



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 039 772 A1** 2007.03.08

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 039 772.7**

(22) Anmeldetag: **22.08.2005**

(43) Offenlegungstag: **08.03.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **F04B 49/06** (2006.01)

**F04B 13/00** (2006.01)

**F04B 17/04** (2006.01)

(71) Anmelder:

**ProMinent Dosiertechnik GmbH, 69123  
Heidelberg, DE**

(72) Erfinder:

**Freudenberger, Thomas, 67069 Ludwigshafen,  
DE; Höhler, Andreas, Dr., 64646 Heppenheim, DE**

(74) Vertreter:

**Weber, R., Dipl.Chem.Univ. Dr.rer.nat., Pat.-Anw.,  
65183 Wiesbaden**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu  
ziehende Druckschriften:

**DE 195 32 037 C1**

**EP 13 44 933 A2**

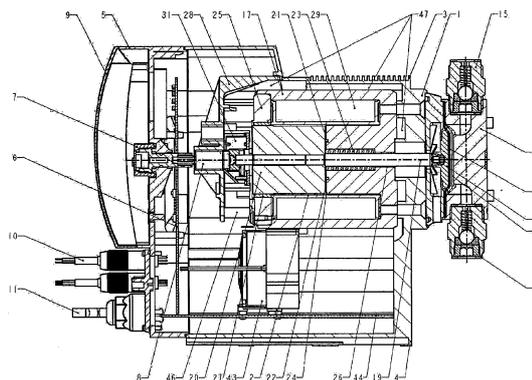
**WO 05/0 54 676 A1**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Magnetdosierpumpe**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Magnetdosierpumpe, bei der ein bewegliches Druckstück mit einer fest mit diesem verbundenen Schubstange in einem im Pumpengehäuse fest verankerten Magnetmantel in der Längsachse axial beweglich gelagert ist, so dass das Druckstück mit Schubstange bei der elektrischen Ansteuerung (Aktivierung) der Magnetspule in den Magnetmantel hineingezogen wird und das Druckstück nach Deaktivierung des Magneten durch die Druckfeder in die Ausgangslage zurückkehrt, so dass das Druckstück und ein durch dieses betätigtes elastisches Verdrängungsorgan bei fortgesetzter Aktivierung und Deaktivierung der Magnetspule eine oszillierende Bewegung durchführt, die in dem in der Längsachse angeordneten Dosierkopf im Zusammenwirken mit einem Auslass- und Einlassventil zu einem Pumphub (Druckhub) und einem Ansaughub führt. Bei einer derartigen Magnetdosierpumpe ist mit der Einheit aus Druckstück und Schubstange ein Bezugselement verbunden, dessen Position von einem Positionsgeber abgetastet wird, wobei der Positionsgeber ein Ist-Signal abgibt, welches zur Position des Bezugselements in einer festen Beziehung steht und das über einen Regelkreis im Rahmen seiner Regelgenauigkeit die Bewegung der Einheit aus Druckstück und Schubstange so beeinflusst, dass sie einem vorgegebenen Sollwertprofil folgt.



**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Magnetdosierpumpe gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

## Stand der Technik

**[0002]** Derartige Magnetdosierpumpen sind allgemein bekannt und werden durch Zusatzeinrichtungen den jeweiligen Anforderungen angepasst. Sie arbeiten nach dem volumetrischen Prinzip, bei dem der Dosiervorgang aus dem Transport eines abgeschlossenen Kammervolumens besteht. Das Dosiervolumen pro Hub entspricht dabei der Volumendifferenz der Membranbewegung.

**[0003]** Bei einer solchen Magnetdosierpumpe wird in einem feststehenden Magnetmantel ein bewegliches Druckstück so gelagert, dass es bei elektrischer Ansteuerung der Magnetspule in den Magnetmantel hineingezogen wird und dabei seinen Luftspalt verkürzt und nach Abschalten der elektrischen Ansteuerung durch eine Rückholfeder wieder in seine Ausgangslage zurückgeschoben wird. Fest mit dem Druckstück verbunden ist eine Schubstange, die die Bewegung und die Kraft auf die Dosiermembran überträgt.

**[0004]** Im einfachen Fall wird der Hubmagnet zum Ausführen eines Dosierhubs für eine bestimmte Zeit eingeschaltet. Andere Ausführungen prägen der Magnetspule einen geregelten Stromverlauf nach einem vorgegebenen zeitlichen Profil ein, wodurch die Magnetkraft und damit die Dosierleistung besser reproduzierbar und unabhängig von elektrischen Parametern wie z.B. der aktuellen Höhe der Netzspannung wird.

**[0005]** Die Hubfrequenz wird durch die Folgefrequenz der elektrischen Ansteuerpulse vorgegeben. Die Hublänge kann z.B. durch eine mechanisch verstellbare Spindel verändert werden, die den Startpunkt der Hubbewegung vorgibt; die Endlage ergibt sich bei vollständig angezogenem Magnet. Eine mögliche Ausführung ist, einen Hubverstellbolzen mit von der Gerätebedienseite zugänglichem Drehknopf und Skala in ein Gewinde eines Hubdeckels einzuschrauben, welcher seinerseits rückseitig am Magnetmantel befestigt ist bzw. dessen Lage unveränderlich in bezug auf den Magnetmantel ist.

**[0006]** Der Bewegungsablauf der Membran ergibt sich aus dem Zusammenspiel der wirksamen Kräfte. Nach dem Einschalten steigt zunächst durch die Selbstinduktion gebremst der Magnetstrom und damit die erzeugte Kraft an; wird die durch die Membran und die Rückholfeder auf die Schubstange wirkende Kraft überwunden, setzt sich das Druckstück in Bewegung. Der Luftspalt verringert sich mit fortschreitendem Weg, die Magnetkraft steigt entsprechend weiter an. Es ergibt sich eine schnell beschleunigte

Bewegung mit hartem Anschlagen des Druckstücks am Mantel, lediglich gedämpft durch einen üblicherweise vorhandenen Dämpfungsring (O-Ring). Die gesamte Bewegung spielt sich in wenigen Millisekunden ab, daraus resultieren sehr hohe Momentangeschwindigkeiten des Dosiermediums und hohe Druckspitzen bis zum Doppelten des Arbeitsdrucks und darüber.

**[0007]** Die Membran ist nicht starr, sondern verformt sich im Walkbereich elastisch um einen bestimmten Betrag, wenn der Druck des Dosiermediums auf sie einwirkt. Der Betrag dieser Verformung geht der effektiv ausgeführten Hubbewegung verloren und führt dazu, dass die Dosiermenge bei zunehmendem Arbeitsdruck abnimmt. Diese fallende Charakteristik ist in normalen Anwendungen deutlich stärker ausgeprägt als es die geforderte Dosiergenauigkeit zulassen würde. Magnetdosierpumpen können daher üblicherweise nicht in einer allgemeinen Einstellung über einen weiten Bereich des Arbeitsdrucks mit der gewünschten Genauigkeit betrieben werden; vielmehr wird der auftretende Fehler durch eine Kalibriermessung erfasst und in die weiteren Berechnungen mit einbezogen. Diese Kalibriermessung muss jedoch in der konkreten Anwendung unter realen Arbeitsbedingungen erfolgen und ist insbesondere in Verbindung mit aggressiven Chemikalien ein Arbeitsschritt, der erheblichen Aufwand mit sich bringt.

**[0008]** Der derzeit allgemein übliche Magnetantrieb kommt zwar mit wenigen einfachen Teilen aus und ist dementsprechend günstig in der Herstellung, bleibt aber auf relativ geringe Leistungen beschränkt und hat Nachteile in bezug auf die hydraulischen Eigenschaften des Dosiervorgangs gegenüber einer Pumpe mit Motorantrieb. Der Motorantrieb z.B. mittels Getriebe oder Exzenter ist leistungsfähiger und hat für viele Prozesse günstigere Dosiereigenschaften, ist aber wesentlich aufwendiger zu produzieren.

## Aufgabenstellung

**[0009]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist insbesondere, die bekannten Nachteile in bezug auf die hydraulischen Eigenschaften des Dosiervorgangs zu beseitigen und dadurch einen variablen, größeren Einsatzbereich der Magnetdosierpumpen zu erzielen, ohne deren Vorteile, nämlich die einfache und preiswerte Herstellung, negativ zu beeinflussen. Weiterhin soll der Bewegungsvorgang des Druckstückes und der damit verbundenen Schubstange so den Soll-Angaben angepasst werden, dass sowohl der Dosiervorgang selbst einstellbar ist, als auch die durch Fertigungstechnik oder die Eigenschaft der elastischen Membrane entstehenden Fehler durch die Regelung berücksichtigbar und behebbar sind. Der Positionsgeber soll so gestaltet sein, dass Fertigungs- und/oder in der Nutzung auftretende Ungenauigkeiten bezüglich der Positionsmessung durch

die eingesetzte Elektronik ausgleichbar sind.

**[0010]** Die Lösung der Aufgabe besteht darin, daß mit der Einheit aus Druckstück und Schubstange ein Bezugsselement verbunden ist, dessen Position von einem Positionssensor abgetastet wird, wobei der Positionssensor ein Ist-Signal abgibt, welches zur Position des Bezugsselements in einer festen Beziehung steht und das über einen Regelkreis im Rahmen seiner Regelgenauigkeit die Bewegung der Einheit aus Druckstück und Schubstange so beeinflusst, daß sie einem vorgegebenen Sollwertprofil folgt.

**[0011]** Mit Hilfe der Regeleinrichtung und des Positionssensors wird die Bewegung des Druckstücks mit der Schubstange erfaßt und entsprechend einem vorgegebenen Bewegungsprofil geführt. Hierzu ermittelt die Regeleinrichtung ausgehend von den Rahmenbedingungen den jeweils geeigneten Bewegungsablauf als Vorgabe und regelt den tatsächlichen, anhand der Meßwerte des Positionssensors festgestellten Bewegungsablauf mithilfe einer Beeinflussung des Magnetspulenstroms so, daß er der Vorgabe möglichst gut folgt, so daß die sonst z.B. durch die Eigenschaften der Membran entstehenden Ungenauigkeiten eliminiert werden.

**[0012]** Arbeitet der Positionssensor nach einem berührungsfreien Prinzip, wird ein verschleißfreier Betrieb des Sensors sichergestellt, was angesichts der hohen Anzahl von Hüben während der Lebensdauer einer Dosierpumpe vorteilhaft und letztlich erforderlich ist.

**[0013]** Ist das mit der Schubstange verbundene Positionselement an dem dem Dosierkopf abgewandten Ende und außerhalb des Dosierkopfes angeordnet, wird damit eine größere Flexibilität bezüglich des Montageraums für den Positionssensor erreicht.

**[0014]** Beeinflußt das Bezugsselement den Strahlengang einer Lichtquelle und arbeitet der mit ihm zusammenwirkende Positionssensor, der am Magnetmantel angeordnet ist, nach einem lichtempfindlichen Empfängerprinzip, ist zum einen ein verschleißfreier Betrieb sichergestellt, wie er angesichts der hohen Anzahl von Hüben während der Lebensdauer einer Dosierpumpe unerlässlich ist, und die bewegten Teile werden berührungsfrei abgetastet. Ein weiterer Vorteil dieser Anordnung ist, daß eine derartige Ausbildung eines Positionssensors prinzipiell unempfindlich gegenüber magnetischen Streufeldern ist, die beim Betrieb des Sensors nahe am Magneten nicht zu vermeiden sind.

**[0015]** Ist das Bezugsselement ein Schattenkörper bzw. eine schattengebende Kontur und besteht der mit ihm zusammenwirkende Positionssensor, der am Magnetmantel angeordnet ist, aus einer Reihe lichtempfindlicher ladungsgekoppelter Empfängerzellen,

hat eine derartige Anordnung auf optischer Basis wichtige Eigenschaften, die der Positionssensor erfüllen muß. Zum einen arbeitet die Anordnung aufgrund des optischen Funktionsprinzips verschleißfrei und ist unempfindlich gegenüber magnetischen Streufeldern, zum anderen weist ein derartig ausgebildeter Sensor praktisch keinen Linearitätsfehler auf.

**[0016]** Ist der Positionssensor weiterhin auf einem eigenen Sensorträger angeordnet, der mit dem Magnetmantel fest verbunden ist, kann eine solche Anordnung als Baueinheit vormontiert und geprüft werden und erleichtert so die Montage. Wird der Sensorträger als Teil aus nicht leitendem Kunststoff ausgeführt, wird dadurch zusätzlich die elektrische Isolation der Sensorbauteile gegen den Magnetmantel vereinfacht.

**[0017]** Stellen das Positionselement, der Schattenkörper bzw. die schattengebende Kontur und der Positionssensor eine lichtschränkenähnliche Anordnung dar und werden die Messwerte kontinuierlich oder taktweise dem Regelkreis zugeführt, stellt eine solche Anordnung dem Regelkreis mit einer den Anforderungen gerechten Geschwindigkeit die Positiondaten zur Verfügung.

**[0018]** Besteht der Positionssensor aus einer Anzahl linear angeordneter Empfänger (Pixels), vorzugsweise 128 Pixels, so kann eine solche Anordnung auf einfache Weise die Position durch Auszählen der Schattengrenze zwischen beleuchteten und unbeleuchteten Zellen ermitteln und erreicht bereits mit dieser einfachen Methode eine Auflösung entsprechend dem Abstand der Zellen des verwendeten Empfängerbausteins.

**[0019]** Ist die Lichtquelle eine Leuchtdiode (LED), die so gegenüber dem Positionssensor angeordnet ist, dass deren Lichtstrahlenbündel auf dem direkten Weg zum Empfänger durch die Schubstange nicht behindert wird, hat dies den Vorteil, daß die preiswerte LED einen annähernd punktförmigen Leuchtfleck besitzt, der für eine hohe optische Auflösung unerlässlich ist, und praktisch eine nahezu unendliche Lebensdauer aufweist. Die Anordnung gegenüber dem Positionssensor an der Schubstange vorbei ergibt einen großen Abstand zwischen Lichtquelle und Empfänger, der den Projektionswinkel des relevanten Lichtstrahls relativ unabhängig von der Montageposition der Elemente macht.

**[0020]** Wird der Ausgangswert des Positionssensors (36) durch Interpolation der Helligkeitswerte mehrerer im Schattenübergangsbereich liegender Pixels gebildet, so wird für das Ausgangssignal des Positionssensors eine feinere Auflösung erreicht, als sie durch das mechanische Raster der Zellen des CCD-Empfängers vorgegeben ist.

**[0021]** Werden bei der Verarbeitung der Signale des Positionssensors Filtermaßnahmen eingesetzt, so wird die Störimmunität des Positionssensors verbessert.

**[0022]** Die Empfindlichkeit des Positionssensors gegenüber Montageabweichungen und mechanische Verschiebungen während des Betriebs, z.B. durch Erwärmung oder Lagerverschleiß, wird verringert, wenn Nulllagefehler des Positionssensors mittels eines Referenzspeichers bzw. Skalierungsfehler des Positionssensors durch Anfahren einer oder mehrerer Referenzpositionen eliminiert werden.

**[0023]** Werden Belichtungsschwankungen des Positionssensors durch eine Steuerung oder Regelung der Lichtquelle anhand der gewonnenen Helligkeitswerte der Pixels ausgeglichen, verringert dies die Empfindlichkeit des Positionssensors gegenüber Schwankungen von Bauteilparametern.

**[0024]** Werden Helligkeitsschwankungen zwischen einzelnen Pixels des durch Einbeziehen eines Referenzspeichers für die Empfindlichkeit jedes Pixels kompensiert, verringert dies die Auswirkungen von Verschmutzungen des optischen Empfängers.

**[0025]** Wird das aus dem Positionssensor ausgelesene Signal in einer Regeleinrichtung weiterverarbeitet und mit einer Sollwertvorgabe verglichen, wobei die Regeleinrichtung den Stromfluss zur Magnetspule beeinflusst und so eine Korrektur des Bewegungsablaufes herbeiführt, kann diese gezielte Beeinflussbarkeit der Membranbewegung zum Erreichen bzw. zur Verbesserung vorteilhafter hydraulischer Eigenschaften der Dosierung, z.B. bei der Langsamdosierung, der Druckkompensation und/oder der Dosiergenauigkeit im Teilhubbereich, ausgenutzt werden.

**[0026]** Beeinflusst die Regeleinrichtung alternativ die Position, die Geschwindigkeit oder die Beschleunigung des Druckstücks über eine Regeleinrichtung durch Veränderung des Spulenstroms, können passend zu den Anforderungen einer konkreten Dosieraufgabe gezielt die Vorteile der jeweils geeigneteren Regelmethode genutzt werden. Eine Regelung der Membrangeschwindigkeit erlaubt eine direkte Kontrolle der tatsächlichen Fließgeschwindigkeit des Dosiermediums, die z.B. für das verlangsamte Ansaugen zum Vermeiden von Kavitation erforderlich ist. Eine Regelung der Membranposition erlaubt hingegen Situationen nahe des Stillstands zu kontrollieren, bei denen die Geschwindigkeitsinformationen, die durch Differenzieren des Wegsignals gebildet werden, sehr klein werden und durch die Regeleinrichtung nicht mehr sinnvoll verarbeitet werden können. Die Regelung der Membranposition umgeht diese Schwierigkeit und ist z.B. bei der elektronischen Hublängenbegrenzung oder der Langsamdosierung vorteilhaft anzuwenden. Die Regelung der Beschleuni-

gung der Membran ist vorteilhaft für eine leichte Beherrschbarkeit der Regelung, da die Beschleunigung der bewegten Massen ein direktes Abbild der Magnetkraft und damit indirekt des Magnetstroms darstellt.

**[0027]** Setzt die Regeleinrichtung die Geschwindigkeit des Druckstücks in der Ansaugphase und/oder in der Druckphase gezielt herab, so wird damit Druckverlusten, die durch Strömungswiderstände verursacht werden, bzw. dem Entstehen von Kavitation entgegengewirkt. Bei der Dosierung hochviskoser Medien, z.B. von Lecithin, entstehen an Engstellen wie z.B. in den Ventilen bei zu hoher Strömungsgeschwindigkeit hohe Druckverluste. Diese Druckverluste müssen in Form einer zusätzlichen Kraft durch den Antrieb aufgebracht werden und können bei Anwendung der Regelung der Membrangeschwindigkeit niedrig gehalten werden. Zusätzlich werden Fließgeräusche bei herabgesetzter Strömungsgeschwindigkeit wirksam verringert. Bei der Dosierung leicht ausgasender Medien, z.B. von Chlorbleichlauge, tritt insbesondere während des Ansaugens bei zu hoher Strömungsgeschwindigkeit durch Unterschreiten des Dampfdrucks des Dosiermediums Kavitation auf, die erhöhten mechanischen Verschleiß zur Folge hat. Bei einer Regelung der Membrangeschwindigkeit in der Ansaugphase und/oder in der Druckphase wird dies vorteilhaft vermieden.

**[0028]** Wird die gewünschte Hublänge durch eine Bedienvorgabe der Regeleinrichtung mitgeteilt und durch die Regeleinrichtung die Bewegung des Druckstücks durch entsprechendes Ansteuern der Magnetspule elektronisch auf die auszuführende Hublänge begrenzt, können grundsätzlich die zugehörigen mechanischen Einstellelemente entfallen. Wird die Bewegung des Druckstücks auch bei maximaler Hublänge elektronisch begrenzt, ohne den mechanischen Anschlag zu erreichen, kann grundsätzlich auch der O-Ring zur Dämpfung entfallen.

**[0029]** Erfolgt die Erkennung, auf welchen Wert die Hubverstellung eingestellt ist, durch Messung während der Dosierung unmittelbar über den Positionssensor, kann der ansonsten zusätzlich notwendige Sensor für die mechanische Stellung der zugehörigen Einstellelemente entfallen.

**[0030]** Begrenzt die Regeleinrichtung die Geschwindigkeit des Druckstücks am Anfang und/oder am Ende der Druckphase, also z.B. im ersten bzw. im letzten Drittel des Hubwegs, durch Ansteuern der Magnetspule, so dass Druckspitzen, die durch schnelle Geschwindigkeitsänderungen des Dosiermediumsstroms bzw. durch hartes Anfahren des mechanischen Anschlages entstehen würden, vermieden werden, können ansonsten notwendige zusätzliche Betriebsmittel wie z.B. Pulsationsdämpfer entfallen.

**[0031]** Begrenzt die Regeleinrichtung die Geschwindigkeit des Druckstücks am Ende der Druckphase durch Ansteuern der Magnetspule, so dass der Effekt der Überförderung vermieden wird, wird die Dosiergenauigkeit insbesondere bei geringem Gegendruck erheblich verbessert.

**[0032]** Verteilt die Regeleinrichtung die Vorwärtsbewegung des Druckstücks während der Druckphase durch Ansteuern der Magnetspule so auf die durch die Folgefrequenz der Dosierhübe vorgegebene Zeit, dass die Ausbringung des Dosiermediums möglichst gleichmäßig erfolgt, bis hin zu sehr langsam ausgeführten Dosierhüben von z.B. einigen Minuten, können Konzentrationsschwankungen des Dosiermediums weitgehend vermieden werden.

