsgeschwindigkeit der Spannungsflanke (2'') eine Verschiebung des  
Kraftübertragungselements (8) in oder an der Klemmeinrichtung (10) hervorruft.
8. Verfahren nach Anspruch 7 oder 6,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
10 das Spannungssignal (1'') vor der Spannungsflanke (3'') eine Spannungsänderung (3''') mit  
einer Spannungsänderungsgeschwindigkeit aufweist, die zu keiner Verschiebung des  
Kraftübertragungselements (8) in oder an der Klemmeinrichtung (10) führt, wobei die  
Spannungsänderung (3''') so eingestellt ist, dass eine Verschiebung des zu positionierenden  
Objekts (9) durch die Spannungsflanke (3'') zumindest teilweise kompensiert wird.  
15
9. Verfahren nach Anspruch 6, 7 oder 8  
dadurch gekennzeichnet, dass  
das Spannungssignal (1'') zumindest eine weitere Spannungsflanke (3''') aufweist, die die  
Spannung am Aktuator (7) auf eine Spannung (6') schaltet, mit einer  
20 Spannungsänderungsgeschwindigkeit der Spannungsflanke (3'''), die eine Verschiebung des  
Kraftübertragungselements (8) in oder an der Klemmeinrichtung (10) hervorruft.
10. Verfahren zur elektrischen Ansteuerung eines piezoelektrischen oder elektrostriktiven  
Antriebs, der zumindest zwei piezoelektrische oder elektrostriktive Aktuatoren (7, 7')  
25 aufweist, die für eine schrittweise Bewegung eine gegenphasige Längenänderung durchführen  
müssen, mit einem elektrischen Spannungssignal (1'''),  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Aktuatoren (7, 7') elektrisch in Serie geschaltet sind, das elektrische Spannungssignal (1''')  
zur Ansteuerung auf die elektrischen Anschlüsse (12, 12') der Aktuatoren (7, 7') gegeben  
30 wird, die elektrisch miteinander verbunden sind, und zwischen den anderen Anschlüssen (13,  
13') der Aktuatoren (7, 7') eine Vorspannung (15) angelegt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Vorspannung (15) vor dem Anlegen des Spannungssignals (1''') angeschaltet und nach dem Ende des Spannungssignals (1''') abgeschaltet wird.

5

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
die Vorspannung (15) mit einer Spannungsflanke (15') angeschaltet und/oder mit einer Spannungsflanke (15'') abgeschaltet wird, wobei die Spannungsflanke bzw. -flanken (15', 15'')  
10 eine Spannungsänderungsgeschwindigkeit aufweist bzw. aufweisen, die eine Verschiebung des Kraftübertragungselements (8) in oder an der Klemmeinrichtung (10) hervorruft.

13. Verfahren nach Anspruch 10, 11 oder 12,  
dadurch gekennzeichnet, dass  
15 die Vorspannung (15) an den zumindest einen Aktuator (7, 7') von den zumindest zwei Aktuatoren (7, 7') abfällt, dessen Kraftübertragungselement (8) eine kleinere Haftreibungskraft in oder an der Klemmeinrichtung (10) aufweist, und die Anschlüsse (12, 12') der Aktuatoren (7, 7'), die elektrisch miteinander verbunden sind, auf Referenzspannung (5) liegen, wenn kein Spannungssignal (1''') anliegt.

