

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Vermindern der Geräuschentwicklung bei der Betätigung von elektromagnetisch betätigten Vorrichtungen, wobei ein Schaltvorgang der Vorrichtung im Bereich einer Übergangsfunktion mit begrenzter Steigung der Strom-Zeit-Kurve des Elektromagnets erfolgt.

[0002] Elektromagnetisch betätigte Vorrichtungen sind unter anderem elektromagnetische Ventile (Magnetventile) und Relais. Sie weisen einen Elektromagnet mit einer Magnetspule auf. Ein Anker (= vom Elektromagnet angetriebenes bewegliches Teil) ändert seine Lage (dies wird hier als der Schaltvorgang des Elektromagnets bezeichnet), wenn ein Strom in der Magnetspule z.B. bei seinem Anstieg einen bestimmten Wert erreicht.

[0003] Ein Verfahren der eingangs genannten Art ist aus der DE-C2-3425574 bekannt. Es wird der gesamte Bereich zwischen dem minimalen Strom (Null Ampere) und dem maximalen Strom der Magnetspule mit einem allmählichen Anstieg durchlaufen. Dabei liegt der Punkt, an dem der Tauchkern des Elektromagnets mit seiner Bewegung beginnt, immer im Bereich des genannten Anstiegs. Wenn der Zeitraum, innerhalb von dem der Elektromagnet schalten soll, relativ kurz ist, so führt dies dazu, daß der Strom in einer relativ steilen Steigung ansteigen muß, was dazu führen kann, daß das Schalten des Elektromagnets bei einem höheren Strom erfolgt, als unbedingt nötig wäre. Dies würde zu unerwünscht starker Geräuschentwicklung führen und kann den Verschleiß erhöhen.

[0004] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein genaues Schalten des Elektromagnets bei möglichst geringer Änderungsgeschwindigkeit (Steigung) des Stroms zu ermöglichen.

[0005] Diese Aufgabe wird gemäß der Erfindung dadurch gelöst, daß die Übergangsfunktion nur einen Teilbereich der Stromvariation zum Veranlassen eines Schaltvorgangs umfaßt, und daß zeitlich vor und nach der Übergangsfunktion ein im Vergleich zur Übergangsfunktion steilerer Anstieg des Stroms von einem Minimalwert bis zur Übergangsfunktion bzw. von der Übergangsfunktion bis zu einem Maximalwert des Stroms vorgenommen wird.

[0006] Ein Vorteil der Erfindung liegt darin, daß der Elektromagnet mit einer geringstmöglichen Energie geschaltet werden kann; dadurch ist der Energieüberschuß, der auf den Anker (= das bewegliche Teil der Magnetanordnung) des Elektromagnets übertragen wird, gering, und dies führt zu geringen Geräuschen und kann den Verschleiß (z. B. von Relaiskontakten) verringern.

[0007] Ein weiterer Vorteil der Erfindung liegt darin, daß der Strom von seinem geringsten Wert, normalerweise Null Ampere, bis zu demjenigen Wert, an dem die Steigung der Stromkurve, die von einer sehr großen Steigung unterschiedlich ist, beginnt, sehr schnell

durchlaufen werden kann. Außerdem kann der Bereich zwischen dem Strom am Ende der allmählichen Steigung bis zum maximal möglichen Wert des Stroms ebenfalls sehr schnell durchlaufen werden (Stromsprung). Vorteile liegen hierbei darin, daß zum Erzeugen des Stroms in der Spule des Elektromagnets verwendete Halbleiter-Schalterelemente nur relativ kurzzeitig in einem Bereich arbeiten, in dem sie einen gesteuerten Widerstand bilden; in diesem Bereich entsteht nämlich merkliche Wärme entsprechend dem Produkt $U \cdot I$. Dies ist der Bereich, in dem der Strom mit der Zeit allmählich ansteigt (oder abfällt). In den anderen Bereichen dagegen steigt der Strom innerhalb sehr kurzer Zeit an (begrenzt durch die zur Verfügung stehende Spannung und die Induktivität), so daß in diesen Bereichen wenig Wärme im Halbleiter-Schalterelement gebildet wird.

[0008] Schließlich erreicht der Strom am Ende des soeben geschilderten Vorgangs seinen maximalen Wert, und dies erfolgt dadurch, daß das Halbleiter-Schalterelement in einen möglichst niederohmigen Zustand (Sättigungsbereich, nichtlinear) gebracht wird, in welchem kaum Stromwärmeverluste entstehen. Daher kann das Halbleiter-Schalterelement den Elektromagnet in diesem Zustand ohne Bedenken längere Zeit, möglicherweise viele Stunden, halten, ohne daß das Halbleiter-Schalterelement thermisch gefährdet wird.