**[0033]** Rechnet die Regeleinrichtung im Betrieb bei quasi kontinuierlicher Dosierung, also ohne wesentliche Ruhepause zwischen Ansaugen und folgendem Dosierhub, die Hubbewegung auf einen Betrieb mit reduzierter Hublänge und erhöhter Hubfrequenz unter annähernder Beibehaltung der Membrangeschwindigkeit im Dosierhub um, so daß sich im zeitlichen Mittel die gewünschte Dosierleistung ergibt, und beendet sie das Ansaugen durch Ansteuern der Magnetspule, bevor das Druckstück durch die Rückholfeder ganz an den vorderen mechanischen (Ruhe-) Anschlag geschoben wurde, so dass die Bewegung des Druckstücks nur in dem Bereich des Hubweges stattfindet, in dem der Luftspalt und damit der Magnetstrombedarf klein ist, wird im zeitlichen Mittel eine Verringerung der erforderlichen elektrischen Antriebsleistung und der entstehenden Verlustwärme erreicht.

**[0034]** Die Dosiergenauigkeit wird verbessert, wenn während der Anfangsphase der geregelten Vorwärtsbewegung des Druckstücks entweder die Regeleinrichtung selbst oder eine weitere Steuerungseinheit den Magnetstrom beobachtet, daraus auf den Kraftverlauf schließt und so das Öffnen des Auslaßventils erkennt und mithilfe dieser Beobachtung den Totbereich, der aufgrund der elastischen Verformung der Membran entsteht, mißt und den tatsächlich ausgeführten Hubweg durch gezieltes Beenden der Hubbewegung abhängig von der ermittelten Membranverformung so beeinflusst, dass der durch die Membranverformung verursachte Fehlerbeitrag (bezogen auf den Hubweg bzw. das dosierte Volumen) eliminiert und so die Abhängigkeit der Dosiermenge vom Gegendruck wesentlich vermindert wird. Diese Verbesserung wird durch Eliminieren des Fehlers erreicht, der durch die elastische Verformung der Membran unter Einwirkung des Arbeitsdrucks dadurch entsteht, daß der Betrag dieser Verformung nicht zur Dosierung beiträgt. Durch die verminderte Abhängigkeit der Dosiermenge vom Arbeitsdruck können Nachkalibrierungen, die sonst bei signifikanter Veränderung von Betriebsparametern wie z.B. dem Arbeitsdruck

erforderlich sind, entfallen. Die Ableitung der Membranverformung aus einer Beobachtung des Magnetstroms ist deshalb vorteilhaft, weil dieser insbesondere bei Magnetdosierpumpen eine gutes Abbild des tatsächlichen Kraftbedarfs darstellt und unmittelbar aus ohnehin vorhandenen Signalen der Regeleinrichtung abgeleitet werden kann und somit keinen zusätzlichen meßtechnischen Aufwand erfordert.

**[0035]** Wird durch die Regeleinrichtung im Betrieb bei reduzierter Hublänge der tatsächlich ausgeführte Hubweg während der Vorwärtsbewegung des Druckstücks abhängig vom gemessenen Totbereich durch die elastische Verformung der Membran durch gezieltes Beenden der Hubbewegung beeinflusst, so dass der durch die Membranverformung verursachte Fehlerbeitrag eliminiert und so die lineare Abhängigkeit der Dosiermenge vom prozentualen Wert der eingestellten Hublänge wesentlich verbessert wird, so erhöht dies auch in diesem Fall die Dosiergenauigkeit. Diese Verbesserung wird durch Eliminieren des Fehlers erreicht, der durch die elastische Verformung der Membran unter Einwirkung des Arbeitsdrucks dadurch entsteht, daß der Betrag dieser Verformung nicht zur Dosierung beiträgt und dadurch die effektive Hublänge zu der mechanisch eingestellten nicht streng proportional ist. Im übrigen gilt das im vorhergehenden Abschnitt Gesagte.

**[0036]** Überdruckzustände können während des Dosiervorgangs vorteilhaft erkannt und begrenzt werden, wenn die Regeleinrichtung während der Vorwärtsbewegung des Druckstücks den Totbereich mißt, der durch die elastische Verformung der Membran entsteht, und anhand dieses gemessenen Totbereichs eine Abschätzung des Arbeitsdrucks vornehmen kann und bei Überschreiten eines vorgegebenen Maximalwertes des Drucks zur Vermeidung eines weiteren Druckanstiegs die Dosierung einstellt. Die sonst notwendigen zusätzlichen Betriebsmittel wie z.B. Überdruckbegrenzer können hierdurch eingespart werden, sofern die Dosierpumpe das einzige druckerhöhende Aggregat im Prozeß ist.

**[0037]** Die im Geräteinneren der Magnetdosierpumpe entstehende Verlustwärme wird effizient abgeführt, wenn der Gehäuseinnenraum einschließlich dem Magnet und der Elektronik gekühlt werden. Dadurch werden stark verlustbehaftete Betriebsarten wie z.B. die kontinuierliche Dosierung bei verlangsamter Membranbewegung ermöglicht.

**[0038]** Wird zur Kühlung der im Innenraum angeordneten Komponenten ein Ventilator im Innenraum angeordnet, dessen Luftstrom zwangsgeführt die Wandung des Magneten und/oder die Wicklungen der Spule sowie die Innenwand des Gehäuses der Magnetdosierpumpe und weitere Komponenten umspült, wird die Verlustwärme des Magneten bzw. der genannten Komponenten auf thermisch direktem Weg

an die Innenluft und in der Folge an das Gehäuse weitergeleitet. Der zwangsgeführte Luftstrom verbessert die Wärmeübergangswiderstände der jeweiligen verlustbehafteten Komponenten und verringert so deren Temperaturerhöhung gegenüber der Lufttemperatur im Gehäuseinneren. Aufgrund der gleichmäßigeren Verteilung der Wärme auf die gesamte Oberfläche des Gehäuses trägt ein größerer Anteil der Oberfläche zur Wärmeabfuhr bei als ohne Zwangskühlung. Die Spitzentemperatur der Gehäuseoberfläche sowie der Komponenten im Innern der Pumpe fällt dadurch insgesamt niedriger aus als ohne Kühlung.

**[0039]** Wird zur Kühlung des Positionssensors ein Teil des Luftstroms über den Positionssensor geleitet, wird dessen Temperatur im wesentlichen auf dem Niveau der Lufttemperatur im Gehäuseinneren gehalten. Da der Positionssensor zur Vermeidung von Meßfehlern zweckmäßigerweise relativ eng beim Magneten montiert ist, würde er ohne diese Maßnahme nahezu die Temperatur des Magneten annehmen, die ohne Kühlung durch einen Ventilator sehr viel höher als die allgemeine Lufttemperatur im Gehäuseinneren wäre, da der Magnet bei weitem die größte Quelle von Verlustwärme im Gerät darstellt.

**[0040]** Sind mit dem Hubdeckel Leitflächen und/oder Kanäle verbunden, die einen Teil des Luftstroms auf den Positionssensor leiten, erleichtert dies die gezielte Hinführung des Luftstroms auf den Positionssensor.

**[0041]** Wird ein weiterer Teil des Luftstroms auf die im Gehäusedeckel eingebaute Elektronik geleitet, kann deren Temperatur im wesentlichen auf dem Niveau der Lufttemperatur im Gehäuseinneren gehalten werden. Da die im Gehäusedeckel eingebaute Elektronik ebenfalls relativ eng beim Magneten montiert ist, würde sie ohne diese Maßnahme durch den Magneten aufgeheizt, dessen Temperatur ohne Kühlung durch einen Ventilator sehr viel höher als die allgemeine Lufttemperatur im Gehäuseinneren wäre.

**[0042]** Wird im Gehäuse der Magnetmantel im Innenraum freistehend so angeordnet, daß er zur Kühlung an seinem Umfang von einem Luftstrom umströmt werden kann, erleichtert dies die Kühlung des Magneten durch einen Ventilator.

#### Ausführungsbeispiel

**[0043]** Weist die Spulenwicklung eine reduzierte Windungszahl bei erhöhtem Drahtquerschnitt auf, ermöglicht dies schnelle Änderungen des Spulenstroms, wie sie für eine Regelung des Bewegungsablaufs des Magnetdruckstücks erforderlich sind.

**[0044]** Nachfolgend ist ein Ausführungsbeispiel der Erfindung mit seinen verschiedenen Anwendungs-

möglichkeiten näher beschrieben. Es zeigt:

**[0045]** [Fig. 1](#): Längsschnitt durch eine Magnetdosierpumpe mit geregelter Magneten

**[0046]** [Fig. 2](#): Explosionsdarstellung des Positionssensors (Vergrößerung des Ausschnitts X aus [Fig. 1](#))

**[0047]** [Fig. 3](#): Komponenten des Positionsregelkreises

**[0048]** [Fig. 4](#): Komponenten des Geschwindigkeitsregelkreises

**[0049]** [Fig. 5](#): Draufsicht auf den Positionssensor in Achsrichtung

**[0050]** [Fig. 6](#): Seitenansicht des Positionssensors quer zur Achse

**[0051]** [Fig. 7](#): Darstellung des Schattenbereichs des Positionssensors

**[0052]** [Fig. 8](#): Darstellung der Helligkeitswerte der Pixels, wie sie dem tatsächlichen Schattenverlauf entsprechen

**[0053]** [Fig. 9](#): Darstellung des Abbildungsmaßstabs des Positionssensors aufgrund geometrischer Anordnung

**[0054]** [Fig. 10](#): Interpolation der Positionsauflösung

**[0055]** [Fig. 11](#): Darstellung der Berechnungsgrundlage für die Interpolation der Positionsauflösung

**[0056]** [Fig. 12](#): Darstellung der Dosierleistung in Abhängigkeit von der mechanischen Hublänge und vom Arbeitsdruck

**[0057]** [Fig. 13](#): Darstellung des Konzepts der Kühlung

**[0058]** [Fig. 14](#): Oszillogramm eines Dosiervorgangs mit Kavitationsschutz beim Ansaugen

**[0059]** [Fig. 15](#): Oszillogramm eines Dosiervorgangs ohne Kavitationsschutz

**[0060]** [Fig. 16](#): Oszillogramm eines Dosiervorgangs mit elektronisch auf 0,9mm begrenzter Hublänge

**[0061]** [Fig. 17](#): Oszillogramm eines Dosiervorgangs mit gebremstem Anfahren des Endanschlags

**[0062]** [Fig. 18](#): Oszillogramm eines Dosiervorgangs mit Langsamdosierung

**[0063]** [Fig. 19](#): Darstellung der Dosierbewegung und des zugehörigen Magnetstrombedarfs bei Lang-

samdosierung mit Kavitationsschutz beim Ansaugen

[0064] **Fig. 1** zeigt einen Längsschnitt durch eine Magnetdosierpumpe (kurz MD genannt). Ein Gehäuse **1**, das im Bereich des Magneten (obere Außenseite) als Berührschutz gegen die heiße Oberfläche mit Gehäuserippen **3** versehen ist, geht auf der Unterseite in eine Bodenplatte **4** mit Befestigungsbohrungen über. Wie allgemein bekannt, ist im oberen Bereich des Gehäuses **1** der Magnetmantel **17** des Antriebsmagneten angeordnet. Die eine Stirnseite des Gehäuses wird von einem Gehäusedeckel **5** umschlossen, der auf das Gehäuse **1** aufgesetzt und mit diesem verbunden ist. Im Zentrum des Gehäusedeckels **5** und achsgleich zur Längsachse **18** des im Großen und Ganzen rotationssymmetrischen Magneten ist ein per Hand zu betätigendes Verstellorgan **7** für die Verstellung des Hubverstellbolzens **8** in den Gehäusedeckel integriert, das die Axialbewegung des Druckstücks **20** und damit den Hub der Membranpumpe begrenzt. Das Verstellorgan **7** sowie weitere Bedienelemente sind durch eine Abdeckhaube **9** geschützt. Unterhalb der Abdeckhaube **9** sind Anschlüsse für die Steuerleitungen **10** bzw. für die Stromversorgung **11** vorgesehen. Auf der der Abdeckhaube gegenüberliegenden Seite ist ein Dosierkopf **12** angeordnet, in dem eine z.B. aus Kunststoff gefertigte Membrane **13** an ihrem Umfang fest eingespannt ist. Der Dosierkopf **12** trägt weiterhin ein Einlassventil **14** und ein Auslassventil **15**, um das zwischen Membrane **13** und Dosierkopf **12** in dem Dosierraum **16** über das Einlassventil **14** angesaugte Dosierrmedium über das Auslassventil **15** in die Dosierleitung zu drücken. Die Magnetdosierpumpe arbeitet nach dem volumetrischen Prinzip, d.h. ein vorgegebenes Volumen soll bei jedem Hub einerseits angesaugt und andererseits über das Auslassventil **15** ausgestoßen werden. Die Membran **13** wird über den Antrieb hierzu in eine oszillierende Bewegung versetzt. Als Antrieb für die Membran **13** dient, wie die Bezeichnung „Magnetdosierpumpe“ aussagt, ein Elektromagnet, gebildet durch einen rotationssymmetrischen Magnetmantel **17**, in welchem eine rotationssymmetrische Magnetspule **2** integriert ist. Die Magnetspule **2** wird von einem ebenfalls rotationssymmetrischen Spulenträger **51** aus Kunststoff gebildet, der mit einer Spulenwicklung **29**, bestehend aus einer Vielzahl von Windungen aus Kupferlackdraht, bewickelt ist. So umfasst die Magnetspule z.B. 800 Windungen mit einem Drahtdurchmesser von ca. 1 mm. Der Spulenträger und die Wicklung sind entsprechend den Anforderungen der Arbeitsspannung ausgelegt und können durch weitere Isolationsmittel wie z.B. Folien zusätzlich isoliert sein. Der Magnetmantel **17**, ein rotationssymmetrischer Massivkörper, umschließt zusammen mit der Magnetscheibe **25**, die den magnetischen Kreis vom Magnetmantel **17** zum Druckstück **20** hin schließt, das Druckstück **20** mit der im Zentrum des Druckstücks angeordneten Schubstange **19**, die zusammen mit dem Druckstück

axial verschiebbar ist. Zur Seite des Hubverstellbolzens **8** hin wirkt die Schubstange **19** mit dem Verstellorgan **7** als per Hand verstellbare Hubverstellvorrichtung zusammen. Mit dem gegenüberliegenden Ende wirkt die Schubstange **19** mit der elastischen Membran **13** zusammen. Auf dem zum Hubverstellbolzen **8** zeigenden Teil der Schubstange **19** ist das Druckstück **20** fest mit der Schubstange verbunden. Auf dem zum Dosierkopf **12** zeigenden Teil der Schubstange **19** ist der Kern **30** der Membran **13** fest mit der Schubstange verbunden. Die Schubstange **19** mit Druckstück **20** ist in einer im Zentrum des Magnetmantels **17** angeordneten Buchse **26** axial verschiebbar gelagert. In der zum Druckstück **20** weisenden inneren Stirnfläche **24** des Magnetmantels ist ein O-Ring **21** angeordnet, der den Anschlag der inneren Stirnfläche **22** des Druckstücks gegen die gegenüberliegende innere Stirnfläche **24** des Magnetmantels im Bedarfsfall dämpft. Innerhalb der inneren Stirnfläche **24** des Magnetmantels ist weiterhin in einer zur inneren Stirnfläche **22** des Druckstücks hin zeigenden Bohrung eine Druckfeder **23**, z.B. eine Spiralfeder, angeordnet, die bei nicht angesteuertem Magneten das Druckstück von der inneren Stirnfläche des Magnetmantels **24** auf Abstand hält, so dass zwischen den beiden Stirnflächen ein Luftspalt entsteht. Auf der dem Hubverstellbolzen **8** zugewandten Seite trägt der Magnetmantel eine Magnetscheibe **25**, die fest mit dem Magnetmantel durch z.B. Schrauben oder Einpressen verbunden ist und die den magnetischen Kreis vom Magnetmantel zum Druckstück hin schließt. Die äußere Fläche des rotationssymmetrischen Druckstücks ist in der Magnetscheibe **25** in einer weiteren Buchse **27** axial verschiebbar gelagert. Am Magnetmantel ist auf der Seite der Verstellvorrichtung zur Lagerung des Hubverstellbolzens **8** ein Hubdeckel **28** befestigt, der so ausgeformt ist, daß er einerseits zum Magnetmantel und zum Druckstück genügend Abstand hält, um die Bewegung des Druckstücks nicht zu behindern und andererseits die durch den Ventilator **43** verursachte Luftströmung gezielt auf den Positionssensor **36** lenkt. Verstelleinrichtung, Hubverstellbolzen und Schubstange sind achsgleich mit der Längsachse **18** angeordnet. Wird nun die Magnetspule **2** mit Strom beaufschlagt, so wird das Druckstück **20** zur Druckfeder hin bewegt, wobei sich der Luftspalt verengt, gleichzeitig wird die Membran in den Dosierraum gedrückt, was zur Folge hat, dass im Dosierraum ein Überdruck entsteht, das Auslassventil **15**, z.B. ein federbelastetes Kugelventil, sich öffnet und das Dosierrmedium in die Dosierleitung gedrückt wird. Wird nun der Magnet deaktiviert, so wird das Druckstück durch die zusammengedrückte Druckfeder **23**, die z.B. als Spiralfeder ausgebildet sein kann, in die entgegengesetzte Richtung zum Hubverstellbolzen **8** bewegt, was zur Folge hat, dass die mit der Membran **13** verbundene Schubstange **19** die Membran in ihrer Bewegung mitnimmt, wodurch im Dosierraum **16** ein Unterdruck entsteht, der das Einlassventil **14** öffnet,

so dass ein weiteres Mal Dosiermedium in den Dosiererraum eingesaugt werden kann. Durch die abwechselnde, oszillierende Bewegung der Membran mittels des Magnetantriebs entsteht der Förderstrom des Dosiermediums in der Dosierleitung.

**[0065]** Die Position der Einheit aus Schubstange **19**, Druckstück **20** und Membran **13** wird durch den Positionssensor **36** abgetastet, dessen Meßsignal in einer definierten Beziehung zu dieser Position steht; diese Beziehung kann als mögliche Ausführung z.B. streng proportional sein. Das Meßsignal des Positionssensors **36** bezieht sich dabei stets auf die Position des Teils der beweglichen Einheit, an dem dieser angreift. Dieser Angriffspunkt wird durch das Bezugselement gebildet, welches in diesem Zusammenhang in abstraktem Sinn zu verstehen ist. Je nach Anforderungen des Positionssensors kann es als konkretes, zusätzlich zu montierendes Bauteil ausgeführt sein, aber auch lediglich aus einer charakteristischen Ausbildung z.B. einer Kante oder Fläche an einer der ohnehin erforderlichen Komponenten, z.B. am Druckstück **20**, bestehen.

**[0066]** Beim Ausführungsbeispiel ist am Magnetmantel **17** ein Sensorträger **31** befestigt (siehe auch die schematische Darstellung in [Fig. 6](#)), der einerseits in Längserstreckung lichtempfindliche CCD-Zellen **32** (CCD = charged coupled device; ladungsgekoppelter optischer Empfängerbaustein) und gegenüberliegend eine Lichtquelle **33**, z.B. eine Leuchtdiode (LED), trägt.

**[0067]** Der mit dem Magnetmantel verbundene Sensorträger **31** hat eine zentrale Öffnung **34**, die von der Schubstange **19** durchdrungen wird. Auf dem den Sensorträger **31** durchdringenden Schubstangenteil ist als Bezugselement ein Schattenkörper **35** ortsfest angeordnet. Bei der oszillierenden Bewegung der Schubstange **19** wird also der Schattenkörper **35** mitgenommen und überstreicht berührungsfrei die lichtempfindlichen Zellen **32**. Wie nun insbes. [Fig. 5](#) zeigt, die eine Ansicht in Achsrichtung darstellt, muss die Lichtquelle so angeordnet sein, dass der Lichtstrahl auf seinem Weg zu den lichtempfindlichen Zellen nicht durch die Schubstange **19** abgedeckt wird; d.h. z.B., dass die Lichtquelle **33** oberhalb oder unterhalb der Schubstange **19** angeordnet ist und die Zeile der lichtempfindlichen Zellen gegenüber in Höhe der Achse der Schubstange liegen. Wie nun insbes. in [Fig. 7](#) dargestellt ist, wird durch die Lichtquelle mittels des Schattenkörpers **35** auf die lichtempfindlichen Zellen **32** ein Schatten geworfen, der die Zellen im Grundsatz in beschienene (h) und nicht beschienene (d) Zellen unterteilt. Da die Reihe der parallel zur Längsachse **18** angeordneten lichtempfindlichen Zellen, z.B. 128 Pixels, die eine Strecke von insgesamt ca. 8mm abdecken, im Grenzbereich nur teilweise belichtet bzw. beschattet wird, entsteht die in [Fig. 8](#) dargestellte Übergangssituation

des Schattenverlaufs SV. Die Höhe der in [Fig. 8](#) dargestellten rechteckigen Flächen stellt dabei die Beleuchtungsstärke der jeweiligen Pixels dar. Durch ein spezielles Verfahren, das später eingehend beschrieben wird und in [Fig. 10](#) dargestellt ist, wird diese Grenzsituation genutzt, um die jeweilige Position des Schattenkörpers und damit die Stellung der Schubstange und damit der Membrane genau zu bestimmen. Diese Messeinrichtung, bestehend aus schubstangenseitigem Schattenkörper und sensorträgerseitigen lichtempfindlichen CCD-Zellen mit gegenüberliegender Lichtquelle, dient dazu, die tatsächliche Lage bzw. die Geschwindigkeit der oszillierenden Schubstange zu messen und diese Information für die Regelung der Bewegung zu nutzen.