20

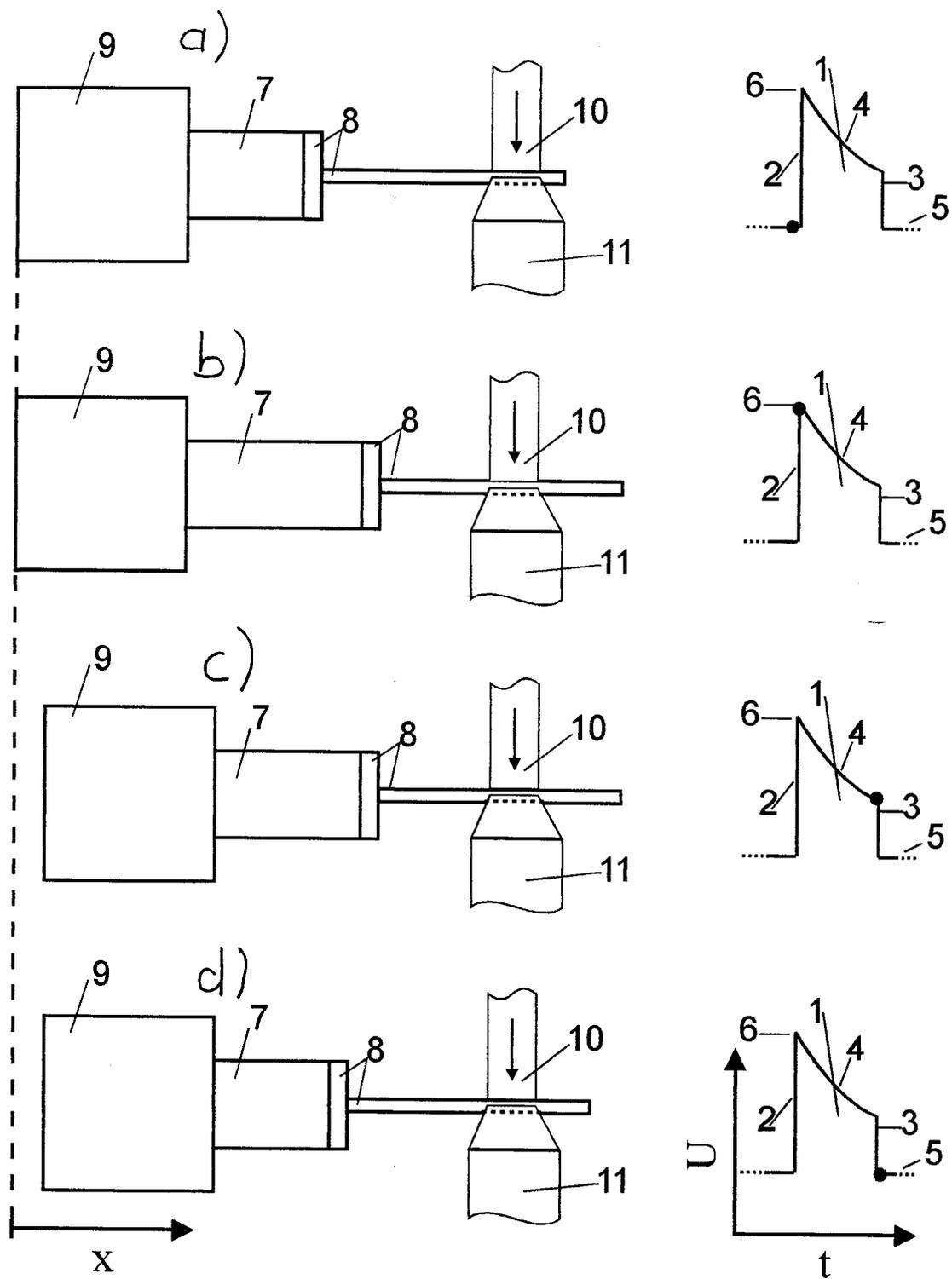


Fig. 1

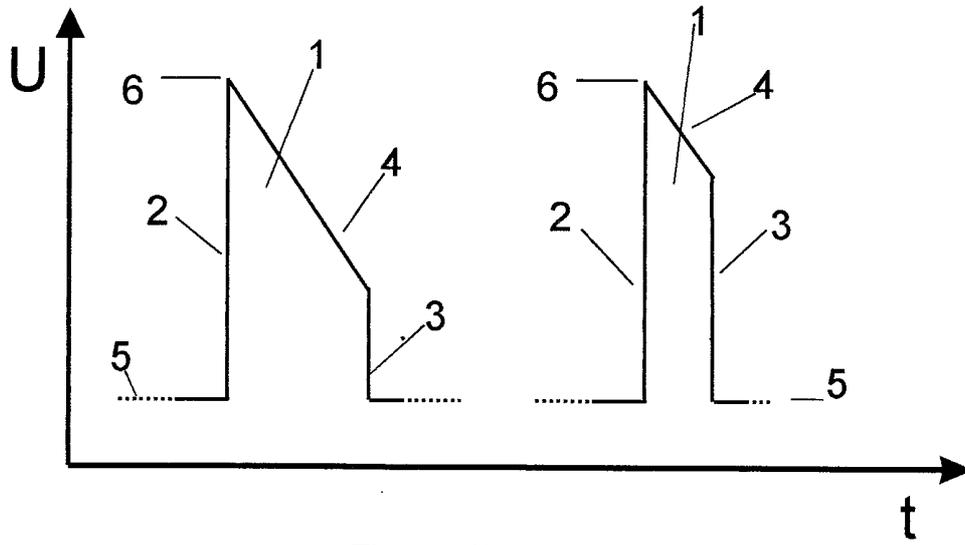


Fig. 2a