[0009] Weiterhin wird durch die geschilderte Art der Ansteuerung des Elektromagnets in jedem Falle sichergestellt, daß der Elektromagnet schaltet, soweit genügend Spannung zur Verfügung steht.

[0010] Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß der Zeitpunkt, an dem der Elektromagnet schaltet, meßtechnisch erfaßt wird, und daß eine Regelung vorgesehen ist, die dafür sorgt, daß der Schaltvorgang im Bereich der allmählichen Steigung liegt. Ein Vorteil liegt darin, daß Änderungen der Eigenschaften des Elektromagnets oder der Umgebungsbedingungen, beispielsweise der Temperatur, die zu einem unterschiedlichen Ansprechen des Elektromagnets führen könnten (z.B. wegen der Temperaturabhängigkeit der mechanischen Reibung), wodurch der Schaltvorgang außerhalb des Bereichs der allmählichen Steigung zu liegen kommen könnte, sich nicht auf den Zeitpunkt oder Zeitbereich des Schaltvorgangs auswirken. Weiter ist hierbei von Vorteil, daß der Zeitpunkt, in dem der Schaltvorgang eintritt, relativ eng eingeschränkt werden kann.

[0011] Bei einer Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, daß zum Feststellen, an welchem Punkt der Strom-Zeit-Kurve der Elektromagnet schaltet, der gesamte Strombereich in Form einer allmählich steigenden Kurve einmalig durchlaufen wird. Anschließend kann dann ein zeitlich und bezüglich des Stroms eingeschränkter Bereich um den Punkt des Schaltens des Elektromagnets herum herausgegriffen werden und der Strom kann vom Wert Null aus zum Beginn dieses

Bereichs sprunghaft ansteigen und vom Ende dieses Bereichs weiterhin sprunghaft zu seinem Maximalwert ansteigen. Der dazwischen liegende Bereich der Kurve kann mit einer Übergangsfunktion der Strom-Zeit-Kurve mit geringerer Steigung versehen werden als bei dem soeben geschilderten gesamten Durchlaufen des Strombereichs in Form einer ansteigenden Kurve. Diese Ausführungsform der Erfindung eignet sich besonders dafür, Geräte, die eine erfindungsgemäße Schaltung enthalten, nach der Fertigung oder auch nach jeweils längeren Zeiträumen sich automatisch überprüfen zu lassen, um den optimalen Schaltzeitpunkt des Elektromagnets (wieder) einzustellen bzw. nachzuregulieren (Adaption). Die bei einem derartigen Durchlaufen des gesamten Strombereichs ermittelten Werte können in einem dauerhaften Speicher, der in dem Gerät, das den Elektromagnet enthält, untergebracht ist, gespeichert werden und stehen dann auch nach längeren Zeiten, in denen der Elektromagnet nicht in Betrieb war, zur Verfügung.

[0012] Eine erfindungsgemäße Vorrichtung, die das erfindungsgemäße Verfahren ausführt, weist hierzu eine hinsichtlich ihrer Parameter steuerbare Steuervorrichtung zum Beeinflussen des Stromverlaufs auf, sowie vorteilhaft einen Speicher, in dem Parameter für die Steuervorrichtung speicherbar sind.

[0013] Erfindungsgemäß bestehen zahlreiche Möglichkeiten, wie der Zeitpunkt, an dem der Elektromagnet schaltet, festgestellt werden kann. Gemäß einer Ausführungsform der Erfindung erfolgt dies durch Untersuchung des Stroms oder der Spannung, die an der Spule des Elektromagnets anliegt. In dem Augenblick, in dem sich der Anker oder allgemein das bewegliche Teil des Elektromagnets in Bewegung setzt, ändert sich nämlich die Induktivität der Magnetanordnung, und dies macht sich in einer plötzlichen Spannungsänderung und Stromänderung bemerkbar, deren Zeitpunkt meßtechnisch erfaßt werden kann. Zusätzlich kann gemäß einer Ausführungsform die Amplitude dieser Stromänderung oder Spannungsänderung erfaßt werden. Die Höhe bzw. der Energieinhalt dieser Änderung ist ein Hinweis auf die Größe der überschüssigen Energie und somit auf die Endgeschwindigkeit des Ankers.