**[0068]** Die Schubstange, die die Membran in eine oszillierende Bewegung versetzt, legt bei jedem Hub eine Strecke zurück, die der mechanischen Hublänge entspricht. Um Montagetoleranzen zu berücksichtigen, muß die Längserstreckung der lichtempfindlichen CCD-Zellen etwas größer sein. Dies gilt prinzipiell auch für jeden anderen denkbaren zum Einsatz kommenden Positionssensor.

**[0069]** Für den aus dem Sensor und der Regeleinrichtung gebildeten Regelkreis sind, wie insbesondere in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) dargestellt, die nachfolgend genannten mechanischen und elektronischen Komponenten erforderlich. Die in den beiden Diagrammen enthaltenen Kurzbezeichnungen bedeuten dabei:

$x_S$ :	Sollwert der Position des Druckstücks
$x_I$ :	Istwert der Position des Druckstücks
$x_{SI}$ :	Regelabweichung der Position des Druckstücks
$v_S$ :	Sollwert der Geschwindigkeit des Druckstücks
$v_I$ :	Istwert der Geschwindigkeit des Druckstücks
$v_{SI}$ :	Regelabweichung der Geschwindigkeit des Druckstücks
SG:	Stellgröße
KSG:	Korrigierte Stellgröße
$I_M$ :	Magnetstrom

**[0070]** Der feststehende Teil des Magnetantriebs besteht aus dem Magnetmantel **17** mit Magnetspule **2** und der Magnetscheibe **25** jeweils mit eingelegten Gleitlagerbuchsen **26** bzw. **27** für die Einheit aus Druckstück **20** und Schubstange **19**. Der bewegliche Teil des Magnetantriebs, dessen Bewegung geregelt werden soll, besteht aus der Schubstange **19**, mit der das Druckstück **20** als Antriebselement sowie der Membrankern **30** fest verbunden sind. Die Rückholfeder **23** holt das Druckstück nach erfolgtem Arbeitshub zurück und bewirkt so das Ansaugen. Der äußere Ring der Membran **13** ist im Dosierkopf **12** fest montiert, der in der Membran eingespritzte metallene

Membrankern **30** bewegt die zentrale Fläche der Membran als Verdrängerelement im Dosierkopf.

**[0071]** Das Einlassventil **14** schließt auf der Ansaugseite, das Auslassventil **15** auf der Druckseite den Dosierkopf ab und bietet jeweils eine Anschlussmöglichkeit für die äußere Verrohrung. Mit der Schubstange **19** ist z.B. am dem Dosierkopf abgewandten Ende ein Bezugsselement verbunden, dessen Position von einem im vorliegenden Fall berührungsfrei arbeitenden Positionssensor **36** abgetastet wird. Im Ausführungsbeispiel ist das Bezugsselement ein Schattenkörper **35** in Form einer Scheibe und der Positionssensor eine lichtschrankenähnliche Anordnung, bestehend aus der vorher beschriebenen Lichtquelle **33** im Zusammenwirken mit der Reihe lichtempfindlicher Zellen **32**, welche die Position der Scheibe optisch und damit berührungsfrei durch deren Schattenbildung erfaßt.

**[0072]** Der Positionssensor **36** gibt ein Istsignal  $x_i$  ab, welches der Position des Bezugsselements **35** proportional ist. Im Falle des Geschwindigkeitsreglers wird dieses im Ausführungsbeispiel durch einen Differenzierer **37** nach der Zeit abgeleitet ( $dx_i/dt$ ) und so zusätzlich ein geschwindigkeitsproportionales Istsignal  $v_i$  gebildet. Für die Regelung sind selbstverständlich auch andere Methoden geeignet, die ein zur Membrangeschwindigkeit proportionales Signal bereitstellen. Je nach Typ der Regelung und Erfordernissen der Dosierung wird ein zeitliches Profil für den Sollwert **38** der Position  $x_s$  bzw. der Geschwindigkeit  $v_s$  vorgegeben. Durch einen Soll-Ist-Vergleich **39** wird die Regelabweichung als Positionsabweichung  $x_{si} = (x_s - x_i)$  bzw. Geschwindigkeitsabweichung  $v_{si} = (v_s - v_i)$  ermittelt, und das Ergebnis wird auf einen PID-Regler **40** gegeben (PID-Regler = Regler mit Proportional-, Integral- und Differentialanteil). Dessen Ausgang, die Stellgröße SG, entspricht einem Anforderungswert für den Magnetstrom. Vor der weiteren Verarbeitung wird durch eine Lagekorrektur **41** die Tatsache berücksichtigt, dass der Magnet mit fortschreitender Position immer weniger Strom für eine geforderte Kraft benötigt, und dadurch die Stabilität des Reglers verbessert. Die Lagekorrektur **41** besteht im Subtrahieren eines positionsproportionalen Anteils vom Ausgangssignal des PID-Reglers **40** und ergibt eine korrigierte Stellgröße KSG. Ein Verstärker **42** beinhaltet die Leistungsschaltstufen und steuert die Magnetspule **2** mit dem gewünschten Strom an. Der Betrag der positionsabhängigen Stromkorrektur, die Umsetzung des Stromsollwerts in einen konkreten Magnetstrom sowie ggf. die Ableitungskonstante für die Bildung des Geschwindigkeitssignals  $v_i$  werden durch die drei Proportionalitätsfaktoren  $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$  festgelegt. Der Faktor für die positionsabhängige Stromkorrektur  $k_1$  ist so zu wählen, dass der Grad der Stromreduktion dem Verlauf der Magnetkennlinie möglichst gut annähert wird, die beiden Faktoren  $k_2$  für den Leistungs-

verstärker bzw.  $k_3$  für die Ableitung des Geschwindigkeitssignals können anhand praktischer Gesichtspunkte gewählt werden, wie z.B. das Arbeiten mit möglichst gut handhabbaren Wertebereichen der zugehörigen Größen.

**[0073]** In der [Fig. 3](#) ist der Regelkreis für einen Positionsregler, in [Fig. 4](#) ist der Regelkreis bei Einsatz als Geschwindigkeitsregler schematisch dargestellt. Der beschriebene Regelkreis setzt das vorgegebene zeitliche Profil für den Sollwert der Position  $x_s$  bzw. der Geschwindigkeit  $v_s$  um, natürlich im Rahmen seiner möglichen Regelgenauigkeit.

**[0074]** Die Festlegung des konkreten Profils für die Position, die Geschwindigkeit bzw. die Beschleunigung und die Umschaltung zwischen diesen Betriebsarten geschieht dabei anhand der Anforderungen, die sich aus den beispielsweise nachfolgend beschriebenen Funktionen ergeben, unter Berücksichtigung der Funktionsgrenzen des Reglers wie Regelgeschwindigkeit, erreichbare Genauigkeit usw.

**[0075]** Mit einer derartigen Regelung ist es bei einer Magnetdosierpumpe möglich, eine gewünschte Geschwindigkeit der Membran **13** vorzugeben und so die effektive Strömungsgeschwindigkeit des Dosiermediums zu kontrollieren.

**[0076]** Ebenso kann die Membranposition unmittelbar geregelt werden. Diese Funktion ermöglicht, in ausgewählten Phasen des Dosiervorgangs bestimmte Positionen gezielt anzufahren und wenn erforderlich auch im Stillstand einzuhalten.

**[0077]** Durch die Regelung des Bewegungsablaufs mittels eines Positionsgebers kann im Unterschied zu einem unregelmäßigen Betrieb auf Änderungen von Betriebsgrößen reagiert werden, die über die Zeit auftreten oder durch Umweltbedingungen bzw. Exemplarstreuungen, also statistische Abweichungen innerhalb der Produktionsserie, bedingt sind, und deren schädlicher Einfluß minimiert werden. Als Beispiele seien die MembranstEIFigkeit oder die Viskosität des Dosiermediums genannt. Beide erfordern einen Anteil an Magnetkraft, der zusätzlich zu der Kraft aufgebracht werden muß, die durch das Einwirken des Arbeitsdrucks auf die Membranfläche entsteht. Diese Störeinflüsse können durch Erfassung ihrer Auswirkung und Nachregeln des Magnetstroms kompensiert werden. Bei einer unregelmäßigen Dosierpumpe mit vorgegebenem Magnetstrom, auch wenn dieser selbst mittels Regelung stabilgehalten wird, bleiben solche Störeinflüsse unberücksichtigt.

**[0078]** Darüber hinaus ist es durch die Regelung des Bewegungsablaufs mittels eines Positionsgebers möglich, im Gegensatz zu dem spontan ablaufenden Dosiervorgang bei unregelmäßigem Betrieb auf innere und äußere Einflußgrößen zu reagieren, die

im Folgenden beschrieben sind, und Betriebsbedingungen sicherzustellen, mit deren Hilfe ausgewählte hydraulische Eigenschaften der Dosierung gezielt hervorgerufen bzw. vermieden werden können. Als Beispiel hierfür sei auf die weiter unten beschriebene Funktion des Schutzes vor Kavitation beim Ansaugen verwiesen.

**[0079]** Nachfolgend seien beispielsweise einzelne Einsatzmöglichkeiten einer Magnetdosierpumpe der vorher beschriebenen Art erläutert, die einen Positionssensor aufweist und mittels einer Regelung und Veränderung des Magnetspulenstroms den Bewegungsablauf der Membran beeinflusst.

**[0080]** Bei der Beschreibung dieser Einsatzmöglichkeiten zeigen die [Fig. 14](#) bis [Fig. 19](#) beispielhaft Oszillogramme des jeweiligen Dosiervorgangs. Dabei stellt in den Diagrammen jeweils die obere Kurve Pos die Membranbewegung mit einer Skalierung von 0,5mm/Div. dar; der Endanschlagspunkt EPos liegt am oberen Rand des Diagramms. Der ansteigende Teil der Kurve Pos entspricht dem Dosierhub, der fallende Teil dem Ansaugen. Die untere Kurve  $I_M$  zeigt den zugehörigen Magnetstrom mit einer Skalierung von 1 A/Div.; die Nulllinie  $I_{M0}$  liegt am unteren Rand des Diagramms. Die Bezeichnungen "Pos", "EPos", " $I_M$ " und " $I_{M0}$ " sind in der [Fig. 14](#) beispielhaft aufgeführt und gelten in sinngemäß gleicher Weise bei den nachfolgenden Diagrammen [Fig. 15](#) bis [Fig. 19](#), ohne dort nochmals ausdrücklich erwähnt zu sein.

#### Vermeidung von Strömungsverlusten bei hochviskosen Medien

**[0081]** Die Funktion, die Geschwindigkeit der Membran **13** zu regeln, kann insbesondere bei hochviskosen Medien (z.B. Lecithin) zur Begrenzung von Strömungsverlusten in Ventilen und anderen Engstellen genutzt werden. Hohe Strömungsgeschwindigkeiten haben bei solchen Medien durch zusätzliche Druckverluste infolge von Strömungswiderständen einen negativen Einfluss auf die Dosiergenauigkeit. Zusätzlich ist es hier von Vorteil, wenn durch die begrenzte Geschwindigkeit mehr Zeit für das definierte Öffnen und Schließen der Ventile zur Verfügung gestellt wird. Beide Effekte verbessern insgesamt die Dosiergenauigkeit bei hochviskosen Medien.

**[0082]** Um dies zu erreichen, wird während des gesamten Dosiervorgangs die Membrangeschwindigkeit auf einen wählbaren Maximalwert begrenzt gehalten. Diese Maximalgeschwindigkeit hängt u.a. von der Viskosität des konkret zu dosierenden Mediums ab und ist z.B. in Form mehrerer auf gängige Anwendungsfälle abgestimmter vordefinierter Werte durch den Betreiber auszuwählen oder direkt vorzugeben.

**[0083]** Bei leicht ausgasenden Medien (wie z.B. Chlorbleichlauge) kann insbesondere beim Ansaugen, aber auch im Dosierhub bei zu hoher Strömungsgeschwindigkeit an Engstellen durch örtliches Unterschreiten des Dampfdrucks, der u.a. von der chemischen Zusammensetzung des Dosiermediums sowie dessen Temperatur abhängt, Kavitation auftreten, die erhöhten Verschleiß zur Folge hat. Kavitation kann vermieden werden, indem auch während des Ansaugens, also des Zurückfahrens der Membran **13**, die Geschwindigkeit durch Regelung auf Werte deutlich unterhalb einer kritischen Strömungsgeschwindigkeit begrenzt wird. Hierzu wird durch die Regelung während des Zurückfahrens der Kraft der Rückholfeder **23** eine bremsende Kraft des Magneten entgegengesetzt und die mit der Mediumsgeschwindigkeit korrespondierende Membrangeschwindigkeit auf beispielsweise 1mm/50ms begrenzt.

**[0084]** [Fig. 14](#) zeigt beispielhaft das Oszillogramm eines Dosiervorgangs bei einer Hubdauer von 400ms, einer Hublänge von 2mm und Nennarbeitsdruck von 10bar mit aktiviertem Kavitationsschutz beim Ansaugen.

**[0085]** [Fig. 15](#) zeigt bei sonst gleichen Einstellungen das Oszillogramm eines Dosiervorgangs bei sich selbst frei überlassenem Ansaugen.

**[0086]** Während des Ansaugens wird in [Fig. 14](#) die Geschwindigkeit durch entsprechendes Ansteuern der Magnetspule **2** auf einen Wert von ca. 1 mm/50ms begrenzt, d.h. die Regeleinrichtung verhindert, daß sich die Membran getrieben durch die Rückholfeder **23** schneller als mit der genannten Geschwindigkeit zurückbewegen kann; das Diagramm zeigt den Magnetstromfluß während der Ansaugphase, der dies sicherstellt. In [Fig. 15](#) unterbleibt das Ansteuern des Magneten während der Ansaugphase, hier findet währenddessen kein Magnetstromfluß statt. Es ergibt sich phasenweise eine deutlich höhere Geschwindigkeit, die bereits Kavitation zur Folge haben kann.

#### Elektronische Hublängenverstellung

**[0087]** Die Erfindung ermöglicht es, die mechanische Einrichtung zur Hublängeneinstellung (Verstellorgan **7** und Hubverstellbolzen **8**) einzusparen. Hierzu wird der Regeleinrichtung die gewünschte Hublänge auf elektronischem Weg, z.B. durch eine Bedieneingabe, mitgeteilt. Wurde die gewünschte Hublänge ausgeführt, wird die erreichte Position der Membran **13** elektronisch gehalten und diese im Anschluss zum Ansaugen zurückgefahren. Die Membran kann in der der Sollhublänge entsprechenden Position noch kurz verharren, um dem Auslassventil **15**

ausreichend Zeit zum Schließen zu geben, oder auch nach Ausführen der Sollhublänge unmittelbar zurückfahren.

**[0088]** [Fig. 16](#) zeigt beispielhaft das Oszillogramm eines Dosiervorgangs bei einer Hubdauer von 400ms und Nennarbeitsdruck von 10bar mit einer elektronisch begrenzten Hublänge von 0,9mm. Wie dem Diagramm zu entnehmen ist, fährt die Membran nicht vollständig bis zum Endanschlag am oberen Rand des Diagramms, sondern wird nach 0,9mm ausgeführter Bewegung angehalten und führt im Anschluß den Ansaugvorgang aus.

Erfassung der Stellung des Einstellreglers für die Hublänge

**[0089]** Dosierpumpen nach dem Stand der Technik bieten oft eine Betriebsart, in der die ausgeführten Dosierhübe über das eingestellte Volumen der Verdrängerkammer (Hublänge) direkt in ein dosiertes Gesamtvolumen umgerechnet werden und dieses z.B. als Volumenstrom in der Einheit l/h angezeigt wird. Für solche Funktionen ist die Kenntnis über die durch den Bediener eingestellte Hublänge erforderlich, da hiervon das pro Hub dosierte Volumen abhängt. Die Stellung der Hubverstellrichtung muss zu diesem Zweck bei Dosierpumpen bisheriger Bauart durch einen separaten Sensor in ein elektrisches Signal umgewandelt und in die Steuerung eingelesen werden. Ein Beispiel für eine praktische Realisierung wäre ein Drehgeber am Hubverstellorgan.

**[0090]** Eine bewegungsgeregelte Dosierpumpe benötigt einen zusätzlichen Sensor nicht, da sie mithilfe des integrierten Positionssensors den tatsächlich abgefahrenen Membranweg während des Hubs erfassen kann. Durch Differenzbildung der beiden Positionswerte in den Endstellungen, die jeweils nach Erreichen des mechanischen Anschlags gemessen werden können, sobald die Bewegung zum Erliegen gekommen ist, kann die Hublänge direkt berechnet werden und steht für die weitere Verarbeitung zur Verfügung.

Vermeidung von Druckspitzen

**[0091]** Bei einer Magnetdosierpumpe bisheriger Ausführung wird das Dosiermedium beim Öffnen des Auslaßventils relativ schlagartig geöffnet, was eine hohe Beschleunigung des Dosiermediums und eine entsprechende Druckspitze zur Folge hat. Des Weiteren bewegt sich die Membran und damit auch das Dosiermedium bei einer Magnetdosierpumpe bisheriger Ausführung besonders im letzten Teil der Hubbewegung durch den kleiner werdenden Luftspalt sehr schnell, was mit einem harten Anschlagen des Druckstücks und hohen momentanen Strömungsgeschwindigkeiten bzw. Druckspitzen verbunden ist.

**[0092]** Eine bewegungsgeregelte Magnetdosierpumpe, wie sie beschrieben wurde kann diese negativen Effekte vermeiden, indem die Geschwindigkeit bis zum Öffnen des Auslaßventils und kurz vor Erreichen des Endanschlags gezielt abgesenkt und das Druckstück dosiert auf dem letzten Wegstück kurz vor dem Anschlag gebremst wird. In Abwandlung besteht auch die Möglichkeit, den Anschlag gar nicht anzufahren, sondern die Membranbewegung kurz vor Erreichen des Anschlags gezielt zu beenden. Damit kann z.B. der O-Ring **21** entfallen bzw. wesentlich kleiner dimensioniert werden. Darüber hinaus vermindert dies erheblich das Laufgeräusch.

**[0093]** [Fig. 17](#) zeigt beispielhaft das Oszillogramm eines Dosiervorgangs bei einer Hubdauer von 400ms, einer Hublänge von 2mm und Nennarbeitsdruck von 10bar mit gebremstem Anfahren des Endanschlags. Wie das Diagramm zeigt, wird die Geschwindigkeit der Membran vor Erreichen des Endanschlags am oberen Rand des Diagramms auf einen Wert von ca. 0,6mm/50ms herabgesetzt.

Vermeidung von Überförderung

**[0094]** Bei einer Magnetdosierpumpe bisheriger Ausführung tritt bei sehr geringem Gegendruck die sog. Überförderung ein. Sie entsteht dadurch, daß am Ende des Dosierhubs das Auslaßventil nicht sofort schließt, sondern das Dosiermedium in einer Art Hebereffekt durch seine hohe Geschwindigkeit in Verbindung mit seiner Massenträgheit den Dosierkopf weiter durchströmt, indem es das Einlaßventil vorzeitig öffnet, so daß eine überschüssige Menge Dosiermedium in die Ausgangsleitung gelangt. Durch die Überförderung sind unregelmäßige Pumpen erst ab einem Mindestarbeitsdruck von z.B. 2–3bar sinnvoll einzusetzen; um diesen sicherzustellen, wird üblicherweise ein sog. Druckhalteventil in die abgehende Dosierleitung eingefügt.

**[0095]** Bei einer bewegungsgeregelten Magnetdosierpumpe kann durch elektronische Begrenzung der Membrangeschwindigkeit kurz vor Erreichen des Endanschlags oder auch während des gesamten Dosierhubs der für die Überförderung verantwortliche Hebereffekt praktisch vollständig vermieden werden. Der Arbeitsbereich der Dosierpumpe erweitert sich dabei so erheblich zu kleinen Arbeitsdrücken hin, dass ein Druckhalteventil bei vielen praktisch auftretenden Dosiersituationen entfallen kann.

**[0096]** Der Bewegungsablauf entspricht dem zuvor in [Fig. 17](#) gezeigten mit dem Unterschied, daß er sich auf eine Situation bei besonders niedrigem Arbeitsdruck bezieht.

## Langsamdosierung zur Vermeidung von Konzentrationschwankungen

**[0097]** Für bestimmte Anwendungsfälle, bei denen es auf gute Vermischung mit einem Prozessmediumsstrom ankommt, ist eine möglichst gleichmäßige Einbringung des Dosiermediums in den Prozess erforderlich.