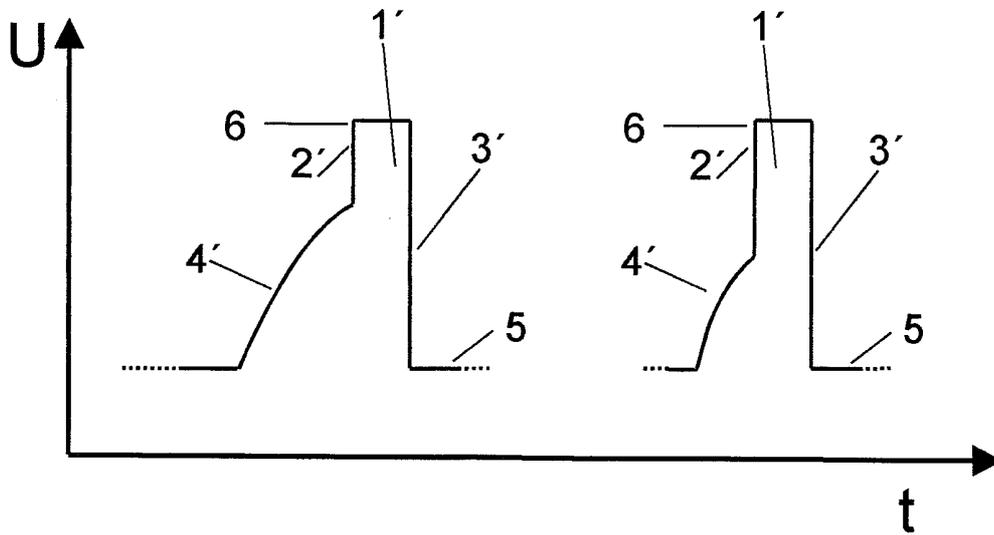


Fig. 2b

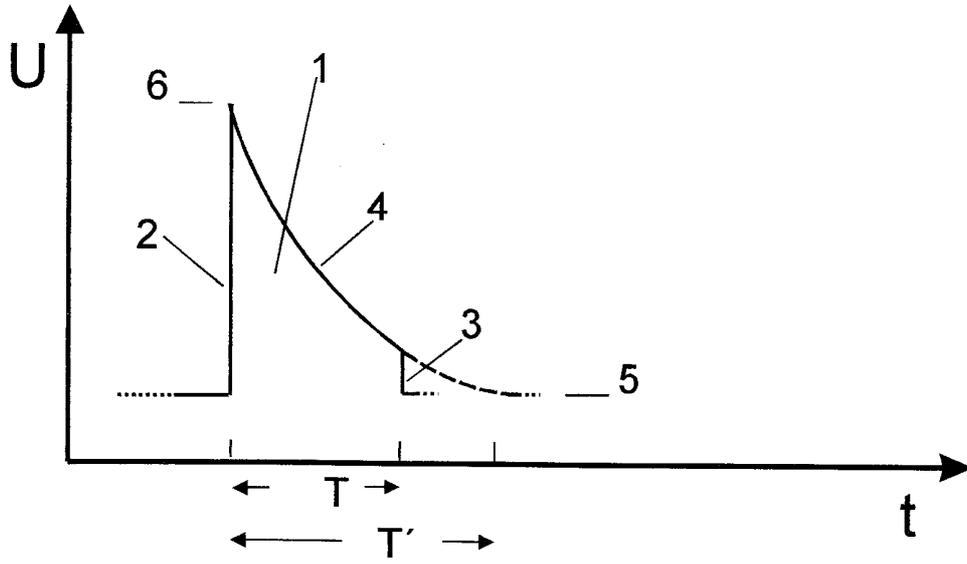


Fig. 3a

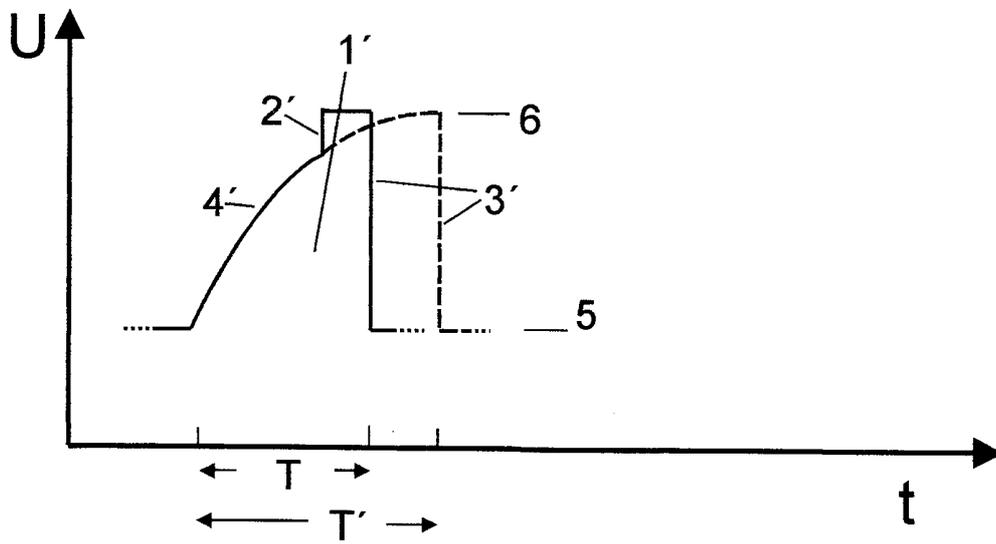