[0014] Bei einer anderen Ausführungsform der Erfindung wird der Schaltvorgang durch einen Drucksensor erkannt. Wenn der Elektromagnet Teil eines Ventils für ein Fluid ist, kann der Drucksensor so angeordnet sein, daß er eine durch die Bewegung des beweglichen Ventiltells verursachte Änderung des Drucks in dem Fluid erkennt. Zusätzlich oder stattdessen können andere Sensoren benutzt werden: z.B. ein Mikrophon, das so montiert ist, daß es in diesem Beispiel den vom Magnet und / oder Ventil beim Schalten (insbesondere beim Anschlagen des Ankers oder eines Ventiltellers beim Erreichen seines Endzustands) erzeugten Schall aufnimmt, oder ein Beschleunigungssensor, der Erschütterungen aufnimmt. Das Mikrophon kann auch so montiert sein, daß es den Schall im Fluid

erfaßt. Bei geeigneter Auswahl mag daher der Drucksensor auch die Aufgabe des Mikrophons übernehmen.

[0015] Weitere Möglichkeiten und Einrichtungen für das Feststellen des Schaltzeitpunkts des Ankers bestehen in einer Lichtschranke, Feststellung der Durchflußänderung des Fluids, Feststellung der Änderung eines Lastkreises, z.B. bei einem Relais.

[0016] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung anhand der Zeichnung, die erfindungswesentliche Einzelheiten zeigt, und aus den Ansprüchen. Die einzelnen Merkmale können je einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination bei einer Ausführungsform der Erfindung verwirklicht sein. Es zeigen

Fig. 1 schematisch einen beispielhaften Stromverlauf, in dem zunächst ein Elektromagnet durch einen ansteigenden Strom geschaltet wird und anschließend durch Absenken des seine Magnetspule durchfließenden Stroms der Schaltvorgang rückgängig gemacht wird, und

Fig. 2 eine schematische Darstellung der Schaltung einer Vorrichtung, die das erfindungsgemäße Verfahren ausführt.

[0017] In Fig. 1 erfolgt das Einschalten zwischen Zeitpunkten t_0 und t_3 , und das Ausschalten zwischen Zeitpunkten t_4 und t_7 , und zwar beim normalen Betrieb in demgegenüber eingeschränkten Bereichen t_1 bis t_2 (Einschalten) bzw. t_5 bis t_6 (Ausschalten).

[0018] Zwischen diesen beiden Schaltvorgängen liegt ein Zeitbereich (t_2 bis t_5), bei dem der Strom seinen Maximalwert hat.

[0019] Vom Zeitpunkt t_0 bis zum Zeitpunkt t_1 ist der Strom Null. Bei t_1 steigt der Strom sehr rasch auf einen Wert IE_1 an, bei dem ein Schaltvorgang des Elektromagnets mit Sicherheit noch nicht stattfindet. Anschließend folgt eine in diesem Beispiel etwa lineare Rampenfunktion oder ein allmählicher Anstieg des Stroms bis zum Zeitpunkt t_2 , an dem der Strom den Wert IE_2 hat. Innerhalb dieser Rampe zwischen den Zeitpunkten t_1 und t_2 erfolgt das Einschalten des Elektromagnets. Anschließend wird das Halbleiter-Schalterelement, das als Stellglied für den Strom dient, auf einen weitestgehend niederohmigen Wert geschaltet, was zu dem Maximalstrom I_{ein} in Fig. 1 führt. Beim Ausschalten liegt im Beispiel der Strom IA_5 beim Beginn der fallenden Rampe im Zeitpunkt t_5 niedriger als bei t_2 ; bei anderen Ausführungsformen könnte der Strom IA_5 gleich wie oder sogar größer als der Strom IE_2 sein. Vom Zeitpunkt t_6 bis t_7 ist der Strom Null.

[0020] Fig. 2 zeigt eine Anordnung 1 mit einem Magnetventil 3, das einen Elektromagnet mit einer Magnetspule 4 enthält. Das Magnetventil 3 liegt in einer Rohrleitung 7, in der sich ein Fluid (im Beispiel ein Gas) befindet, das von einer Fluidquelle 8, die im Beispiel mit

einem elektrischen Kompressor für Luft ausgestattet ist und Luft mit unterschiedlichem Druck bereitstellen kann, durch die Rohrleitung 7 unter Druck zu einem Behälter 9 gefördert wird, wenn das Magnetventil 3 offen (durchlässig) ist und der Behälter 9 befüllt werden soll. Wird der Druck der Fluidquelle 8 auf einen kleineren Wert gebracht als im Behälter 9, so wird bei offenem Magnetventil 3 der Behälter 9 entleert bzw. der Druck in ihm vermindert. An die Rohrleitung 7 ist ein Drucksensor 11 angeschlossen, der einerseits zur Sicherstellung des Betriebs der Anordnung und für beliebige Überwachungsaufgaben dient, andererseits auch dazu dient, den Schaltzeitpunkt des Magnetventils zu erkennen.