**[0098]** Bei einer bewegungsgeregelten Magnetdosierpumpe kann die zur Verfügung stehende Zeit, die sich aus der Wiederholfrequenz der Dosierhübe ergibt, so aufgeteilt werden, dass der nach Abzug der Ansaugdauer verbleibende Anteil bis auf eine kurze Ruhephase maximal für die Vorwärtsbewegung ausgenutzt wird. Die zu regelnde Geschwindigkeit wird hierbei aus dem zurückzulegenden Weg (eingestellte Hublänge) und der zur Verfügung stehenden Zeit berechnet. Der Grad der Ausnutzung der zur Verfügung stehenden Zeit richtet sich einerseits nach den Anforderungen der Dosieranwendung, andererseits nach den Möglichkeiten des Kühlungskonzepts, das die erhöhte thermische Verlustleistung aufgrund der fast ununterbrochenen Magnetansteuerung abführen muss.

**[0099]** [Fig. 18](#) zeigt beispielhaft das Oszillogramm eines Dosiervorgangs bei einer Hubdauer von 500ms, einer Hublänge von 2mm und Nennarbeitsdruck von 10bar in der Betriebsart Langsamdosierung, hier kombiniert mit verlangsamtem Ansaugen zum Schutz vor Kavitation. Wie das Diagramm zeigt, wird die Gesamthubdauer von 500ms auf einen Druckhub über ca. 250ms und einen Ansaugvorgang über ca. 180ms umgelegt, die zusammengenommen einen Anteil von 430ms oder 86% der Gesamthubdauer darstellen; die verbleibenden 70ms werden zur definierten Abgrenzung der Bewegungsphasen genutzt.

**[0100]** Bestimmte Anwendungen erfordern die Möglichkeit, kleinste Teilmengen über sehr lange Zeit verteilt möglichst gleichmäßig zu dosieren, womit eine quasi kontinuierliche Dosierung erreicht werden soll. Für diese Fälle werden nach dem Stand der Technik Motorpumpen eingesetzt, die z.B. mit einem Schrittmotor und einem selbsthemmenden Getriebe arbeiten. Ein Gesamthub wird bei diesen Dosierpumpen drehzahlreduziert ausgeführt bzw. in mehrere Teilschritte mit dazwischenliegenden Ruhephasen aufgeteilt, am Ende des Gesamthubweges wird eine vollständige (schnelle) Ansaugphase ausgeführt, und danach der Dosiervorgang in der beschriebenen Weise fortgeführt.

**[0101]** Die Erfindung ermöglicht es, diese Anforderungen mit dem einfacheren und damit kostengünstigeren Aufbau einer Magnetdosierpumpe zu erfüllen. Die Membran **13** muss hierzu im geregelten Betrieb mit sehr niedriger Geschwindigkeit entlang des Hub-

wegs geführt werden, wobei am Hubende ebenfalls eine vollständige Ansaugphase mit normaler Geschwindigkeit ausgeführt wird, so daß die Gesamthubdauer fast vollständig für den Druckhub genutzt werden kann. Die Geschwindigkeit kann in einem sehr weiten Bereich von z.B. 1 mm/min bis 1 mm/s und darüber hinaus liegen.

**[0102]** Eine mögliche Ausführung kann zwischen Teilbewegungen kleine Ruhephasen einlegen, bei denen die Membran **13** in einer konstanten Position gehalten wird. Dies ermöglicht dem Auslassventil **15** klar definierte Zustände, die bei extrem langsamer, dem Stillstand nahekommender Bewegung nicht mehr gegeben sind, woraus sich hohe Anforderungen an das Auslassventil **15** ergeben. Die thermische Belastung unterscheidet sich bei dieser Ausführungsvariante gegenüber der linear bewegten Version praktisch nicht, da in beiden Fällen dem Arbeitsdruck eine quasi statische Magnetkraft entgegengesetzt werden muss.

**[0103]** Eine weitere mögliche Ausführung kann die thermische Belastung reduzieren, indem die Hubbewegung wie im vorangehend beschriebenen Fall in kleine Teilbewegungen aufgeteilt wird und in den dazwischenliegenden Stillstandsphasen die Membran **13** zusätzlich jeweils um einen kleinen Entlastungsweg zurückgefahren wird, um eine Druckentlastung durch eindeutiges Schließen des Auslassventils **15** und damit einhergehend einen reduzierten Magnetkraftbedarf während der Stillstandsphasen zu erreichen. Die Teilhübe sind dann jeweils um diesen Entlastungsweg zu ergänzen, so dass insgesamt ein unveränderter Hubweg zurückgelegt wird. Der Entlastungsweg muss kleiner als der (druckabhängige) Verformungsweg der Membran sein, um zu vermeiden, dass beim Zurückfahren zwischen den Teilhüben ein teilweises Ansaugen stattfindet und so die Genauigkeit verschlechtert wird. Diese Ausführungsvariante arbeitet vorteilhaft in Verbindung mit der nachfolgend beschriebenen Druckkompensation, da bei dieser die Verformung der Membran im Betrieb gemessen wird und der Entlastungsweg den tatsächlichen Verhältnissen dadurch besser angepasst werden kann.

## Druckkompensation

**[0104]** Bei der geregelten Bewegung stellt der Regler im Gleichgewichtszustand (d.h. im eingeschwungenen Zustand) zu jedem Zeitpunkt einen Magnetstrom ein, der die (zeitlich veränderlichen) äußeren Kräfte gerade abdeckt.

**[0105]** Dieser Magnetstrombedarf ergibt sich einerseits aus der momentan aufzubringenden Kraft und andererseits aus dem mit fortschreitendem Membranweg sich ergebenden jeweiligen Restluftspalt zwischen innerer Stirnfläche des Druckstücks **22** und der inneren Stirnfläche des Magnetmantels **24**. Es ergibt

sich ein charakteristischer Stromverlauf  $I_M$  während des Dosierhubs, wie er insbesondere in [Fig. 19](#) dargestellt ist. Das dort abgebildete Oszillogramm zeigt beispielhaft den Stromverlauf bei einem über ca. 2,0s verteilten Hub über eine Hublänge von 2mm und Nennarbeitsdruck von 10bar. Am Ende des Hubs findet ein verlangsamtes Ansaugen zum Schutz vor Kavitation statt, was jedoch für die nachfolgende Betrachtung nicht von Bedeutung ist. Der zeitliche Abbildungsmaßstab des Diagramms wurde an den langsameren Hub angepaßt.

**[0106]** Die untere Kurve  $I_M$  zeigt anfangs einen relativ steilen Stromanstieg, bis die Membran **13** sich in Bewegung setzt. Nach einem kurzen Überspringen steigt der Strom mit fortschreitender Bewegung zunächst weiter an bis zum Erreichen eines Strommaximums. Ab diesem Punkt fällt der Strom für den restlichen Weg ungefähr linear ab bis zum Erreichen des Endanschlags EPos. In der Ansaugphase verhindert ein weiterer Stromfluß ein zu schnelles Zurücklaufen der Membran als Schutz vor Kavitation. Aus diesem charakteristischen Verhalten können folgende Rückschlüsse gezogen werden:

- Der erste schnelle Stromanstieg (im Beispieldiagramm der Zeitbereich 0 bis 80ms) wird verursacht durch das induktive Verhalten der Magnetspule **2**, welches keine Stromänderung in Nullzeit zulässt, sowie die Geschwindigkeit der Regeleinrichtung, die sich zunächst auf die geforderte Bewegung einstellen muss. Der ansteigende Strom lässt die Magnetkraft ansteigen, bis die äußeren Kräfte überwunden werden und sich das Druckstück **20** zusammen mit der Membran **13** in Bewegung setzt. In dieser Phase wird in erster Linie das Magnetfeld aufgebaut.
- Der quasi lineare Stromanstieg nach dem ersten Regeleinschwingvorgang bis zum eigentlichen Strommaximum (im Beispieldiagramm der Zeitbereich 80ms bis 400ms) lässt auf einen ansteigenden Kraftbedarf schließen, da der Magnetstrom bei konstanter Kraft und abnehmendem Luftspalt gleichfalls abnehmen müsste. In dieser Phase wird im Dosierraum **16** bei noch geschlossenem Auslaßventil **15** der Innendruck kontinuierlich erhöht, indem die Membran **13** eine zunehmende Kraft ausübt und sich dabei elastisch verformt. Bei diesem Vorgang bewegt sich der Membrankern **30** in den Dosierraum **16** hinein, baut Druck auf, und der elastische Walkbereich der Membran weicht in gleichem Maß dem Druck nachgebend gegenläufig zur Bewegung des Membrankerns zurück. Die Membran **13** verformt sich in sich selbst, in der Summe findet aber so gut wie keine Volumenänderung statt, was auf die Tatsache zurückzuführen ist, daß das Dosiermedium praktisch nicht komprimierbar ist und zu diesem Zeitpunkt beide Ventile geschlossen sind. Am Ende dieser Phase entspricht der Kammerdruck dem äußeren Arbeitsdruck. Der bis hierhin zurückge-

legte Weg entspricht dem Betrag der Membranverformung, also dem Totbereich zu Beginn der Dosierung, und trägt praktisch nicht zur Dosierung bei. Die aktuelle Position wird gespeichert und als gemessene Verformung im weiteren Verlauf des Dosiervorgangs berücksichtigt (im Beispieldiagramm ist der Totbereich 0,3mm).

- Am Punkt des Druckgleichgewichts öffnet das druckseitige Auslaßventil **15**. Nun ist der auf die Membran **13** wirkende Druck praktisch identisch mit dem äußeren Arbeitsdruck und erhöht sich nicht weiter, als Folge bildet der Magnetstrom eine konstant wirkende Kraft bei abnehmendem Restluftspalt ab und fällt bei weiter fortschreitender Bewegung kontinuierlich (im Beispieldiagramm der Zeitbereich ab 400ms). Da die Strömungsgeschwindigkeit des Dosiermediums durch Anwendung der beschriebenen Verfahren vernachlässigbar klein bleibt, entstehen keine nennenswerten Druckschwankungen, so dass weiterhin aus dem Stromverlauf auf die Magnetkraft geschlossen werden kann (siehe [Fig. 19](#)).

- Der Verlauf des Magnetstroms nach Erreichen des Druckgleichgewichts und Öffnen des Auslaßventils **15** ist für die hier beschriebene Messung der Membranverformung nicht weiter relevant. Bei der praktischen Durchführung der Messung der Membranverformung kann daher beispielsweise zunächst eine lineare Vorwärtsbewegung mit einem Geschwindigkeitssollwert geregelt werden, welcher für das Ausmessen des Strommaximums optimiert ist, und unmittelbar nach dem Erfassen und Abspeichern der Membranverformung auf einen abweichenden Bewegungsablauf umgeschaltet werden, der nach den Erfordernissen einer der übrigen beschriebenen Funktionen gestaltet ist. Beispielsweise kann so zu Beginn des Hubs innerhalb einer relativ kurzen Zeitspanne die Membranverformung gemessen und danach der eigentliche Dosierhub über die restliche zur Verfügung stehende Zeit als Langsamdosierung ausgeführt werden.

**[0107]** Die durch Beobachtung des Magnetstromverlaufs gemessene Membranverformung kann nun als Grundlage für eine Korrektur der mechanischen Hublänge HL verwendet und in den auszuführenden Membranweg mit eingerechnet werden. Hierzu wird der Punkt des Strommaximums als eigentlicher Startpunkt der Dosierung festgelegt, ab dem die gewünschte Hublänge ausgeführt und der Hub dann beendet wird, noch bevor der mechanische Endanschlag durch Auftreffen des Druckstücks **20** auf die innere Stirnfläche des Magnetmantels **24** erreicht wird. Bei Arbeitsdrücken unterhalb des Nennendrucks fällt die Membranverformung geringer aus und der letzte Teil des möglichen mechanischen Wegs des Druckstücks bleibt ungenutzt, d.h. der Luftspalt wird nicht vollständig geschlossen.

**[0108]** Die Verformung der Membran ist u.a. abhängig von Materialeigenschaften und kann sich daher durch Alterung verändern bzw. wird Exemplarstreuungen unterliegen. Diesen beiden Aspekten wird Rechnung getragen, indem für die Korrektur der Membranverformung kein vordefinierter, aus Bauteileparametern abgeleiteter Wert verwendet wird, sondern bei jedem Hub die konkreten Verhältnisse meßtechnisch neu erfaßt werden.

**[0109]** Der Magnetstrom kann meßtechnisch erfaßt werden, was aber nicht unbedingt erforderlich ist. Da der Verstärker **42** die korrigierte Stellgröße KSG als Magnetstromvorgabe entsprechend dem Faktor  $k_2$  in einen Magnetspulenstrom  $I_M$  umsetzt, kann die korrigierte Stellgröße KSG unmittelbar als Abbild des Magnetstroms verwendet werden, womit dieser zur weiteren Verarbeitung ohne zusätzlichen meßtechnischen Aufwand aus ohnehin vorhandenen Signalen der Regeleinrichtung abgeleitet werden kann.

Verbesserung der Dosiergenauigkeit im Teilhubbetrieb

**[0110]** Das im vorherigen beschriebene Verfahren zur Bestimmung der Verformung der Membran aufgrund deren Elastizität durch Beobachtung des Magnetstromverlaufs ermöglicht auch eine Verbesserung der Genauigkeit im Teilhubbetrieb.

**[0111]** Bei einer Magnetdosierpumpe nach dem Stand der Technik ohne Kompensation der Membranverformung ist die Dosierleistung nicht nur druckabhängig, sondern zusätzlich im Teilhubbetrieb nicht streng proportional zur eingestellten mechanischen Hublänge. Vielmehr beginnt die effektive Dosierung beim Hub erst nach einem anfänglichen Totbereich ab dem Punkt der vollständigen Membranverformung. Trägt man eine Kennlinie auf, die die Dosierleistung in Abhängigkeit von der eingestellten mechanischen Hublänge zeigt, ergibt sich eine linear ansteigende Kurve, die erst ab einer Mindesthublänge entsprechend dem Totbereich von  $x_{T1}$ ,  $x_{T2}$ ,  $x_{T3}$ ...  $x_{Tn}$  eine reale Dosierleistung aufweist (s. [Fig. 12](#)). Da diese Mindesthublänge der Membranverformung entspricht, ist sie zudem vom Arbeitsdruck  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ...  $p_n$  abhängig.

**[0112]** Diese Kennlinienverschiebung  $x_{T1}$ ,  $x_{T2}$ ,  $x_{T3}$ ...  $x_{Tn}$  bedingt bei bisheriger Technik eine Nachkalibrierung unter realen Arbeitsbedingungen, sobald die bisher eingestellte Hublänge wesentlich verändert wird, da die neue Dosierleistung nicht mit genügender Genauigkeit über eine proportionale Umrechnung aus der bisherigen und der neu eingestellten Hublänge ermittelt werden kann.

**[0113]** Wird die Membranverformung kompensiert, wie vorher beschrieben, so wird auch der Proportionalitätsfehler im Teilhubbetrieb eliminiert, so dass die

Dosierpumpe praktisch über den vollen nutzbaren Einstellbereich der Hublänge von z.B. 20%–100% betrieben werden kann, ohne die bisher notwendigen Nachkalibrierungen durchführen zu müssen, die bei einer unregelmäßigen Dosierpumpe bei einer Verstellung der Hublänge um mehr als z.B. 10% notwendig sind, um die spezifizierete Dosiergenauigkeit sicherzustellen.

Abschätzung des Arbeitsdrucks anhand gemessener elektrischer Größen; elektronische Druckbegrenzung; Überdruckererkennung

**[0114]** Die vorher beschriebene Messung der Membranverformung erlaubt unter Zugrundelegung von Erfahrungswerten für die Materialeigenschaften der Membran hinreichend genaue Rückschlüsse auf den Arbeitsdruck, um damit zusätzliche, nachfolgend beschriebene Funktionen zu realisieren.

**[0115]** Ungeregelte Magnetdosierpumpen nach dem Stand der Technik haben die grundsätzliche Eigenschaft, dass die Kraft, die der Antriebsmagnet entwickelt, im Verlauf der Hubbewegung durch den kleiner werdenden Luftspalt stark zunimmt. Der Magnetstrom ist so bemessen, dass die Kraft im Anlaufpunkt, d.h. bei größtem Luftspalt, für den Nennarbeitsdruck ausreicht. Am Hubende wird ein Mehrfaches dieser Kraft aufgebracht. Dies hat zur Folge, dass die Pumpe bei fehlerhafter Verrohrung, z.B. bei versehentlich geschlossenen Absperrorganen, einen Druck entwickeln kann, der stark über den Maximalbetriebsdruck ansteigt, vor allem, wenn sie im Teilhub, also bei reduzierter Hublänge, betrieben wird.

**[0116]** Bei Magnetpumpen, die mithilfe eines Positionssensors und einer Regelung die Membranbewegung kontrollieren, ist hingegen jederzeit die Position des Druckstücks und damit die Länge des Restluftspalts feststellbar. Zusammen mit der bekannten Strom-Kraft-Weg-Kennlinie des Antriebsmagneten ist es möglich, den Maximalstrom, mit dem die Regeleinrichtung den Magneten ansteuern kann, im Verlauf des Dosierhubs an die aktuelle Membranposition dynamisch so anzupassen, dass die entwickelte Maximalkraft über den gesamten Weg auf annähernd konstante Werte begrenzt bleibt. Damit kann der entwickelte Maximaldruck wesentlich genauer und unabhängig von der eingestellten Teilhublänge begrenzt werden, so dass sich der Einsatz zusätzlicher druckbegrenzender Betriebsmittel in vielen Fällen erübrigen kann.

**[0117]** Die Anwendung der Erfindung ermöglicht darüber hinaus, dass die Steuerung der Dosierpumpe durch eigenständige Messungen Kenntnis über den Überdruckzustand erlangen kann, so dass ohne Mitwirkung externer Betriebsmittel eine Reaktion auf diesen Zustand möglich ist, wie z.B. das Erzeugen eines Meldealarms und/oder Stillsetzen der Dosier-

pumpe.

**[0118]** Die erzielbare Genauigkeit dieser Funktionen hängt von der Reproduzierbarkeit der zugrundeliegenden Materialeigenschaften vor allem der Membran ab. Diese Genauigkeit kann durch eine einmalige Kalibrierung in der Produktionsphase oder in der konkreten Anwendung erhöht werden, indem die Dosierpumpe bei bekanntem Druck betrieben wird und dann für die weiteren Berechnung das Verhältnis zwischen diesem bekannten Druck und der dabei festgestellten Membranverformung zugrundegelegt wird.

**[0119]** Die vorher beschriebenen Einsatzmöglichkeiten des Positionsgebers zusammen mit der Regelung zeigen, daß durch den Einsatz eines Positionssensors z.B. an der Schubstange oder am Druckstück während des gesamten Hub- und Ansaugvorgangs die genaue Lage der Membran festgestellt und überwacht werden kann. Die Lagefeststellung und Überwachung führt dazu, daß situationsbezogene Steuervorgaben, die zu den beschriebenen Vorteilen führen, mittels der Istwertmessung exakt eingehalten werden.

Kühlung des Magneten und weiterer Komponenten

**[0120]** Gegenüber Magnetdosierpumpen bisheriger Bauart wird bei bestimmten Betriebsarten wie z.B. der Langsamdosierung die Magnetspule **2** für wesentlich längere Zeit bis hin zum kontinuierlichen Betrieb mit Strom beaufschlagt, was eine deutlich erhöhte Verlustwärme zur Folge hat. Insbesondere beim Einbau in ein Kunststoffgehäuse stellt sich das Problem der Wärmeabfuhr. Magnetdosierpumpen werden oft in ein Kunststoffgehäuse in spritzwassergeschützter Ausführung eingebaut, um in der typischen Anwendung eine Verbesserung der Unempfindlichkeit gegenüber aggressiven Chemikalien zu erreichen. In diesen Fällen stellt sich bei geregelten Magnetdosierpumpen die Aufgabe, die Kühlung allein durch Wärmeleitung durch die Gehäusewand hindurch ohne Luftaustausch sicherzustellen.

**[0121]** Bei Magnetdosierpumpen bisheriger Bauart ist der Magnet meist so in das Gehäuse **1** eingebaut, daß der Magnetmantel **17** in einem möglichst großen Bereich seiner Oberfläche wärmeleitenden Kontakt mit dem Gehäuse **1** hat; dieser Kontakt kann z.B. durch Umspritzen des Magneten bei der Herstellung des Gehäuses verbessert werden. Die Wärmeabfuhr erfolgt zu einem Teil durch diese Grenzfläche vom Magnetmantel **17** zur Innenwand des Gehäuses **1**. Der andere Teil der Verlustwärme des Magneten wird zusammen mit der Verlustwärme weiterer Komponenten im Innern des Gehäuses an die Gehäuseinnenluft abgegeben, die sich entsprechend erwärmt. Diese Wärme wird durch Konvektion ebenfalls an die Innenwand des Gehäuses weitergeleitet, von wo sie gemeinsam mit dem direkt eingekoppelten Anteil der

Verlustwärme des Magneten durch die Wand des Gehäuses **1** hindurch geleitet und letztendlich durch Konvektion von der Außenwand des Gehäuses **1** an die umgebende Luft abgegeben wird. Aufgrund des mehrmaligen Grenzflächenübergangs ausschließlich durch Konvektion und des meist nicht sehr guten Wärmekontakts des Magnetmantels **17** zum Gehäuse **1**, z.B. bedingt durch Paßgenauigkeit, Entformungsschräge des Kunststoffgehäuses u.ä., wird der Magnet bereits im unregelmäßigen Betrieb nach bisheriger Ausführung sehr heiß; die Temperatur kann so z.B. oberhalb 100°C liegen. Die Außenwand des Gehäuses wird insbesondere im Bereich oberhalb des Magneten ebenfalls sehr heiß, was meist durch die Ausgestaltung mittels Häuserippen **3** aufgefangen wird, die u.a. als Berührungsschutz wirken, indem nur noch ein kleiner Anteil der Gesamtoberfläche, nämlich der obere Teil des Kamms der Rippen, berührbar ist. Da die Häuserippen **3** bei Berührung gegenüber einer glatten Fläche deutlich weniger Wärme an die Haut abgeben, wird die Gehäusetemperatur dadurch als weniger heiß empfunden. Allerdings behindern die Rippen durch die Bildung relativ schmaler Luftkanäle die Konvektion und verschlechtern somit die Wärmeabgabe des Gehäuses, was sowohl die Oberflächen- als auch die Innentemperatur weiter erhöht.