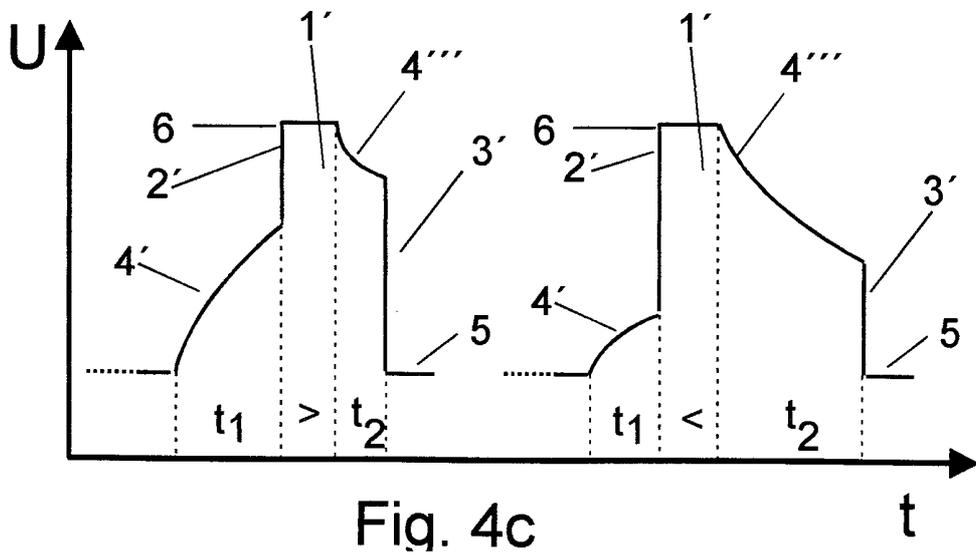
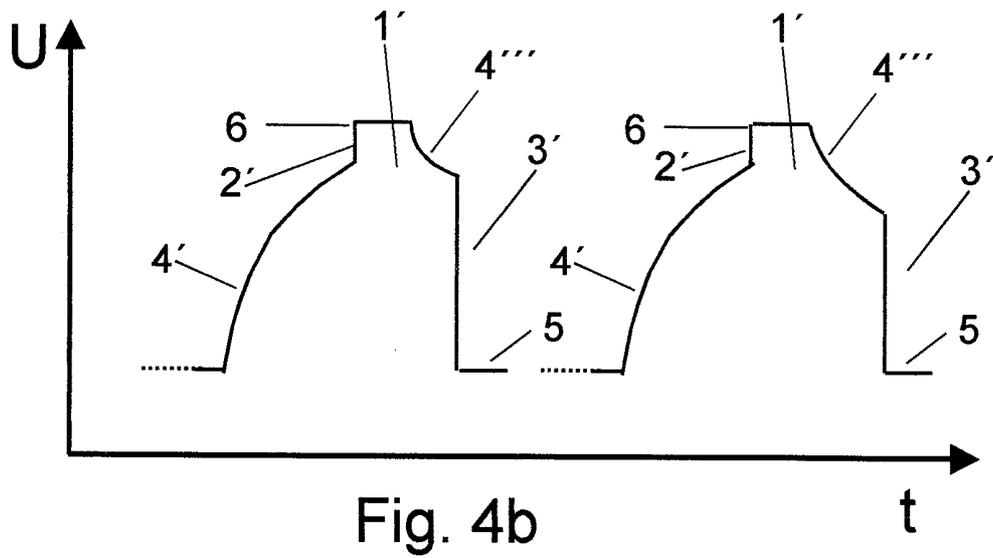
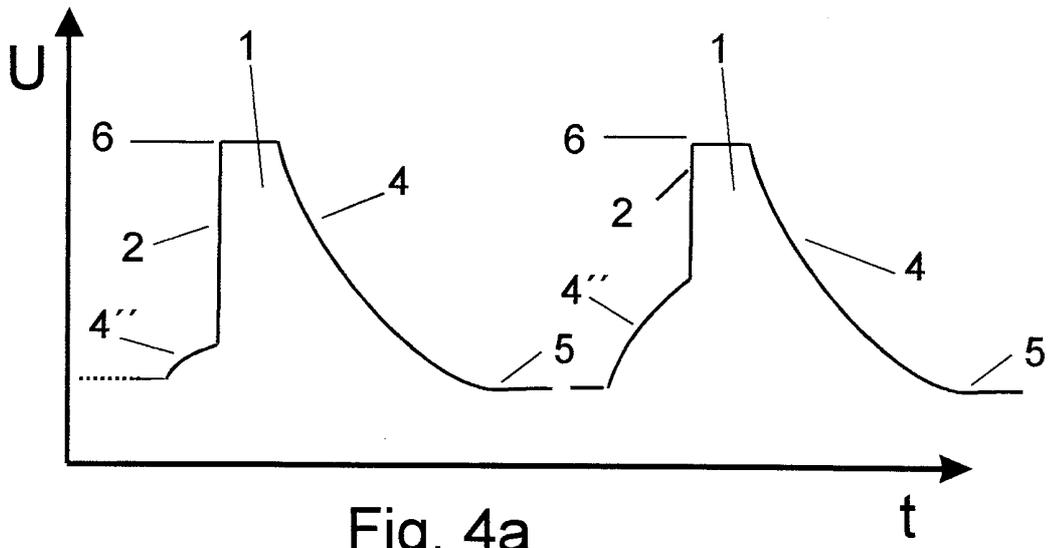