[0021] Der Strom durch die Magnetspule 4 des Magnetventils 3 wird durch eine Stromregelvorrichtung geregelt, die in Verbindung mit einem steuerbaren Halbleiter-Schaltelement, nämlich im Beispiel einem Transistor 17, eine Stromquelle bereitstellt. Die Steuerelektrode (Basis) des Transistors 17 ist mit dem Ausgang eines Operationsverstärkers 19 verbunden. Der Transistor 17 ermöglicht eine Sperrung, eine niederohmige Durchschaltung, oder eine kontinuierliche Widerstandsänderung. Sein Kollektor ist über die in Serie geschaltete Magnetspule 4 mit einer positiven Versorgungsspannung UB verbunden.

[0022] Eine Temperaturerfassung 21 erfaßt die Versorgungsspannung UB und den durch den Transistor 17 (im niederohmigen Zustand = Sättigungszustand) fließenden Strom unter Berücksichtigung des Spannungsabfalls an einem Widerstand R mit bekanntem Wert, der in die Zuleitung zum Emitter des Transistors 17 geschaltet ist. Bei bekanntem Widerstand des Transistors 17 im Sättigungszustand (bzw. bei bekanntem Spannungsabfall am Transistor) wird der Widerstand der Magnetspule 4 ermittelt, und durch Vergleich mit einem zuvor bei einer bekannten Temperatur gemessenen (und gespeicherten) Spulenwiderstand wird auf die augenblickliche Temperatur der Magnetspule geschlossen. Die Temperaturerfassung 21 leitet dann, wenn die Spulentemperatur eine vorgegebene Grenztemperatur überschreitet, Schutzmaßnahmen oder Gegenmaßnahmen ein. Im Beispiel wird in einem solchen Fall die Ansteuerung des Operationsverstärkers 19 über eine Einrichtung Temperaturschutz 22 geändert, wodurch eine Änderung des Stromverlaufs in der Magnetspule 4 bewirkt wird. Wenn ein Mikrocontroller mit einem Analogeingang zur Verfügung steht, so kann ohne merklichen Mehraufwand die Spulentemperatur, wie geschildert, erfaßt werden.

[0023] Der Drucksensor 11 liefert beim Erkennen einer Druckänderung, die für den Beginn einer Zustandsänderung des Magnetventils 3, genauer für den Beginn der Bewegung des Ankers des Elektromagnets charakteristisch ist, ein Signal an einen Block 23 "Adaption", der eine Steuereinrichtung enthält, die mit einem elektronischen Speicher 25 zusammenwirkt. Der Block 23 liefert ein Signal an eine Zustandsübergangssteuerung 27, durch die der Strom in der Magnetspule 4 geregelt wird. Es ist außerdem noch die Möglichkeit ein-

gezeichnet, daß die Spannung UL an der Magnetspule 4 abgegriffen wird und einem Block 29 "Anschlagserkennung" zugeführt wird, der mit dem Block 23 verbunden ist. Dabei wird neben dem Zeitpunkt einer Spannungsänderung auch deren Amplitude erfaßt und daraus auf die Endgeschwindigkeit des Ankers geschlossen.

[0024] Die Zustandsübergangssteuerung 27 enthält einen Prozessor, der entsprechend dem gewünschten zeitlichen Verlauf der Strom-Zeit-Kurve ein Pulsweiten-moduliertes Signal PWM-Signal) erzeugt, das durch Integration ein analoges Signal ergibt, das dem Operationsverstärker 19 zugeführt wird. Bei anderen Ausführungsbeispielen ist der Prozessor mehreren Schaltungen gemäß Fig. 2 gemeinsam zugeordnet. Insgesamt erfolgt die Steuerung so, daß der Schaltzeitpunkt möglichst genau in der Mitte des allmählich ansteigenden bzw. abfallenden Teils der Strom-Zeit-Kurve liegt, daß diese genannten Teile unter Berücksichtigung der erforderlichen Schaltgenauigkeit und der Störungsmöglichkeiten zeitlich möglichst kurz sind, und daß bei auftretenden Störungen während des Betriebs eine Regelung erfolgt, um die soeben genannten Bedingungen möglichst schnell wieder zu erreichen bzw. eine störende Abweichung zu verhindern.