**[0122]** Bei einer erfindungsgemäßen Magnetdosierpumpe reicht die herkömmliche Gestaltung der Wärmeabfuhr aufgrund der geschilderten Problematik, gerade bei langsam ausgeführten Hübten, nicht aus. Es ist eine wesentlich effektivere Wärmeabfuhr erforderlich, die durch Zwangsumwälzung der Innenluft mit Hilfe eines Ventilators erfolgt. In der [Fig. 13](#) ist das Konzept der Kühlung näher dargestellt. Im oberen Teil des Gehäuses **1** ist der Magnet zentriert durch mehrere, im näher beschriebenen Ausführungsbeispiel drei Haltestege **50** so eingebaut, daß der Magnetmantel **17** in einem größtmöglichen Bereich seines Umfangs sowie seiner Stirnflächen einen lichten Abstand z.B. von mindestens 5–10 mm zum Gehäuse **1** hat. Im unteren Teil des Gehäuses ist die Ansteuerelektronik **44** und ein Ventilator **43** so angeordnet, daß der Ventilator einen zirkulierenden Luftstrom **47** erzeugt, der den Magnetmantel **17** und die ebenfalls zu kühlenden elektronischen Leistungsbaueteile **45** umströmt. Der Ventilator **43** kann wie im näher beschriebenen Ausführungsbeispiel Bestandteil der Ansteuerelektronik **44** oder ein eigenständig im Gehäuse **1** angebrachtes Bauteil sein. Natürlich kann der Ventilator auch an anderer Stelle angeordnet sein; wichtig ist, dass die Luftumwälzung sicherstellt, dass die anfallende Wärmemenge abgeführt wird, indem die Wärme möglichst gleichmäßig an alle Bereiche der Gehäuseinnenwand gelangt und diese so für die Wärmeabfuhr nutzt. Denkbar ist auch, dass der Ventilator außerhalb des Gehäuses liegt und mit diesem dichtend verbunden ist.

**[0123]** Die Anordnung der Haltestege **50** sowie der Freiraum zwischen Magnetmantel **17** und Gehäuse **1** bilden einen oder mehrere Strömungskanäle, die den Luftstrom **47** möglichst effektiv und großflächig um die gesamte Oberfläche des Magneten herumlenken und die Luft an allen Teilen der Innenwand des Gehäuses **1** vorbeiführen. Die Verlustwärme des Magneten wird beim Ausführungsbeispiel sehr viel effektiver als durch reine Konvektion an die Innenluft abgegeben und durch die intensive Verwirbelung ebenso gut in die Wandung des Gehäuses **1** weitergeleitet. Wesentlich ist hierbei auch, dass im Gegensatz zur bisherigen Bauweise nicht nur hauptsächlich der Bereich des Gehäuses erwärmt wird, der in Kontakt zum Magnet steht, sondern bei Anwendung der Erfindung praktisch die gesamte Oberfläche des Gehäuses gleichmäßig erwärmt wird und somit zur Wärmeabgabe an die umgebende Luft beiträgt. Die bei bisheriger Ausführung entstehenden besonders heißen Bereiche der Gehäuseoberfläche insbesondere oberhalb des Magneten werden so vermieden, so daß z.B. auch die Häuserippen **3** zur Minimierung der berührbaren Kontaktfläche entfallen können. Dies verbessert die Wärmeabgabe des Gehäuses nochmals, da die mit den Häuserippen **3** einhergehende Behinderung der Konvektion ebenfalls entfällt.

**[0124]** Im näher beschriebenen Ausführungsbeispiel ist der Hubdeckel **28** so ausgeführt, daß er einen Teil des Luftstroms **47** gezielt am Positionssensor **36** vorbeiführt und diesen Teil des Luftstroms über eine oder mehrere Ausströmöffnungen **46** dem Hauptluftstrom wieder zuleitet. Aufgrund der prinzipbedingten Montage des Positionssensors **36** eng am (heißen) Magneten ist der Positionssensor besonders hohen Temperaturen ausgesetzt. Bei passiver Kühlung nach dem Stand der Technik würde der Magnet aufgrund der schlechteren Wärmeabfuhr sehr hoch aufgeheizt, und der Positionssensor **36** würde seinerseits in etwa die Oberflächentemperatur des Magneten annehmen. Bei Anwendung der erfindungsgemäßen Kühlung durch Luftumwälzung wird die Temperatur des Positionssensors **36** annähernd im Bereich der Innenlufttemperatur gehalten, sofern insbesondere bei der Konstruktion des Sensorträgers **31** darauf geachtet wird, daß dieser eine ausreichende thermische Abgrenzung der Sensorelemente (CCD-Empfänger **32** und Lichtquelle **33**) zu den metallischen Teilen des Magneten hin sicherstellt. Das Gesagte gilt sinngemäß auch für eine eventuell im Gehäusedeckel (**5**) eingebaute Elektronik (**6**). Diese wird ebenfalls durch einen gezielt über sie hinweg geleiteten Teilluftstrom **49** gekühlt.

#### Positionssensor

**[0125]** Wie bereits ausgeführt, ist als Positionsgeber in dem beschriebenen Ausführungsbeispiel der Schattenkörper **35** für das Abtasten der Position an der verlängerten Schubstange **19** angebracht, des-

sen Schatten auf die Zeile aus CCD-Zellen **32** (CCD = charged coupled device; ladungsgekoppelter optischer Empfängerbaustein) abgebildet wird. Die bei diesem Ausführungsbeispiel näher beschriebenen aktiven Sensorelemente, die die Position erfassen, sind an der dem Dosierkopf abgewandten Seite des Druckstücks angeordnet. Als Lichtquelle **33** dient eine LED, der optische Empfänger ist ein elektronischer Baustein mit einer CCD-Zeile **32**, welche hier gemeinsam auf einem Zwischenteil, dem Sensorträger **31**, montiert sind. Die Montage auf dem Sensorträger **31** ermöglicht es, den Positionssensor **36** im Produktionsablauf als eigenständige Baugruppe zu behandeln und z.B. getrennt vorzumontieren und außerhalb des endgültigen Einbauorts in seiner Funktion zu prüfen. Darüber hinaus stellt die beschriebene lichtschrankenähnliche Anordnung einen berührungs- und damit verschleißfrei arbeitenden Sensor dar.

**[0126]** Für die grundsätzliche Funktionsweise ist der Anbringungsort des Sensors ohne Bedeutung, die diesbezügliche Festlegung kann vielmehr nach baulichen Gesichtspunkten wie Platzverhältnisse, Montagereihenfolge usw. getroffen werden. Im übrigen können die hier als fest montiert beschriebenen Teile (Lichtquelle **33**, Empfänger **32**) und diejenigen, die sich zusammen mit der Membran bewegen (Schattenkörper **35**), ihre Funktion auch tauschen.

**[0127]** Der CCD-Baustein **32** wird im Ausführungsbeispiel von einer Auswerteeinheit angesteuert, die einen Mikroprozessor enthält und die benötigten Steuersignale erzeugt. Statt eines Mikroprozessors kann die Auswerteeinheit auch durch einen DSP (Digitaler Signal-Prozessor) oder in diskreter Technik realisiert werden.

**[0128]** Als Lichtquelle **33** ist prinzipiell jedes Bauteil geeignet, das einen hinreichend eng begrenzten Leuchtfleck aufweist. Zusammen mit der in [Fig. 7](#) näher dargestellten Abbildungsgeometrie bestimmt dieser die Breite des Schattenbereichs SV, s. auch [Fig. 8](#).

**[0129]** Als Lichtquelle **33** können auch mehrere Elemente oder ein Linienstrahler verwendet werden, mit deren Hilfe der Schattenverlauf SV nach besonderen Gesichtspunkten gezielt ausgebildet werden kann. Als Beispiel sei hier die Erzielung einer höheren Helligkeit genannt, ohne die Abbildungsschärfe in Bewegungsrichtung zu beeinträchtigen.

**[0130]** Die CCD-Zeile **32** ist eine lineare Anordnung von M optischen Empfängern (nachfolgend Pixels genannt), die in einem regelmäßigen Raster R von einigen  $\mu\text{m}$  angeordnet sind. Im Beispiel sind dies 128 Pixels im Raster von etwa  $64\mu\text{m}$  auf einer Gesamtlänge von ca. 8mm, d.h.  $M = 128$  und  $R = 64\mu\text{m}$ .

**[0131]** Die Steuersignale, die von der Auswerteeinheit erzeugt werden, legen die Belichtungszeit fest, während der die einzelnen Pixels der CCD-Zeile **32** die auftreffende Lichtmenge jeweils in einem eigenen Messverstärker innerhalb des CCD-Bausteins integrieren und zur späteren Auswertung zwischenspeichern. Diese Integration erfolgt nicht nur über die Belichtungsdauer, sondern auch über die lichtempfindliche Fläche jedes Pixels. Nach der Belichtung werden die zu den Pixels gehörenden Helligkeitswerte nacheinander durch weitere Steuersignale als Analogwerte aus dem CCD-Baustein ausgelesen und durch die Auswerteeinheit erfasst.

**[0132]** Belichtung und Auslesen der Helligkeitswerte finden im einfachen Fall abwechselnd statt. Je nach Bauart bieten einige handelsübliche CCD-Zeilen-Bausteine auch Möglichkeiten für ein gleichzeitiges Ablaufen beider Vorgänge, indem sie die integrierten Messwerte nach der Belichtung zwischenspeichern und die Integratoren sofort wieder für eine nachfolgende Messung freigeben. Durch zeitgleiches Auslesen der Ergebnisse eines Messdurchgangs während der Belichtungsphase für den darauffolgenden Durchgang kann so die Messgeschwindigkeit erhöht werden.

**[0133]** Im in [Fig. 8](#) dargestellten Diagramm sind die integrierten Helligkeitswerte  $H$  dem tatsächlichen Schattenverlauf im Bereich der angesprochenen Pixels beim konkreten Ausführungsbeispiel entsprechend dargestellt. Der Schattenbereich  $SV$  erstreckt sich in diesem Beispiel über die Pixels #60 bis #63.

**[0134]** Als einfaches Auswerteverfahren wird eine Entscheidungsschwelle  $H_v$  (in [Fig. 8](#) als gestrichelte Linie dargestellt) willkürlich bei z.B. der Hälfte der Maximalhelligkeit festgelegt und dasjenige Pixel gesucht, dessen Helligkeitswert  $H$  am Schattenübergang als Erstes die Schwelle  $H_v$  unterschreitet; im Beispiel wäre dies das Pixel #62.

**[0135]** Bei anderen Ausführungen kann der Helligkeitsverlauf gegenläufig von unbeleuchteten hin zu beleuchteten CCD-Zellen bei aufsteigender Pixelnummer sein; dies ist einerseits abhängig von der Anordnung der Elemente Lichtquelle **33**, CCD-Baustein **32** und Schattenkörper **35** und andererseits von der internen Organisation des verwendeten CCD-Bausteins **32**. In diesem Fall wird dasjenige Pixel gesucht, dessen Helligkeitswert am Schattenübergang als Erstes die Schwelle überschreitet.

**[0136]** Nach Ablauf der drei Phasen Belichtung, Auslesen und Verarbeitung liegt ein Positionswert vor. Der Gesamtzeitbedarf der drei Phasen bestimmt die Folgefrequenz, mit der Positionswerte erhalten werden. Die Messauflösung ist gleich dem Pixelraster  $R$  der CCD-Zeile, korrigiert um das Abbildungsverhältnis  $A$ , welches sich aus der Montagedistanz

mit den einzelnen Komponenten ergibt.

**[0137]** Für das Abbildungsverhältnis  $A$  gilt (vergl. [Fig. 9](#)):

$$A = s'/s = x_3/x_2$$

**[0138]** Hierbei ist

- $s$  = Tatsächliche Bewegung der Schattenkante
- $s'$  = Projizierte Bewegung der Schattenkante in der Ebene des CCD
- $x_2$  = Abstand zwischen optisch wirksamer Schattenkante und Lichtquelle
- $x_3$  = Abstand zwischen CCD-Ebene und Lichtquelle

**[0139]** Dieses Verfahren ermittelt die Position durch Auszählen von Pixels, ist also als digitales Verfahren anzusehen. Abweichungen und Verschiebungen linearer Parameter wie z.B. Bauteilempfindlichkeiten wirken sich auf das Ergebnis im Vergleich zu analogen Verfahren praktisch nicht aus. Ermittelt man das Abbildungsverhältnis  $A$  für praktische Werte, so haben Montagetoleranzen ebenfalls nur einen geringen Einfluss. In einem praktischen Ausführungsbeispiel mit  $x_3 = 21$  mm und  $x_2 = 20$  mm ergibt sich ein Nominalwert für das Abbildungsverhältnis  $A$  von 1,05; d.h. eine Bewegung des Schattenkörpers **35** um eine bestimmte Strecke ergibt eine 1,05-fache Verschiebung des Schattenbereichs  $SV$  in der Ebene der CCD-Zellen **32**. Angenommen sei nun eine Montagetoleranz für  $x_3$ , d.h. eine mögliche Variation des Abstands der CCD-Zellen **32** von der Lichtquelle **33**, um  $\pm 0,3$  mm, und ein konkreter Montagefall am oberen Ende dieses Toleranzbereichs mit  $x_3 = 21,3$  mm und  $x_2 = 20$  mm. In diesem Fall errechnet sich das Abbildungsverhältnis  $A$  zu 1,065. Das Abbildungsverhältnis ändert sich in diesem Beispiel um das Verhältnis  $1,065/1,05 = 1,014$  bzw. um +1,4%. Diese Abweichung kann durch eine einmalige Kalibrierung z.B. bei der Produktion leicht eliminiert werden. Die Linearität wird fast ausschließlich durch die Genauigkeit des Pixelrasters innerhalb der Chipgeometrie bestimmt, Abweichungen sind somit vernachlässigbar gering.

**[0140]** Obgleich die vorher beschriebene Methode zur Bestimmung der Position des Schattenkörpers **35** und damit zur Stellung der Membran **13** bereits sehr genaue und lineare Positionswerte ergibt, kann durch Interpolation eine noch genauere Positionsauflösung erzielt werden. In dieser erweiterten Ausführung wird durch Auswertung der Pixelhelligkeiten  $H$  eine Positionsauflösung erzielt, z.B. zwischen Pixel 61 und 62 (vergl. [Fig. 10](#)), die feiner als das Pixelraster  $R$  ist, indem die Helligkeitswerte der Pixels im Bereich der Entscheidungsschwelle interpoliert werden. Ziel ist es, die Stelle zu bestimmen, an der der Helligkeitsverlauf die Entscheidungsschwelle  $H_v$  schneidet, und

diesem Schnittpunkt einen Wert auf einer virtuellen Positionsskala zuzuweisen, deren x-Werte jeweils in der Mitte der Pixels genau der Pixelnummer entsprechen.

**[0141]** Hierzu werden die beiden Pixels links und rechts von der Entscheidungsschwelle  $H_V$  gesucht und die Abstände  $\Delta H$  der zugehörigen Helligkeitswerte von dieser Schwelle bewertet. Wie in [Fig. 10](#) bzw. in [Fig. 11](#) dargestellt, gilt:

$$\Delta H_l = H_l - H_V$$

$$\Delta H_r = H_r - H_V$$

**[0142]** Die Abstände  $\Delta x$ , gerechnet von der jeweiligen Mittelachse jedes der beiden benachbarten Pixels, in diesem Beispiel der Pixels #61 und #62, in Vielfachen der Pixelbreite zum Schnittpunkt bilden mit den Helligkeitsabständen  $\Delta H$  folgendes Verhältnis bezogen auf das links vom gesuchten Schnittpunkt gelegene Pixel #61 (linksseitiges Nachbarpixel):

$$\Delta x_l / (\Delta x_l + \Delta x_r) = \Delta H_l / (\Delta H_l + \Delta H_r)$$

**[0143]** Mit  $(\Delta x_l + \Delta x_r) = 1$  (1 Pixelbreite) ergibt sich:

$$\Delta x_l = \Delta H_l / (\Delta H_l + \Delta H_r)$$

**[0144]** Bezogen auf das rechts vom gesuchten Schnittpunkt gelegene Pixel #62 (rechtsseitiges Nachbarpixel) gilt das Verhältnis:

$$\Delta x_r / (\Delta x_l + \Delta x_r) = \Delta H_r / (\Delta H_l + \Delta H_r)$$

**[0145]** Mit  $(\Delta x_l + \Delta x_r) = 1$  (1 Pixelbreite) ergibt sich:

$$\Delta x_r = \Delta H_r / (\Delta H_l + \Delta H_r)$$

**[0146]** In diesem Beispiel liegt der Schnittpunkt beim Wert 61,7. Folgt der Helligkeitsverlauf im Interpolationsbereich einer idealen Gerade, so führen beide Berechnungswege zum selben Ergebnis, es genügt also prinzipiell, eine der beiden Berechnungen durchzuführen. Mithilfe dieser Eigenschaft können jedoch Fehlerbeiträge durch einen nicht exakt geraden Helligkeitsverlauf im betrachteten Übergangsbereich oder durch immer zu erwartende Messungenauigkeiten minimiert werden, indem beispielsweise beide Berechnungen durchgeführt und deren Ergebnisse gemittelt werden.

**[0147]** Bei anderen Ausführungen können je nach Helligkeitsverlauf die Verhältnisse beiderseits des Schnittpunkts bezüglich unbeleuchteter und beleuchteter CCD-Zellen vertauscht sein; in diesem Fall wechseln die Richtungsangaben links und rechts gegebenenfalls ihre Funktion und die Interpolationsgleichungen sind entsprechend anzupassen.

**[0148]** Darüber hinaus sind auch andere Ausführungen möglich, bei denen die Helligkeitswerte von mehr als zwei Pixels zur Berechnung herangezogen werden. Die Position kann dann durch redundante Mehrfachberechnung und z.B. Mittelung mehrerer Ergebnisse gebildet werden. Als weitere Möglichkeit kann eine andere als die hier gezeigte lineare Interpolation bzw. eine Interpolation mit den Daten anderer als der direkten Nachbarpixels angewandt werden.

**[0149]** Abweichungen und Verschiebungen linearer Parameter wie z.B. Bauteilempfindlichkeiten wirken sich auf das Ergebnis nur innerhalb des Interpolationsbereichs aus. Die Steilheit des Helligkeitsverlaufs im Schattenübergang, resultierend aus der Schärfe der Abbildung der Schattenkante auf die CCD-Ebene, ist von untergeordneter Bedeutung, da von ihr die Interpolation innerhalb weiter Grenzen nicht beeinträchtigt wird; lediglich die Linearität des Helligkeitsverlaufs ist für die Genauigkeit der Interpolation ausschlaggebend.

**[0150]** Unabhängig von der vorher beschriebenen Interpolationsmethode können auf dem beschriebenen Grundprinzip aufbauend weitere Verfahren zur Verbesserung der Sensoreigenschaften genutzt werden. Diese Verfahren sind nachfolgend beschrieben:

- Verbesserung der Störimmunität durch Filterung

**[0151]** Die Störimmunität des Sensors kann durch Filtermaßnahmen verbessert werden. Eine Filterung kann sowohl auf Ebene der Helligkeitswerte der Pixels als auch auf das Ergebnis der Positionsermittlung selbst angewandt werden. Im ersten Fall arbeitet das Verfahren mit Helligkeitswerten, die über mehrere Pixels oder über mehrere Durchgänge gemittelt wurden, im zweiten Fall werden mehrere zunächst ermittelte Positionsergebnisse zu einem abgeleiteten Positionswert zusammengefasst, mit dem dann die weitere Bearbeitung vorgenommen wird.

- Kompensation von Montageabweichungen

**[0152]** In einer definierten Phase, z.B. in der Ruhephase vor Ablauf des eigentlichen Dosierhubs, kann der Positionswert für diese Phase ermittelt und in einem Referenzspeicher abgelegt werden. Während der aktiven Bewegungsphase werden dann die Positionswerte relativ zu dem zuvor ermittelten Referenzwert verarbeitet. Durch dieses Verfahren ist es möglich, fertigungsbedingte Montageabweichungen der Ruhelage sowie Verschiebungen während des Betriebs z.B. durch Wärmeausdehnung automatisch zu kompensieren und damit die Genauigkeit zu verbessern.

- Kompensation von Skalierungsfehlern

**[0153]** Bei einer erweiterten Alternative kann durch

Anfahren zweier oder mehrerer bekannter Positionen, hier Referenzpositionen genannt, die Skalierung des Positionssensors abgeglichen werden. Dies kann einmalig im Zuge des Produktions- bzw. Prüfverfahrens oder auch wiederkehrend im Betrieb geschehen.