Fig. 3b



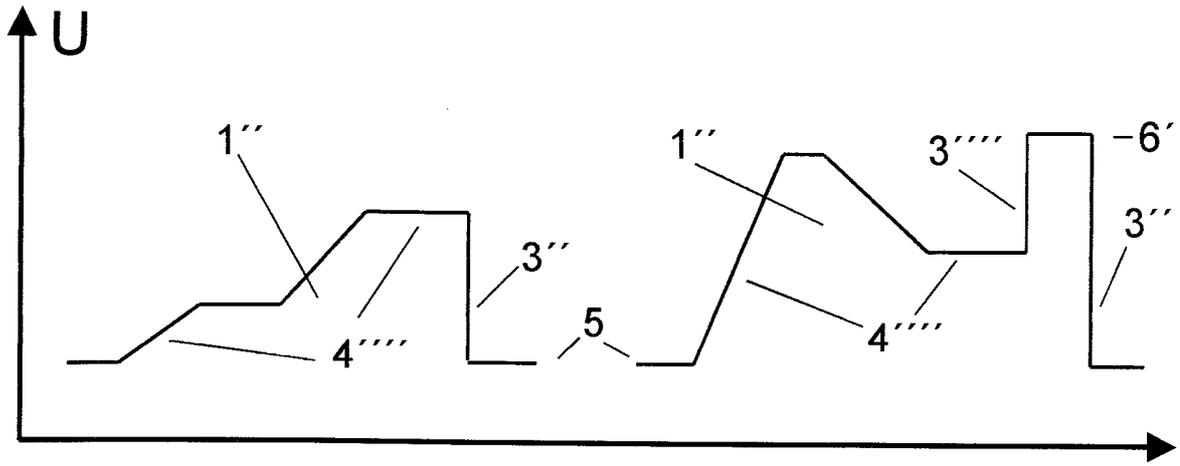


Fig. 5a

t

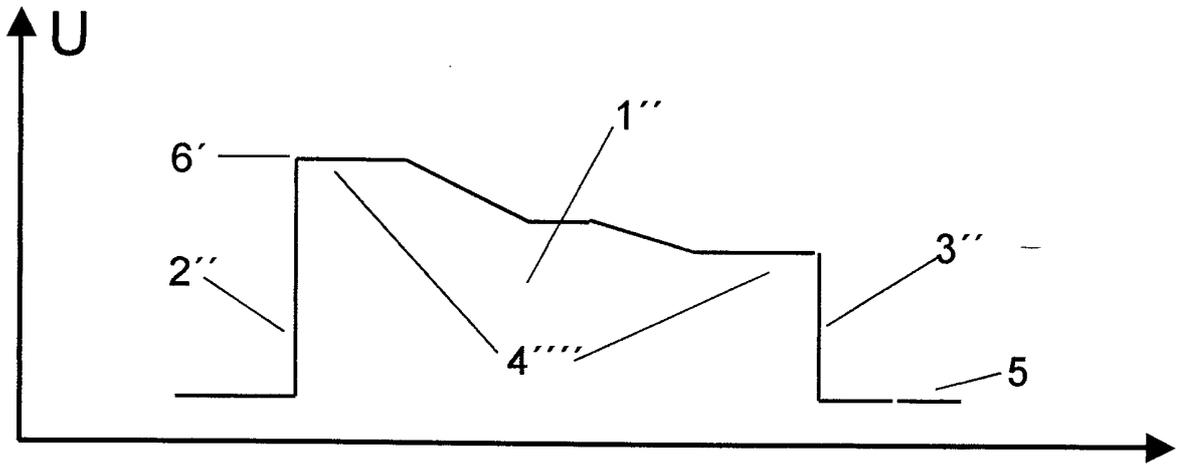


Fig. 5b

t

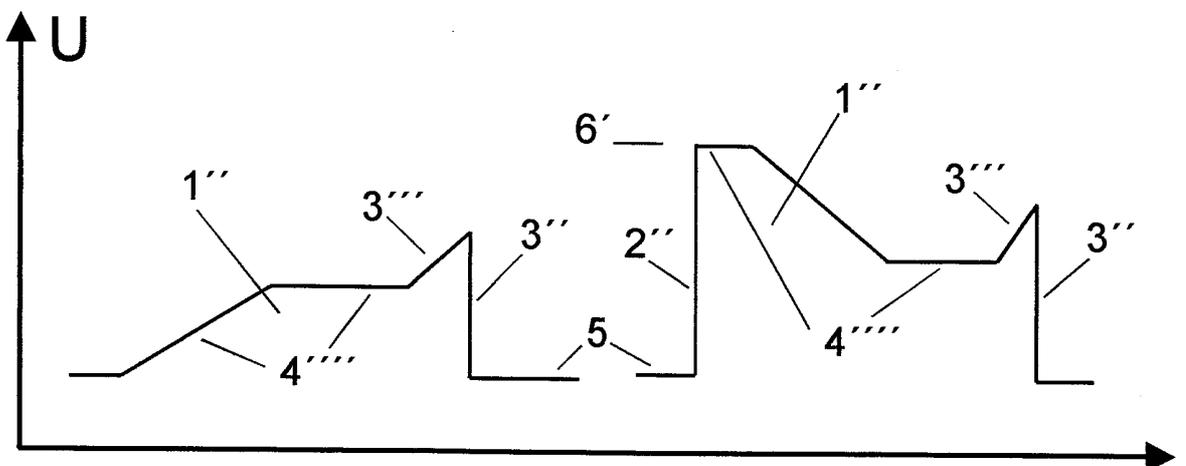


Fig. 5c

t

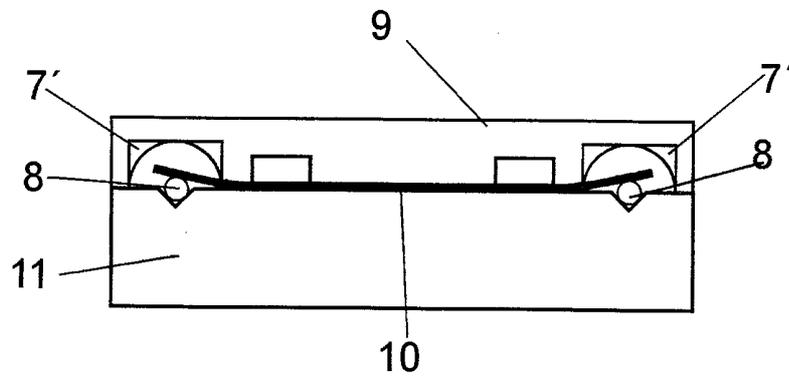


Fig. 6a

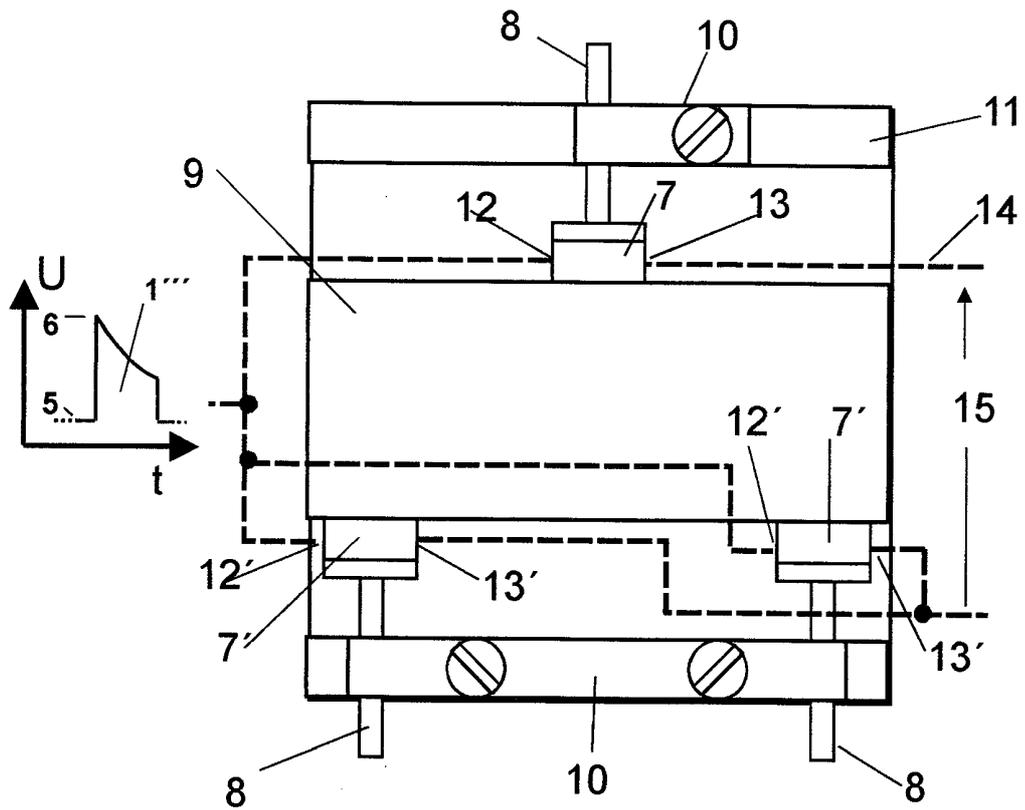


Fig. 6b

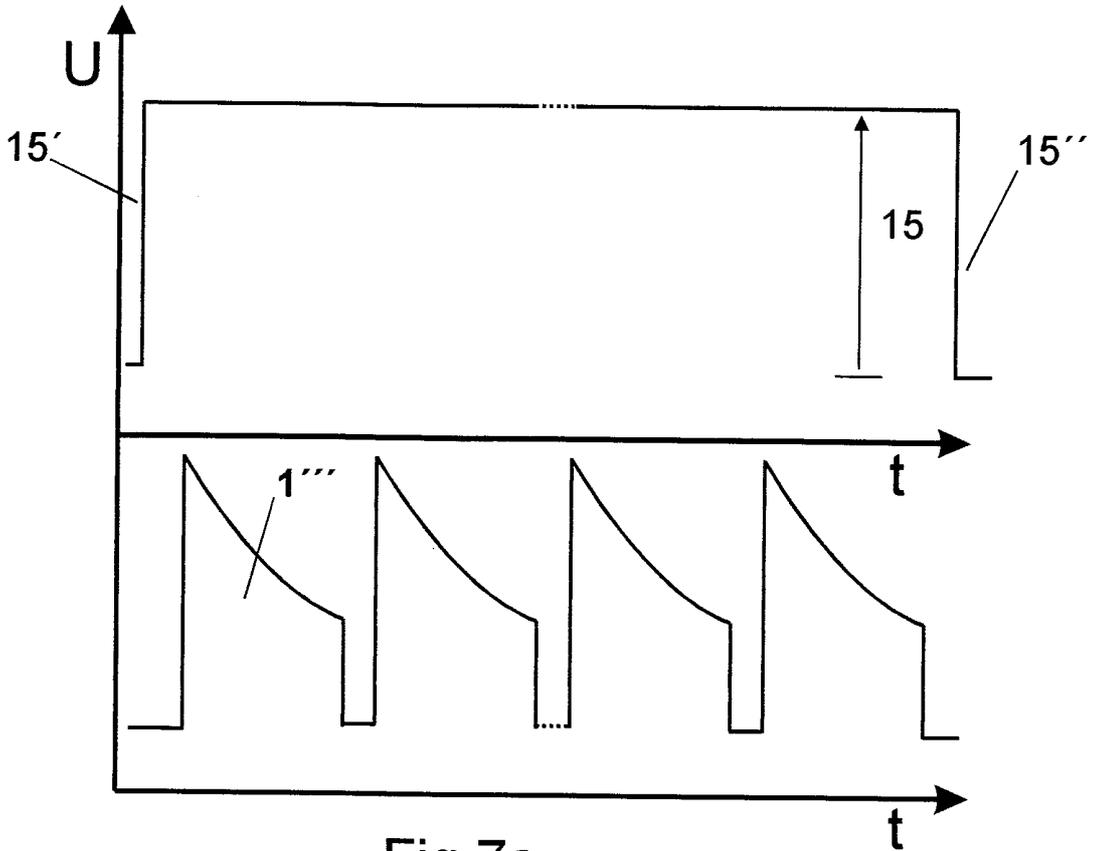


Fig. 7a

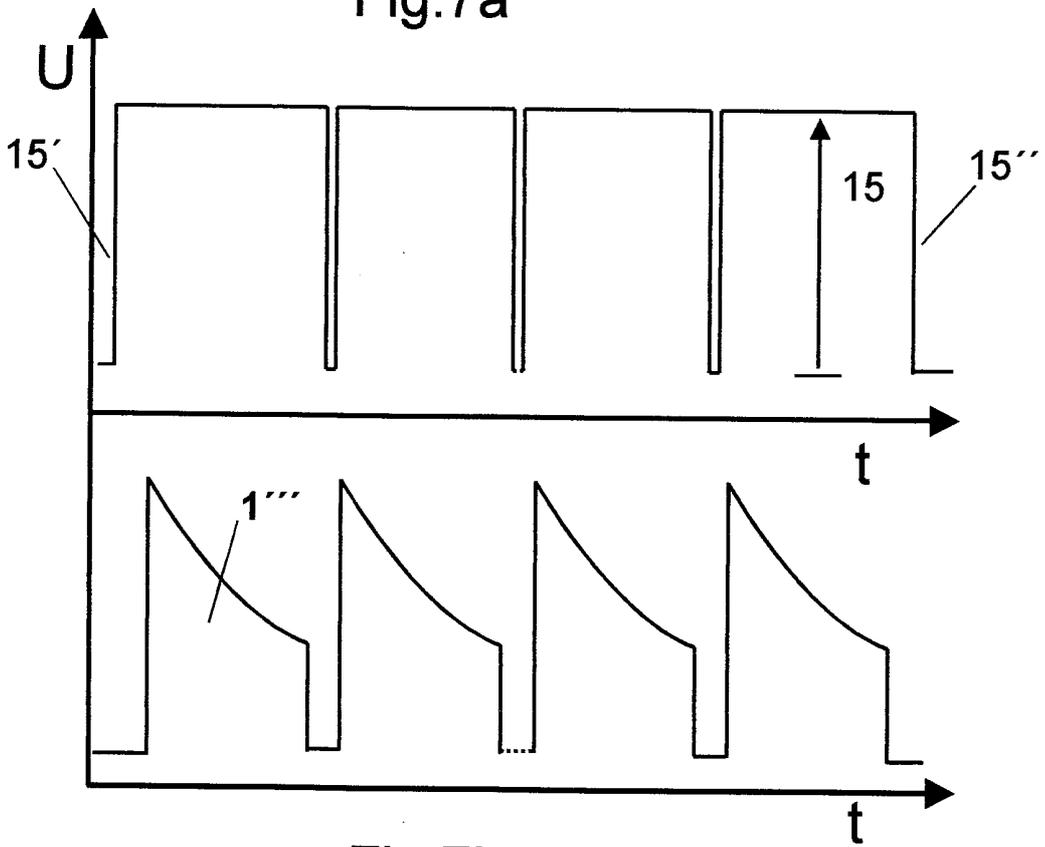


Fig. 7b

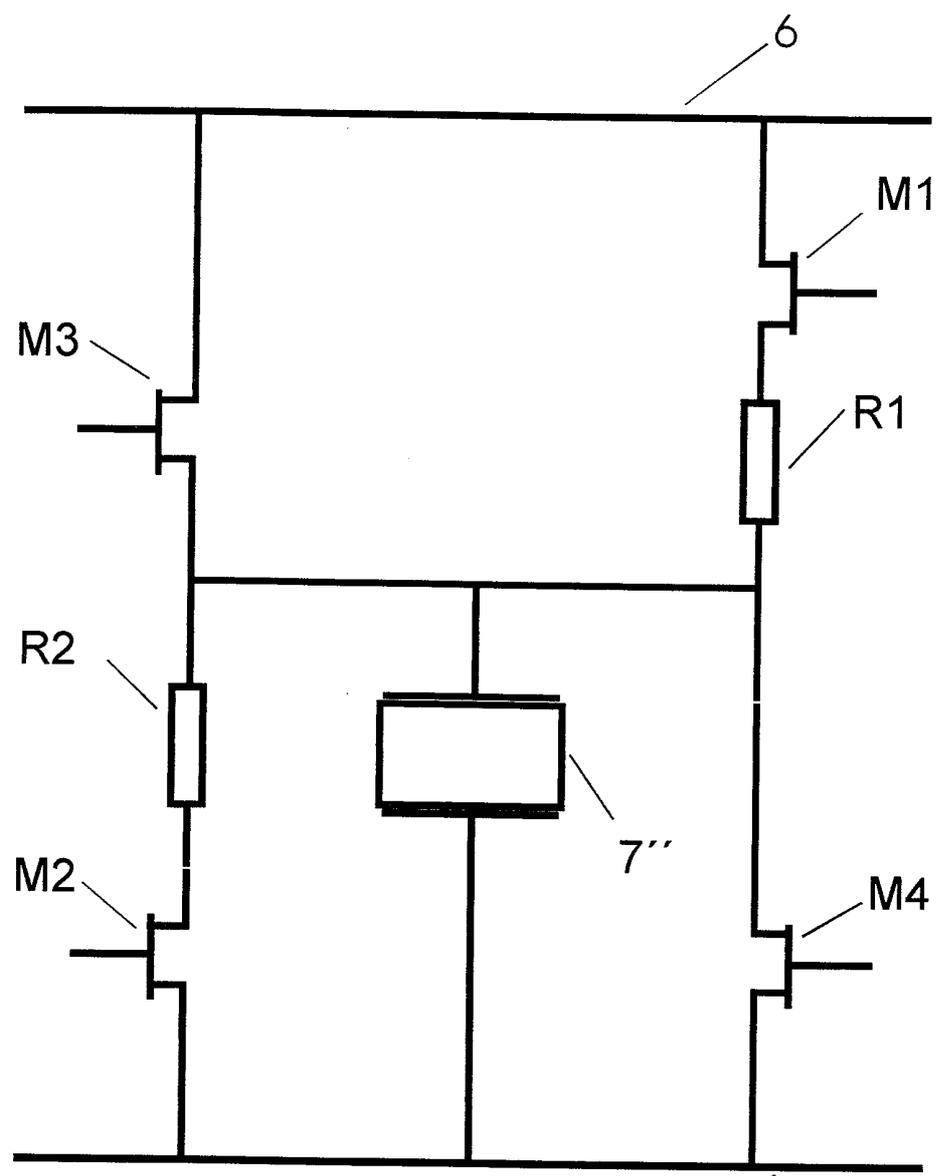


Fig. 8

5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 99/00411

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**

IPC 6 H01L41/04 H01L41/09

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)

IPC 6 H01L

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)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	DE 196 44 550 C (ZRENNER ARTUR DR) 10 June 1998 cited in the application see claim 1; figure 1 -----	1

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in 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 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

6 July 1999

Date of mailing of the international search report

13/07/1999

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

Pelsters, L

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 99/00411

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 19644550 C	10-06-1998	WO 9819347 A	07-05-1998

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/00411

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES**  
 IPK 6 H01L41/04 H01L41/09

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

**B. RECHERCHIERTE GEBIETE**

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
 IPK 6 H01L

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)

**C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN**

Kategorie <sup>o</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 196 44 550 C (ZRENNER ARTUR DR) 10. Juni 1998 in der Anmeldung erwähnt siehe Anspruch 1; Abbildung 1 ----- -----	1

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

<sup>o</sup> Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, 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 anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

6. Juli 1999

13/07/1999

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

Pelsers, L

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/00411

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19644550 C	10-06-1998	WO 9819347 A	07-05-1998