**[0154]** Im ersten Fall können die Referenzpositionen durch externe Einrichtungen, z.B. Raststellungen oder externe Messeinrichtungen, vorgegeben werden. Aus den in diesen Referenzpositionen gemessenen Positionswerten kann zusammen mit der Kenntnis über die wirkliche Lage der Referenzpositionen ein Korrekturwert für die Skalierung des Positionssensors abgeleitet und für die weitere Verarbeitung gespeichert werden.

**[0155]** Im zweiten Fall des wiederkehrenden Skalierungsabgleichs sind bekannte Positionen, z.B. mechanische Anschläge oder Referenzsignale von weiteren vorhandenen Einrichtungen zur Positionserfassung notwendig. Befindet sich die Membran während des Betriebs an einer solchen bekannten Position, kann aus dem an dieser Stelle gemessenen Positionswert ebenfalls ein Korrekturwert für die Skalierung des Positionssensors abgeleitet und für die weitere Verarbeitung gespeichert werden.

- Kompensation der optischen Empfindlichkeitsparameter

**[0156]** In einer erweiterten Ausführung können die Helligkeitswerte der voll beleuchteten Pixels dazu herangezogen werden, um einen repräsentativen Wert für die Beleuchtungsstärke zu ermitteln. Hierzu kann beispielsweise aus einer geeigneten Gruppe von Pixels der Mittelwert der Helligkeit gebildet werden. Anhand der ermittelten Beleuchtungsstärke kann die Belichtung so gesteuert werden, dass die zur Verfügung stehenden Wertebereiche optimal ausgenutzt werden; beispielsweise kann die Lichtquelle in ihrer Helligkeit oder ihrer Einschaltdauer so gesteuert werden, daß die Beleuchtungsstärke der voll beleuchteten Pixels wenig unterhalb der Übersteuerungsgrenze des CCD-Bausteins liegt. Einer Steuerung der Einschaltdauer der Lichtquelle ist eine Taktung mit veränderlichem Ein-/Ausschaltverhältnis gleichzusetzen. Bei jedem Messdurchgang wird dann die Beleuchtungsstärke anhand der Verhältnisse des vorgegangenen Durchgangs so korrigiert, dass sich eine gleitende Anpassung der Belichtungsparameter an eventuelle Veränderungen von Bauteileigenschaften, z.B. aufgrund von Alterung, ergibt.

- Kompensation von Verschmutzungen und Pixelabweichungen

**[0157]** In einer erweiterten Ausführung kann der mechanische Aufbau des Sensors so gestaltet werden, dass in einer definierten Phase, z.B. in der Ru-

hephase vor Ablauf des eigentlichen Dosierhubs, der komplette für den Arbeitsweg genutzte Pixelbereich oder ein interessierender Teilbereich belichtet werden kann. Eine mögliche Ausführung ist z.B., die dem Magneten zugewandte Kante des Schattenkörpers für die Auswertung heranzuziehen, wodurch der Schattenkörper im Verlauf der Hubbewegung den Sensor überstreicht und einen Bereich der CCD-Zellen abdunkelt, der im vorherigen Ruhezustand beleuchtet war. In dieser Phase können die Helligkeitswerte aller relevanten Pixels ermittelt und in einem Referenzspeicher einzeln abgelegt werden. Abweichungen der Messwerte einzelner Pixels vom Idealwert können z.B. in Form von Korrekturwerten hinterlegt werden. Während der aktiven Bewegungsphase werden dann die Helligkeitswerte jedes Pixels mit Hilfe der zuvor ermittelten Referenzwerte bei jeder Messung zunächst korrigiert und erst dann weiterverarbeitet. Durch dieses Verfahren ist es möglich, fertigungsbedingte Empfindlichkeitsabweichungen einzelner Pixels sowie Verschmutzungen in gewissem Rahmen zu kompensieren und damit die Genauigkeit zu verbessern bzw. die Betriebssicherheit zu erhöhen.

**[0158]** Natürlich sind für die CCD-Empfängerzeile auch zwei- oder mehrreihige Anordnungen möglich, um durch Redundanz eine erhöhte Sicherheit gegen Ausfälle, z.B. durch Verschmutzung, zu erreichen bzw. durch Mittelung die Meßgenauigkeit zu erhöhen. Für besonders große Hublängen können zwei oder mehr CCD-Zeilen kombiniert werden, um den Meßbereich über die Funktionsgrenzen einer einzelnen Zeile hinaus zu erweitern.

Anpassung der Magnetauslegung und der thermischen Auslegung

**[0159]** Um die im einzelnen beschriebenen Vorteile einer bewegungsgereltem Magnetdosierpumpe, insbesondere bei verlangsamter Bewegung bis hin zum Stillstand, richtig ausnutzen zu können, bedarf es konstruktiver Anpassungen insbesondere in der Magnetauslegung und einer aktiven Kühlung mittels Innenlüfter im Geräteinnenraum, die bereits vorher näher beschrieben wurde (siehe Kapitel "Kühlung des Magneten und weiterer Komponenten").

**[0160]** Die Magnetauslegung nach den Kriterien, die in Magnetdosierpumpen normalerweise zum Tragen kommen, ist für einen bewegungsgeregelten Betrieb ohne Modifikationen nur sehr eingeschränkt geeignet. Um eine Regelbarkeit in weiten Bereichen überhaupt zu ermöglichen, ist es unerlässlich, auf die natürlichen Bewegungsabläufe der mechanischen Komponenten selbst im ungünstigsten Fall mit mindestens ebenso schnellen Magnetstromänderungen reagieren zu können.

**[0161]** Dem steht bei bisher üblicher Auslegung die

zu hohe Induktivität der Magnetspule **2** entgegen, durch die der Magnetstrom  $I_M$  erst nach einer Zeit von normalerweise etwa 20–50ms seinen Nennwert erreicht. Diese übliche Auslegung wird so gewählt, dass sich durch das Zusammenwirken der angelegten Spannung und der Impedanz der Wicklung **29** (Ohmscher Widerstand, Induktivität) in etwa der gewünschte Strom einstellt. Im einfachen Fall ergibt sich dieser Strom bei der für das Gerät vorgesehenen Versorgungsspannung, eventuell abzüglich einer Toleranzmarge; bei stromgeregelten Ausführungen wird die Dimensionierung so gewählt, dass der Stromfluß bei der geringsten zu erwartenden Versorgungsspannung noch gewährleistet ist und bei höheren Spannungen durch einen Regelkreis auf den vorgegebenen Wert begrenzt wird.

**[0162]** Soll der Magnet für eine Regelung des Bewegungsablaufs geeignet sein, muss eine wesentlich geringere Windungszahl gewählt werden, damit sich der Magnetstrom in kürzerer Zeit beeinflussen läßt. Bei gleicher Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Wickelraums wirkt sich der Reduktionsfaktor der Windungszahl (N) etwa quadratisch auf Widerstand und Induktivität aus, wodurch sich die Stromanstiegsgeschwindigkeit bei unveränderter Spannung im Verhältnis  $N^2$  erhöht. Der Strombedarf für eine vorgegebene Magnetkraft steigt allerdings ebenfalls im Verhältnis N, so dass insgesamt eine effektive Reduktion der Zeit bis zum Erreichen des Arbeitsstroms um den Faktor N erzielt wird.

**[0163]** An dem nachfolgenden Beispiel sei dies näher erläutert. Hierzu wird der Einfachheit halber von einem etwa linearen Stromanstieg, d.h. einem rein induktiven Verhalten der Magnetspule **2** ausgegangen. Eine Magnetspule nach bisheriger Auslegung läßt aufgrund ihrer Impedanz den Magnetstrom um 0,1A/ms ansteigen. Ein benötigter Arbeitsstrom von 2A wird somit innerhalb von 20ms nach Anlegen der Spannung erreicht. Soll der Arbeitsstrom in der halben Zeit (10ms) erreicht werden, so ist die bisherige Windungszahl zu halbieren und der Drahtquerschnitt entsprechend zu verdoppeln, d.h. der Drahtdurchmesser ist um den Faktor Wurzel aus 2 zu vergrößern; Induktivität und Wicklungswiderstand sinken um den Faktor 4, dadurch steigt die Stromanstiegsgeschwindigkeit bei unveränderter Spannung auf 0,4A/ms. Der Arbeitsstrom verdoppelt sich auf 4A und wird in der Hälfte der ursprünglichen Zeit (10ms) erreicht.

Bezugszeichenliste

- 1** Gehäuse
- 2** Magnetspule
- 3** Gehäuserippen
- 4** Bodenplatte
- 5** Gehäusedeckel
- 6** Elektronik im Gehäusedeckel

- 7** Verstellorgan
- 8** Hubverstellbolzen
- 9** Abdeckhaube
- 10** Steuerleitungen
- 11** Stromversorgung
- 12** Dosierkopf
- 13** Membran
- 14** Einlassventil
- 15** Auslassventil
- 16** Dosierraum
- 17** Magnetmantel
- 18** Längsachse
- 19** Schubstange
- 20** Druckstück
- 21** O-Ring
- 22** Innere Stirnfläche des Druckstücks
- 23** Druckfeder (Rückholfeder)
- 24** Innere Stirnfläche des Magnetmantels
- 25** Magnetscheibe
- 26** Druckkopfseitige Buchse
- 27** Druckstückseitige Buchse
- 28** Hubdeckel
- 29** Spulenwicklung
- 30** Membrankern
- 31** Sensorträger
- 32** Empfänger, CCD-Baustein
- 33** Lichtquelle
- 34** Öffnung
- 35** Bezugselement, z.B. Schattenkörper
- 36** Positionssensor
- 37** Differenzierer
- 38** Sollwertvorgabe
- 39** Soll-Ist-Vergleich
- 40** PID-Regler
- 41** Lage-Korrektur
- 42** Verstärker
- 43** Ventilator
- 44** Ansteuerelektronik
- 45** Elektronische Leistungsbauteile
- 46** Ausströmöffnung
- 47** Luftstrom des Ventilators
- 48** Teilluftstrom für Positionssensor
- 49** Teilluftstrom für Elektronik im Gehäusedeckel
- 50** Haltestege
- 51** Spulenträger
- SV** Schattenverlauf
- h** heller Bereich
- d** dunkler Bereich
- #58...#65** Zellen (Pixels) des CCD
- H** Helligkeitswerte der Pixels
- H<sub>v</sub>** Helligkeitswert der Vergleichsschwelle (VS)
- H<sub>l</sub>** Helligkeitswert des Pixels links vom Schnittpunkt mit der VS (linksseitiges Nachbarpixel)
- ΔH<sub>l</sub>** Helligkeitsabstand des linksseitigen Nachbarpixels zum Helligkeitswert der Vergleichsschwelle

$H_r$	Helligkeitswert des Pixels rechts vom Schnittpunkt mit der VS (rechtsseitiges Nachbarpixel)
$\Delta H_r$	Helligkeitsabstand des rechtsseitigen Nachbarpixels zum Helligkeitswert der Vergleichsschwelle
$\Delta x_l$	Positionsabstand der Mittellinie des linksseitigen Nachbarpixels zum Schnittpunkt mit der VS
$\Delta x_r$	Positionsabstand der Mittellinie des rechtsseitigen Nachbarpixels zum Schnittpunkt mit der VS
$x_1$	Abstand zwischen Schattenkante und CCD-Ebene
$x_2$	Abstand zwischen Schattenkante und Lichtquelle
$x_3$	Abstand zwischen CCD-Ebene und Lichtquelle
$p_1$	Arbeitsdruck $p_1$
$p_2$	Arbeitsdruck $p_2$
$p_3$	Arbeitsdruck $p_3$
$p_4$	Arbeitsdruck $p_4$
$x_{T1}$	Totbereich bei Arbeitsdruck $p_1$
$x_{T2}$	Totbereich bei Arbeitsdruck $p_2$
$x_{T3}$	Totbereich bei Arbeitsdruck $p_3$
$x_{T4}$	Totbereich bei Arbeitsdruck $p_4$
$s$	Tatsächliche Bewegung der Schattenkante
$s'$	Projizierte Bewegung der Schattenkante
$D$	Dosierleistung
$HL$	Mechanische Hublänge
$SG$	Stellgröße
$KSG$	Korrigierte Stellgröße
$k1$	Faktor für die positionsabhängige Stromkorrektur
$k2$	Faktor für den Leistungsverstärker
$k3$	Faktor für die Ableitung des Geschwindigkeitssignals
$x_s$	Sollwert der Druckstückposition
$x_i$	Istwert der Druckstückposition
$x_{SI}$	Regelabweichung der Druckstückposition
$v_s$	Sollwert der Druckstückgeschwindigkeit
$v_i$	Istwert der Druckstückgeschwindigkeit
$v_{SI}$	Regelabweichung der Druckstückgeschwindigkeit
$Pos$	Positionssignal in Diagrammen
$EPoS$	Endanschlag des Positionssignals in Diagrammen
$I_M$	Magnetstrom
$I_{M0}$	Nullage des Magnetstromsignals in Diagrammen

### Patentansprüche

1. Magnetdosierpumpe, bei der ein bewegliches Druckstück mit einer fest mit diesem verbundenen

Schubstange in einem im Pumpengehäuse fest verankerten Magnetmantel in der Längsachse axial beweglich gelagert ist, so dass das Druckstück mit Schubstange bei der elektrischen Ansteuerung (Aktivierung) der Magnetspule in den Magnetmantel gegen die Wirkung einer Druckfeder unter Verringerung des Luftspaltes in eine Bohrung des Magnetmantels hineingezogen wird und das Druckstück nach Deaktivierung des Magneten durch die Druckfeder in die Ausgangslage zurückkehrt, so dass das Druckstück und ein durch dieses betätigtes elastisches Verdrängungsorgan bei fortgesetzter Aktivierung und Deaktivierung der Magnetspule eine oszillierende Bewegung durchführt, die in dem in der Längsachse angeordneten Dosierkopf in Zusammenwirken mit einem Auslass- und Einlassventil zu einem Pumphub (Druckhub) und einem Ansaughub führt, dadurch gekennzeichnet, dass mit der Einheit aus Druckstück (20) und Schubstange (19) ein Bezugsэлеment (35) verbunden ist, dessen Position von einem Positionssensor (36) abgetastet wird, wobei der Positionssensor ein Ist-Signal ( $x_i$ ) abgibt, welches zur Position des Bezugselements in einer festen Beziehung steht und das über einen Regelkreis im Rahmen seiner Regelgenauigkeit die Bewegung der Einheit aus Druckstück und Schubstange so beeinflusst, daß sie einem vorgegebenen Sollwertprofil (38) folgt.

2. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Positionssensor (36) die Position des Bezugselements (35) nach einem berührungsfreien Prinzip abtastet.

3. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das mit der Schubstange (19) verbundene Bezugsэлеment (35) und der Positionssensor (36) an dem dem Dosierkopf (12) abgewandten Ende und außerhalb des Dosierkopfes angeordnet sind.

4. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bezugsэлеment (35) den Strahlengang einer Lichtquelle (33) beeinflusst und der mit ihm zusammenwirkende Positionssensor (36), der am Magnetmantel (17) angeordnet ist, nach einem lichtempfindlichen Empfängerprinzip arbeitet.

5. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Bezugsэлеment (35) ein Schattenkörper bzw. eine schattengebende Kontur ist und der mit ihm zusammenwirkende Positionssensor (36), der am Magnetmantel (17) angeordnet ist, aus einem optischen Empfänger (32) in Form einer Reihe lichtempfindlicher ladungsgekoppelter Empfängerzellen besteht (charged coupled device, kurz CCD genannt).

6. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehre-

ren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Positionssensor (36) auf einem eigenen Sensorträger angeordnet ist, der mit dem Magnetmantel (17) fest verbunden ist.

7. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (33), der Schattenkörper bzw. die schattengebende Kontur (35) und der Empfänger (32) eine lichtschränkenähnliche Anordnung darstellen und die Messwerte kontinuierlich oder taktweise dem Regelkreis zugeführt werden.

8. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der optische Empfänger (32) des Positionssensors (36) aus einer Anzahl linear angeordneter Empfänger (Pixels), vorzugsweise 128 Pixels, besteht.

9. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (33) eine Leuchtdiode (LED) ist, die so gegenüber dem optischen Empfänger (32) des Positionssensors (36) angeordnet ist, dass deren Lichtstrahlenbündel auf dem direkten Weg zum Empfänger durch die Schubstange (19) nicht behindert wird.

10. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Ausgangswert des Positionssensors (36) durch Interpolation der Helligkeitswerte mehrerer im Schattenübergangsbereich liegender Pixels gebildet wird.

11. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Verarbeitung der Signale des Positionssensors (36) Filtermaßnahmen eingesetzt werden.

12. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Nulllagefehler des Positionssensors (36) mittels eines Referenzspeichers eliminiert werden.

13. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Skalierungsfehler des Positionssensors (36) durch Anfahren einer oder mehrerer Referenzpositionen eliminiert werden.

14. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Belichtungsschwankungen des Positionssensors (36) durch eine Steuerung oder Regelung der Lichtquelle (33) anhand der gewonnenen Helligkeitswerte der Pixels ausgeglichen werden.

15. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Helligkeitsschwankungen zwischen einzelnen Pixels des optischen Empfängers (32) durch Einbeziehen eines Referenzspeichers für die Empfindlichkeit jedes Pixels kompensiert werden.

16. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehreren der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem Positionssensor (36) ausgelesene Signal ( $x_i$ ) in einer Regeleinrichtung weiterverarbeitet und mit einer Sollwertvorgabe (38) verglichen wird, wobei die Regeleinrichtung den Stromfluss ( $I_M$ ) zur Magnetspule (2) beeinflusst und so eine Korrektur des Bewegungsablaufes herbeiführt.

17. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung alternativ die Position (im folgenden  $x_i$  genannt), die Geschwindigkeit (im folgenden  $v_i$  genannt) oder die Beschleunigung des Druckstücks (19) bzw. der Membran (13) über eine Regeleinrichtung durch Veränderung des Spulenstroms (im folgenden  $I_M$  genannt) beeinflusst.

18. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung  $v_i$  des Druckstücks (20) in der Ansaugphase und/oder in der Druckphase gezielt herabsetzen kann, um Druckverlusten, die durch Strömungswiderstände verursacht werden, bzw. dem Entstehen von Kavitation entgegenzuwirken.

19. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die gewünschte Hublänge durch eine Bedienvorgabe der Regeleinrichtung mitgeteilt und durch die Regeleinrichtung die Bewegung des Druckstücks (20) durch entsprechendes Ansteuern der Magnetspule (2) elektronisch auf die auszuführende Hublänge begrenzt wird.

20. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Erkennung, auf welchen Wert das Hubverstellorgan (7) eingestellt ist, durch Messung während der Dosierung unmittelbar über den Positionssensor (36) erfolgt.

21. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung  $v_i$  des Druckstücks (20) am Anfang und/oder am Ende der Druckphase, also z.B. im ersten bzw. im letzten Drittel des Hubwegs, durch Ansteuern der Magnetspule (2) so begrenzt, dass Druckspitzen, die durch schnelle Geschwindigkeitsänderungen des Dosiermediumsstroms bzw. durch hartes Anfahren des mechanischen Anschlages entstehen würden, vermieden werden.

22. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 16, da-

durch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung  $v_1$  des Druckstücks (20) am Ende der Druckphase durch Ansteuern der Magnetspule (2) so begrenzt, dass der Effekt der Überförderung bei geringem Gegendruck vermieden wird.

23. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung die Vorwärtsbewegung des Druckstücks (20) während der Druckphase durch Ansteuern der Magnetspule (2) so auf die durch die Folgefrequenz der Dosierhübe vorgegebene Zeit verteilt, dass die Ausbringung des Dosiermediums möglichst gleichmäßig erfolgt, bis hin zu sehr langsam ausgeführten Dosierhüben von z.B. einige Minuten.

24. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung im Betrieb bei quasi kontinuierlicher Dosierung, also ohne wesentliche Ruhepause zwischen Ansaugen und folgendem Dosierhub, die Hubbewegung auf einen Betrieb mit reduzierter Hublänge und erhöhter Hubfrequenz unter annähernder Beibehaltung der Membrangeschwindigkeit im Dosierhub umrechnet, der im zeitlichen Mittel die gewünschte Dosierleistung ergibt, und das Ansaugen durch Ansteuern der Magnetspule (2) beendet, bevor das Druckstück (20) durch die Rückholfeder (23) ganz an den vorderen mechanischen (Ruhe)Anschlag bzw. an den Hubverstellbolzen (8) geschoben wurde, so dass die Bewegung des Druckstücks nur in dem Bereich des Hubweges stattfindet, in dem der Luftspalt und damit der Magnetstrombedarf ( $I_M$ ) klein ist.

25. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass während der Anfangsphase der geregelten Vorwärtsbewegung des Druckstücks (20) entweder die Regeleinrichtung selbst oder eine weitere Steuerungseinheit den Magnetstrom ( $I_M$ ) beobachtet, daraus auf den Kraftverlauf schließt und so das Öffnen des Auslaßventils (15) erkennt und mithilfe dieser Beobachtung den Totbereich, der aufgrund der elastischen Verformung der Membran (13) entsteht, mißt und den tatsächlich ausgeführten Hubweg durch gezieltes Beenden der Hubbewegung abhängig von der ermittelten Membranverformung so beeinflusst, dass der durch die Membranverformung verursachte Fehlerbeitrag (bezogen auf den Hubweg bzw. das dosierte Volumen) eliminiert und so die Abhängigkeit der Dosiermenge vom Gegendruck wesentlich vermindert wird.

26. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung im Betrieb bei reduzierter Hublänge den tatsächlich ausgeführten Hubweg während der Vorwärtsbewegung des Druckstücks (20) abhängig vom gemessenen Totbereich durch die elastische Verformung der Membran (13) durch gezieltes Beenden der Hubbewegung so beeinflusst, dass der durch die Membran-

verformung verursachte Fehlerbeitrag eliminiert und so die lineare Abhängigkeit der Dosiermenge vom prozentualen Wert der eingestellten Hublänge wesentlich verbessert wird.

27. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehreren der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Regeleinrichtung während der Vorwärtsbewegung des Druckstücks (20) den Totbereich mißt, der durch die elastische Verformung der Membran (13) entsteht, und anhand dieses gemessenen Totbereichs eine Abschätzung des Arbeitsdrucks vornehmen kann und bei Überschreiten eines vorgegebenen Maximalwertes des Drucks zur Vermeidung eines weiteren Druckanstiegs die Dosierung einstellt.

28. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehreren der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Gehäuseinnenraum der Magnetdosierpumpe einschließlich dem Magnet und der Elektronik (6, 44) gekühlt werden.

29. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass zur Kühlung des Innenraums und der im Innenraum angeordneten Komponenten im Innenraum ein Ventilator angeordnet ist, dessen Luftstrom zwangsgeführt die Wandung des Magnetmantels (17) und/oder die Spulenwicklung (29) sowie die Innenwand des Gehäuses (1) der Magnetdosierpumpe und weitere Komponenten umspült.

30. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass zur Kühlung des Positionssensors (36) ein Teil des Luftstroms (48) über diesen geleitet wird.

31. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem Hubdeckel (28) Leitflächen und/oder Kanäle verbunden sind, die einen Teil des Luftstroms (48) auf den Positionssensor (36) leiten.

32. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass ein weiterer Teil des Luftstroms (49) auf die im Gehäusedeckel (5) eingebaute Elektronik (6) geleitet wird.

33. Magnetdosierpumpe nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass im Gehäuse (1) der Magnetmantel (17) im Innenraum freistehend so angeordnet ist, daß er zur Kühlung an seinem Umfang von einem Luftstrom umströmt werden kann.

34. Magnetdosierpumpe nach einem oder mehreren der vorgehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Spulenwicklung (29) eine reduzierte Windungszahl bei erhöhtem Drahtquerschnitt

aufweist.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

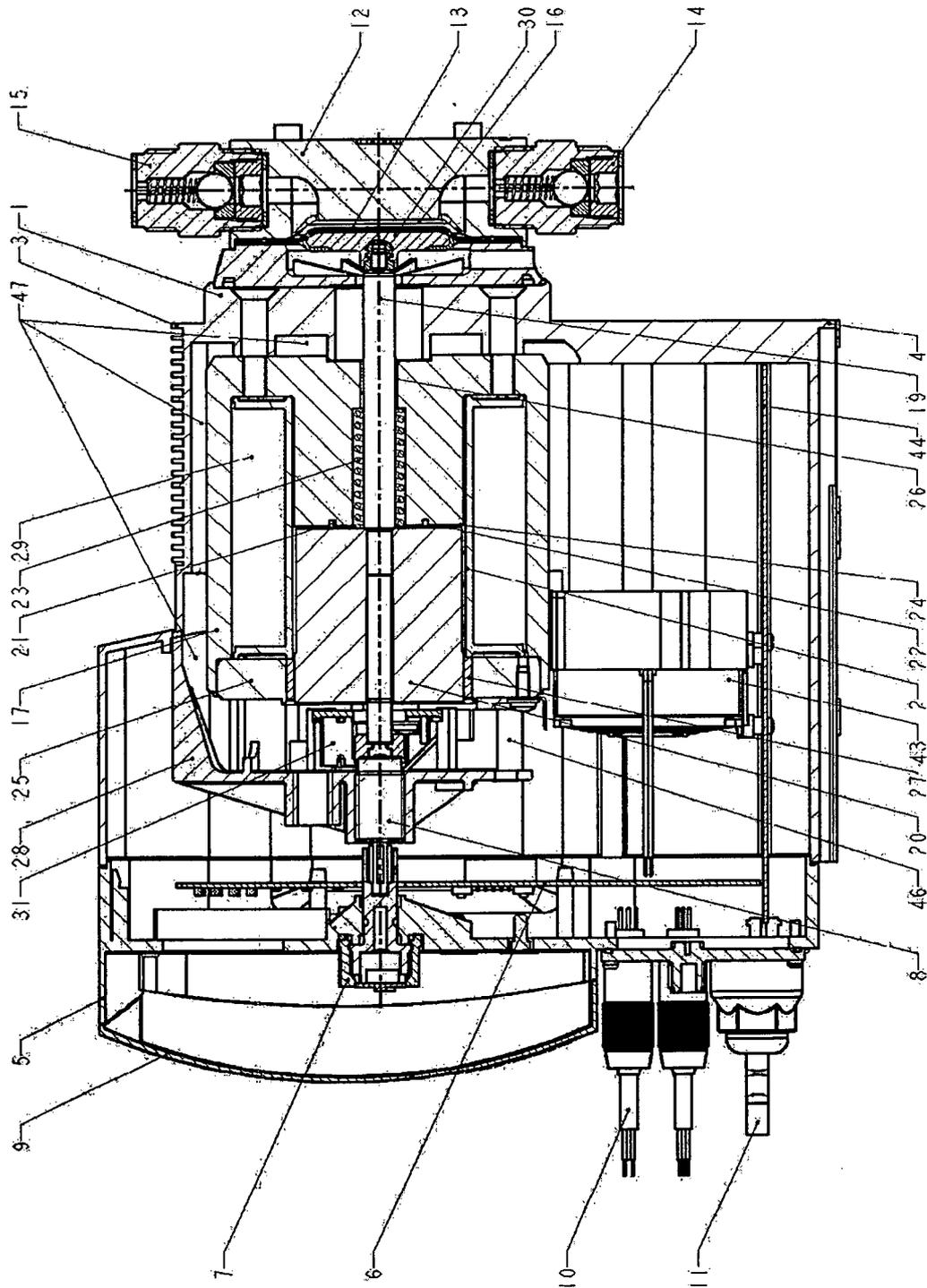


Fig. 1

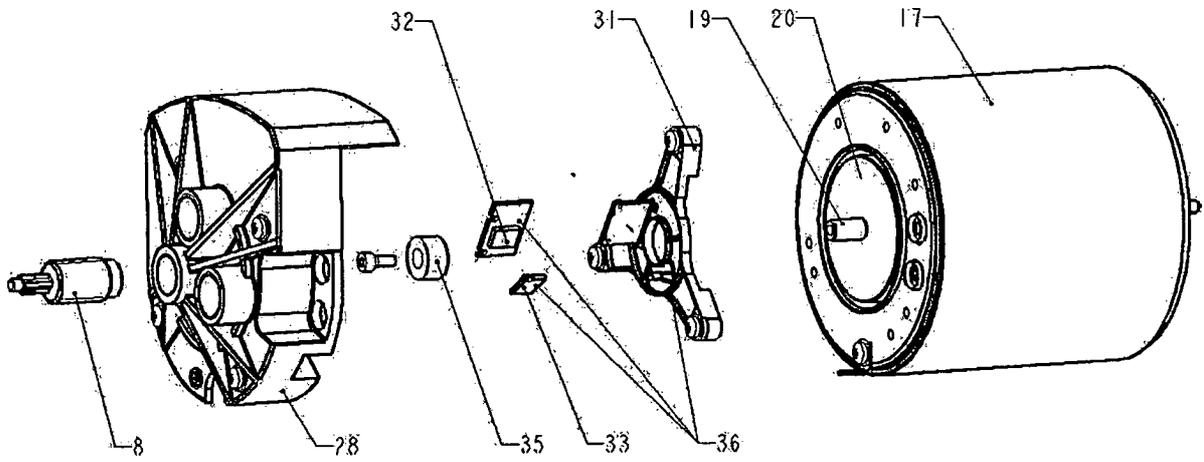


Fig. 2

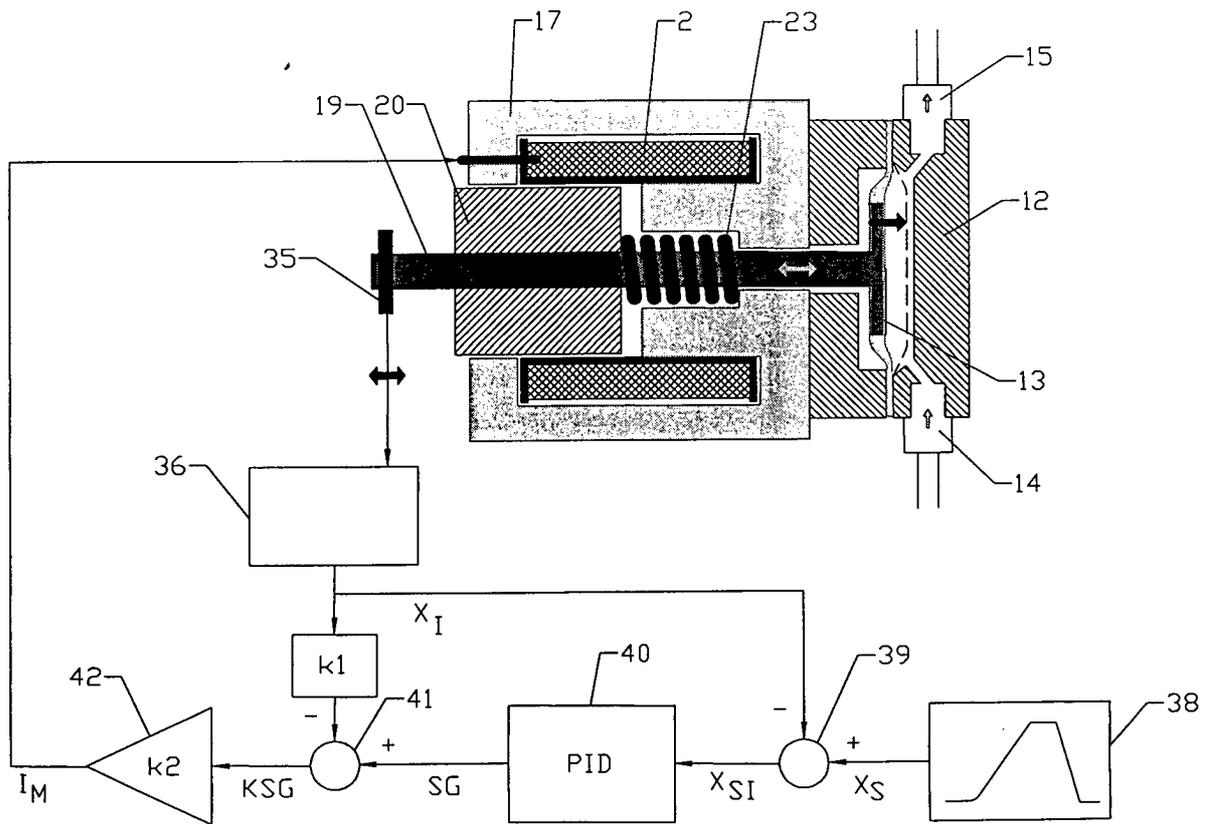


Fig. 3

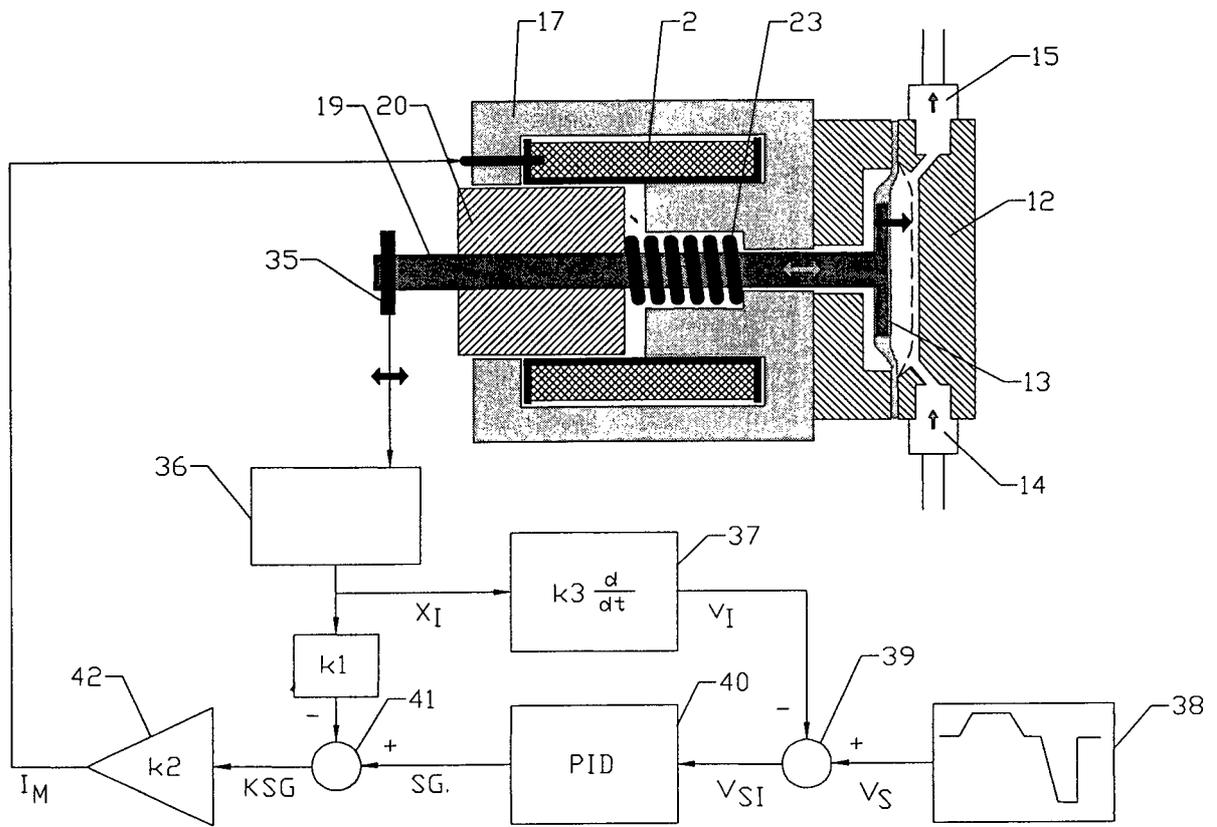


Fig. 4

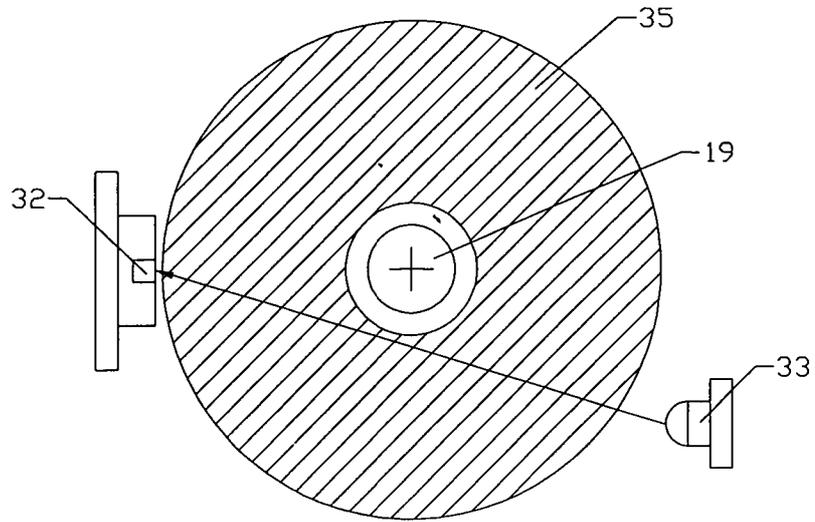


Fig. 5

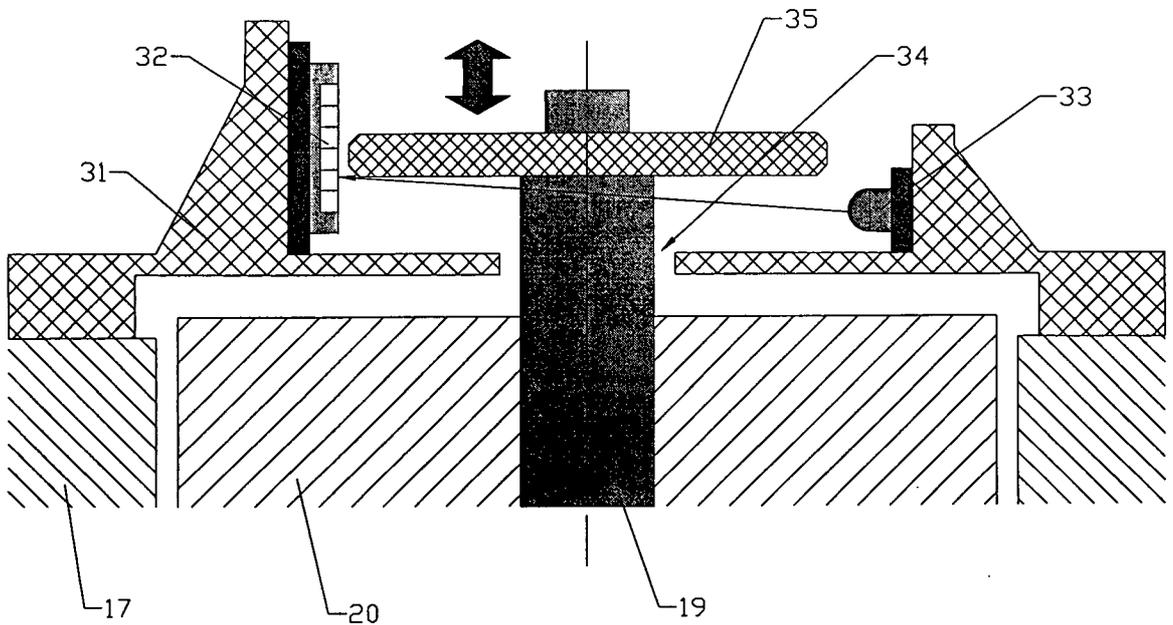


Fig. 6

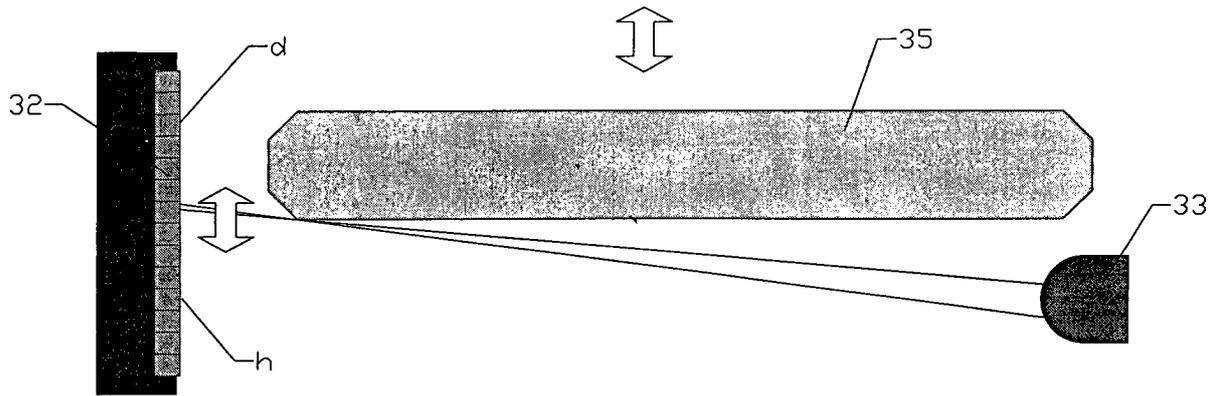


Fig. 7

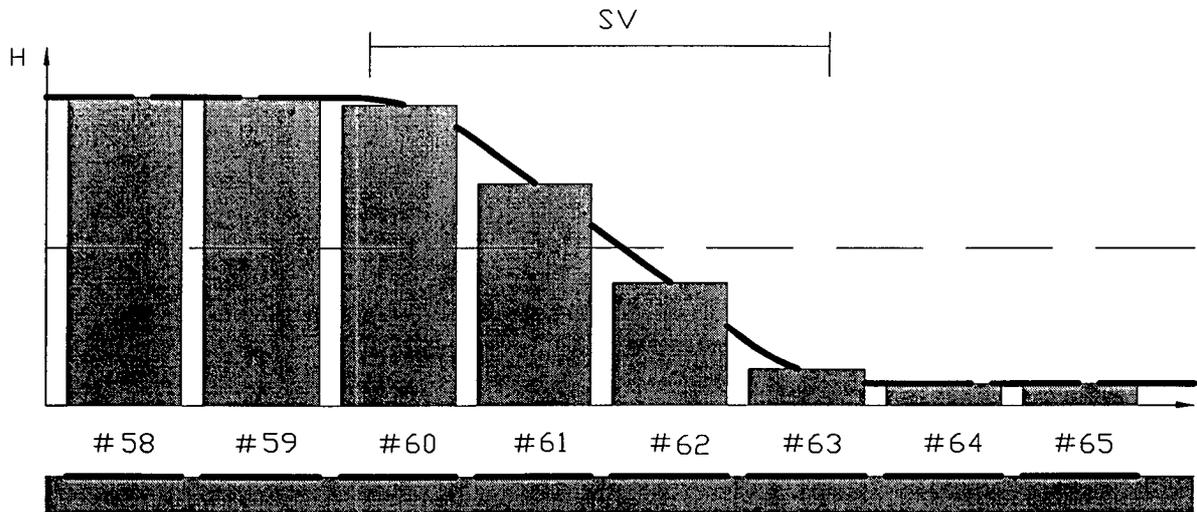


Fig. 8

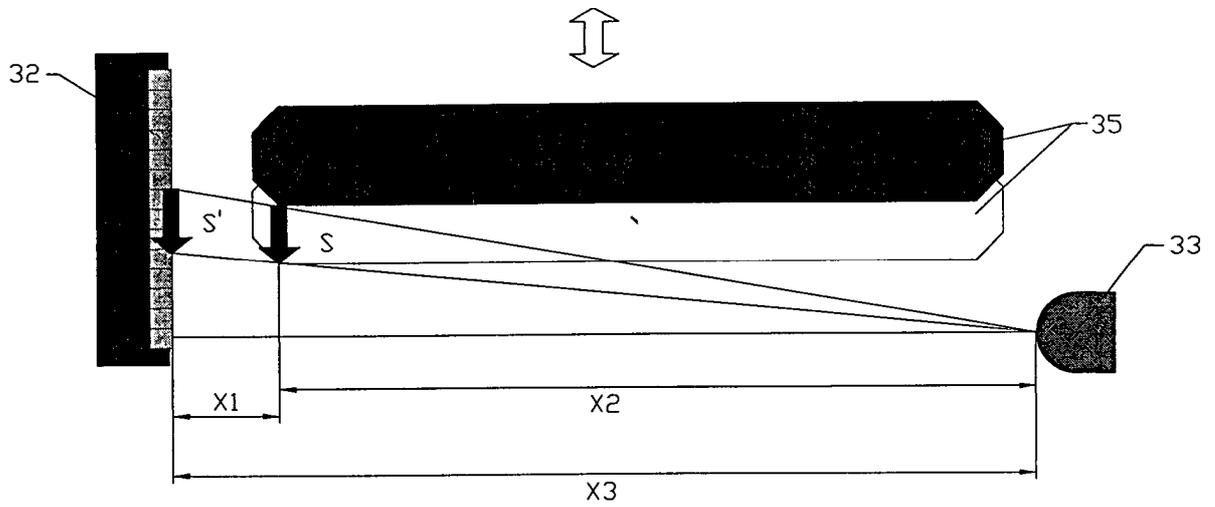


Fig. 9

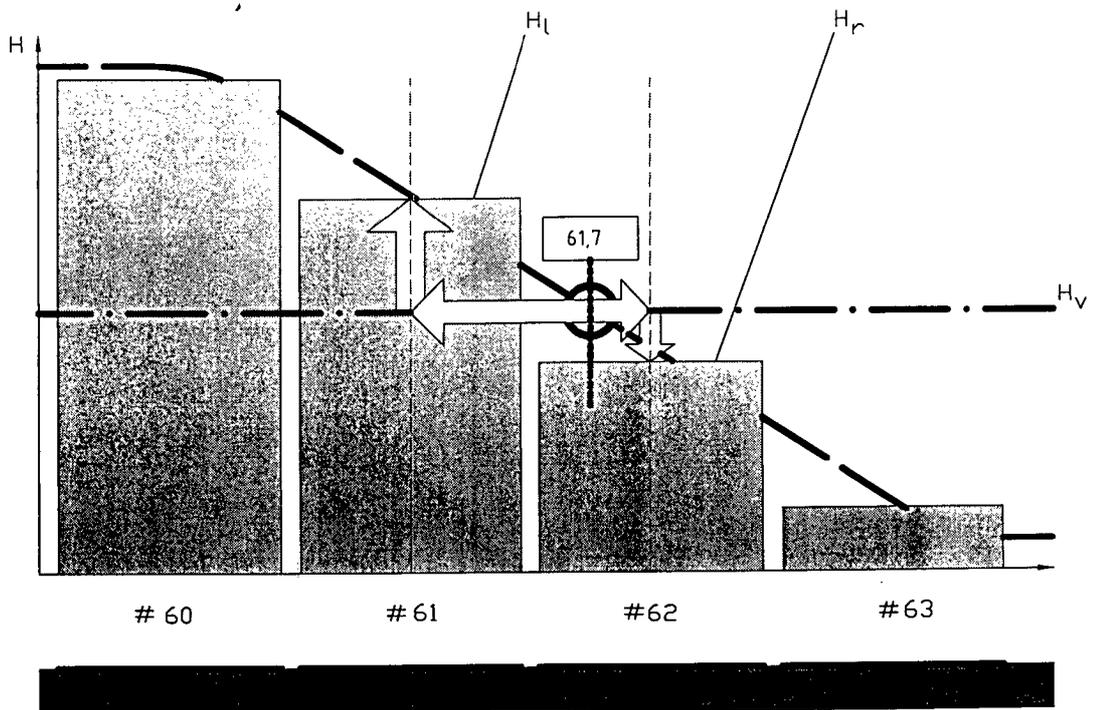


Fig. 10

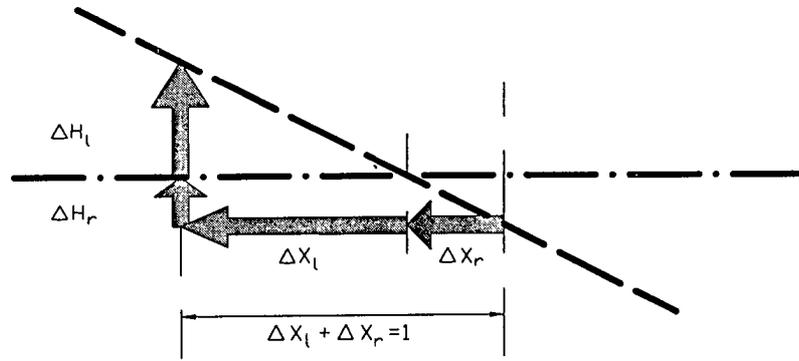


Fig. 11

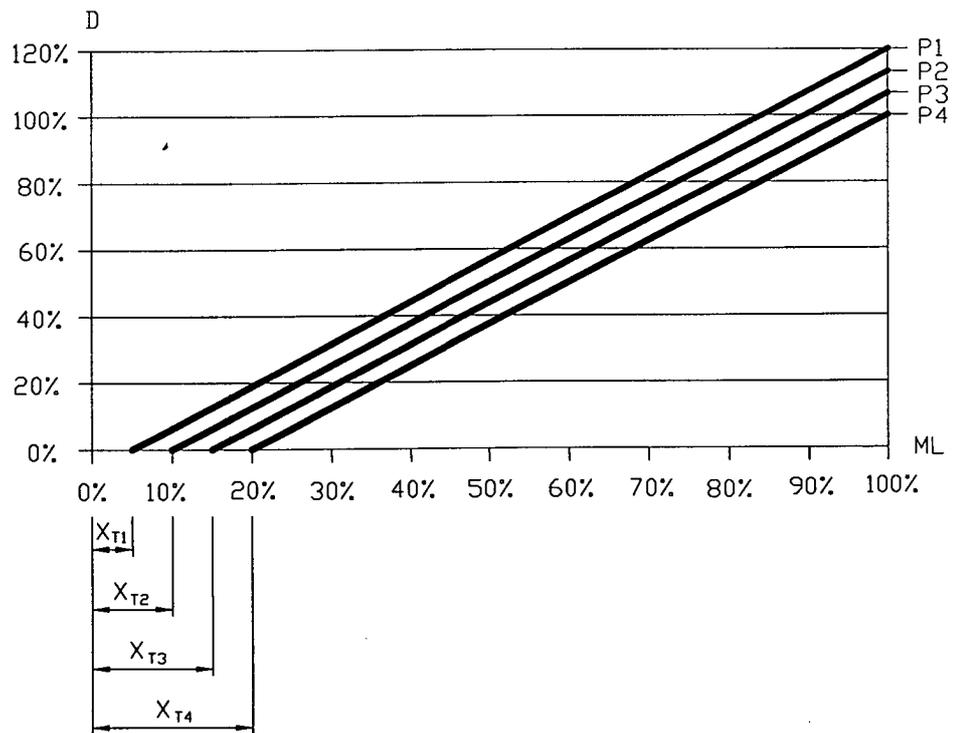


Fig. 12

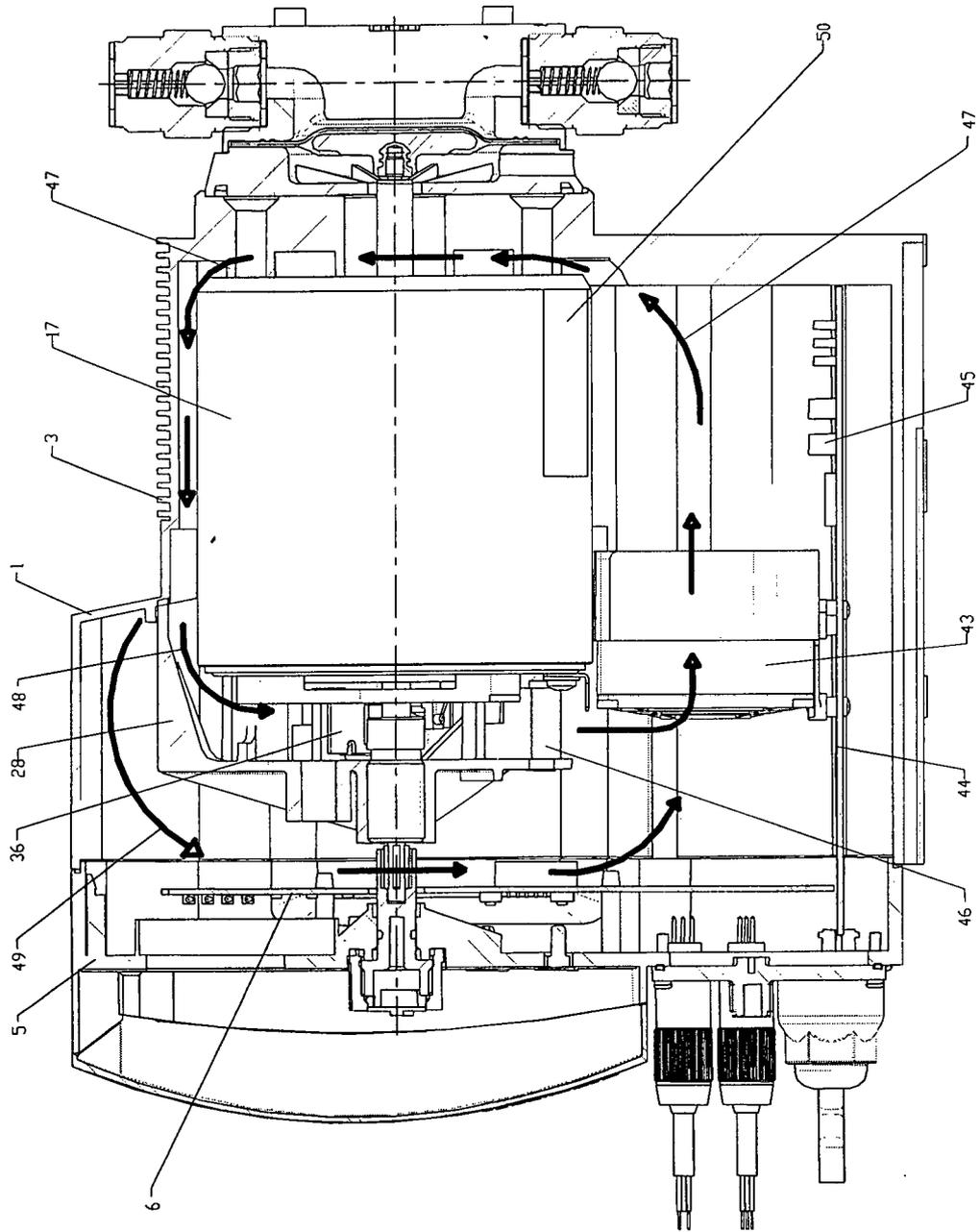


Fig. 13

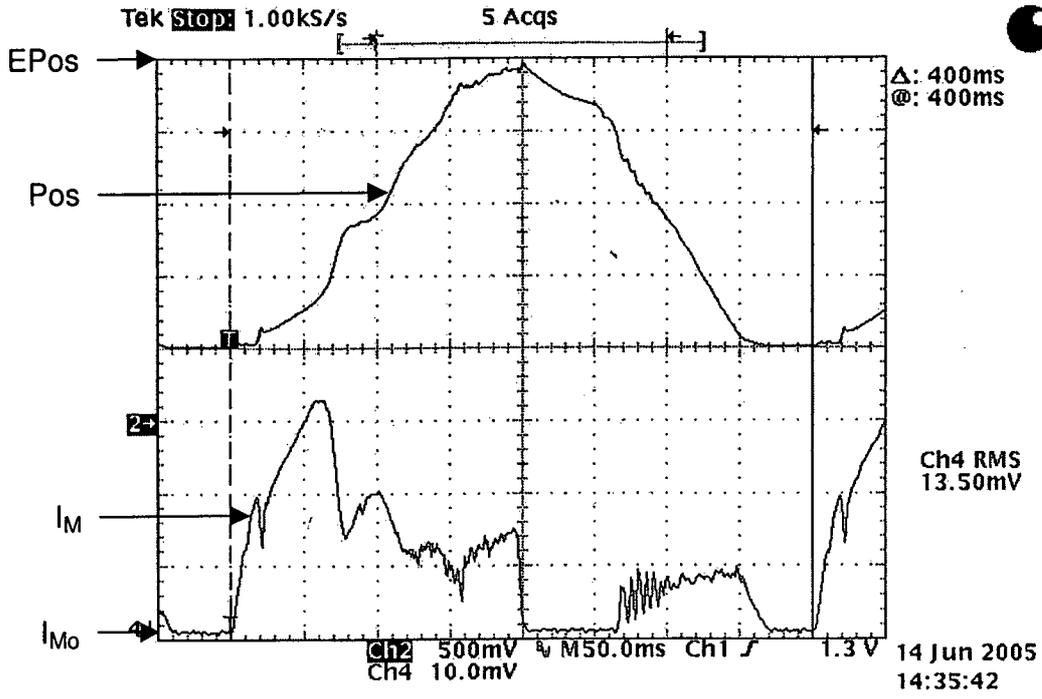


Fig. 14

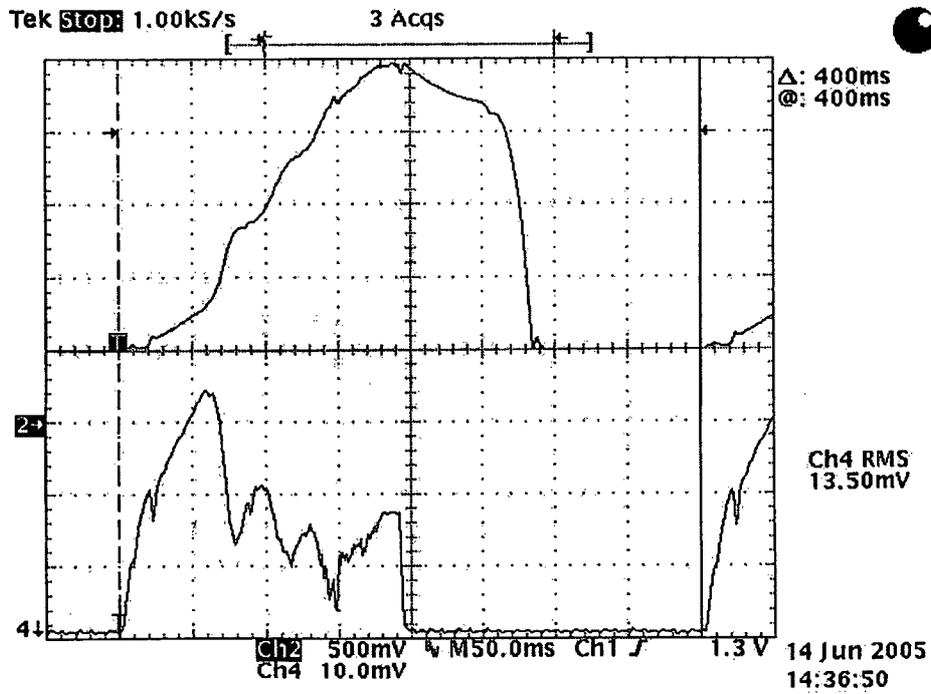


Fig. 15

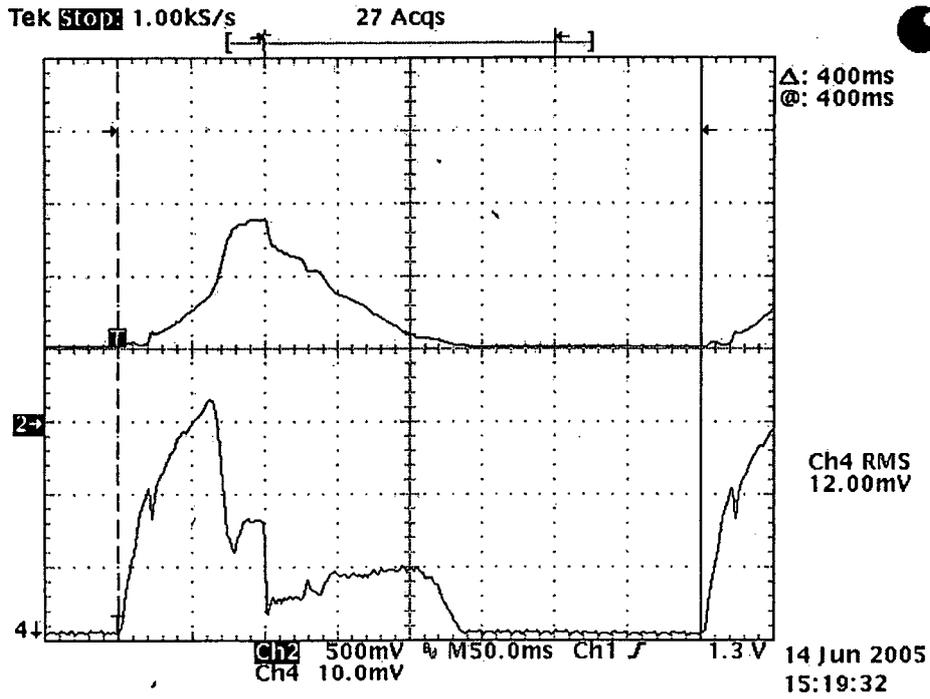


Fig. 16

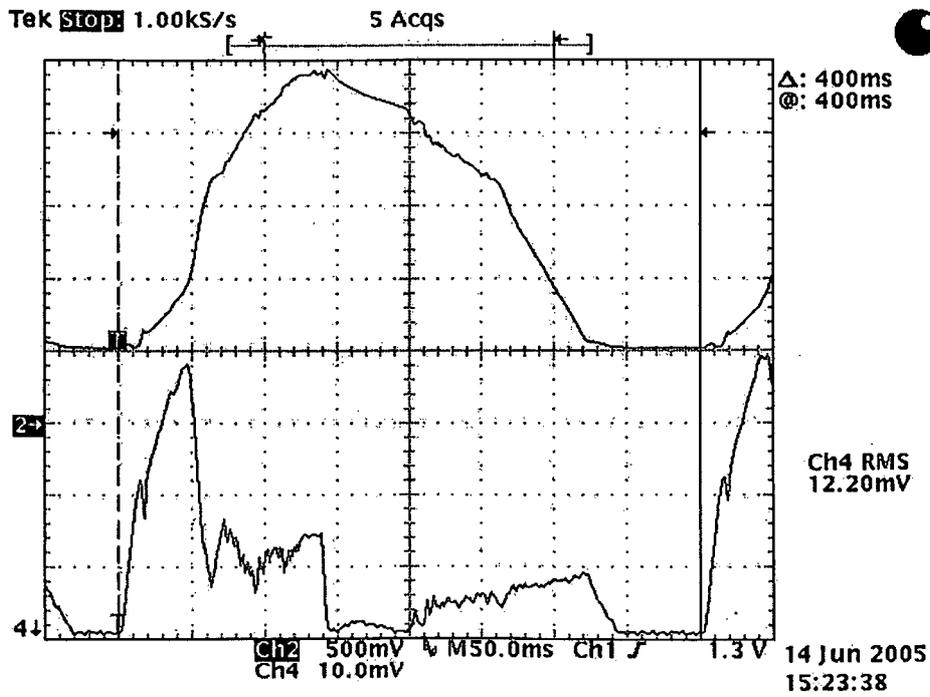


Fig. 17