[0025] Es kann durchaus sinnvoll sein, zusätzlich zu der Erkennung des Schaltvorgangs mittels Drucksensor auch eine Erkennung des Beginns der Bewegung des beweglichen Teil des Elektromagnets durch die Erfassung der Spannung (oder des Stroms) vorzusehen, wie dargestellt.

[0026] Der Anstieg (und Abfall) des Stroms muß nicht in Form einer etwa linearen Rampe erfolgen, sondern es ist hier eine weitgehend beliebige Kurvenform (Übergangsfunktion) möglich. Diese muß nicht notwendigerweise monoton ansteigend bzw. abfallend verlaufen. Sie kann Krümmungen oder Knicke aufweisen. Erfindungsgemäß kann diese Übergangsfunktion oder auch die Rampe praktisch in dem Augenblick, in dem sich der Anker des Elektromagnets in Bewegung setzt (besonders bei steigendem Strom), was erfaßt wird, durch Steuerung einen kurzzeitig abfallenden Verlauf erhalten, damit der Anker möglichst wenig beschleunigt wird.

[0027] Oben wurde beschrieben, daß zum Feststellen, an welchem Punkt der Strom-Zeit-Kurve der Elektromagnet schaltet, der gesamte Strombereich in Form einer allmählich steigenden Kurve einmalig durchlaufen wird. Dies erfolgt in Fig. 1 vom Zeitpunkt t0 bis zum Zeitpunkt t3.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Vermindern der Geräuschentwicklung bei der Betätigung von elektromagnetisch betätigten Vorrichtungen, wobei ein Schaltvorgang der Vorrichtung im Bereich einer Übergangsfunktion mit begrenzter Steigung der Strom-Zeit-Kurve

des Elektromagnets erfolgt, dadurch gekennzeichnet, daß die Übergangsfunktion nur einen Teilbereich der Stromvariation zum Veranlassen eines Schaltvorgangs umfaßt, und daß zeitlich vor und nach der Übergangsfunktion ein im Vergleich zur Übergangsfunktion steilerer Anstieg des Stroms von einem Minimalwert bis zur Übergangsfunktion bzw. von der Übergangsfunktion bis zu einem Maximalwert des Stroms vorgenommen wird.

gehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die elektromagnetisch betätigte Vorrichtung ein Magnetventil ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Zeitpunkt des Beginns des Schaltens ermittelt wird, daß geprüft wird, ob der Schaltvorgang in einem mittleren Bereich der Übergangsfunktion erfolgt, und daß dann, wenn dies nicht der Fall ist, die Übergangsfunktion zeitlich und/oder hinsichtlich ihres Strombereichs so verändert wird, daß bei nachfolgenden Schaltvorgängen diese im mittleren Bereich der Übergangsfunktion liegen.

10

15

20
3. Vorrichtung zum Ausführen des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, gekennzeichnet durch einen Sensor zum Ermitteln des Schaltzeitpunkts eines Elektromagnets (3), eine Einrichtung zum Feststellen, an welcher Stelle der Strom-Zeit-Kurve der Schaltzeitpunkt liegt, und eine Einrichtung zum Verändern der genannten Kurve für zeitlich später liegende Schaltvorgänge in der Weise, daß der Schaltzeitpunkt sich in einem mittleren Bereich der Kurve befindet.

25

30
4. Vorrichtung nach Anspruch 3, gekennzeichnet durch einen elektronischen Speicher (25) zum Speichern der Daten der genannten Kurve.

35
5. Vorrichtung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein den Strom durch die Magnetspule (4) aufnehmendes Halbleiter-Schalt-element (Transistor 17) bei maximalem Strom durch die Magnetspule (4) sich in einem niederohmigen Betriebszustand (Sättigungsbereich des Halbleiters) befindet.

40
6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vorrichtung (Temperaturerfassung 21, Temperaturschutz 22) zum Schutz der Magnetspule (4) vor thermischer Überlastung vorgesehen ist.

45

50
7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, und Vorrichtung nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zum Erkennen des Schaltens mindestens eines der folgenden Mittel vorgesehen ist: elektrische Erfassung, Schall, Erschütterung, optische Erkennung.

55
8. Verfahren und Vorrichtung nach einem der vorher-

Fig. 1

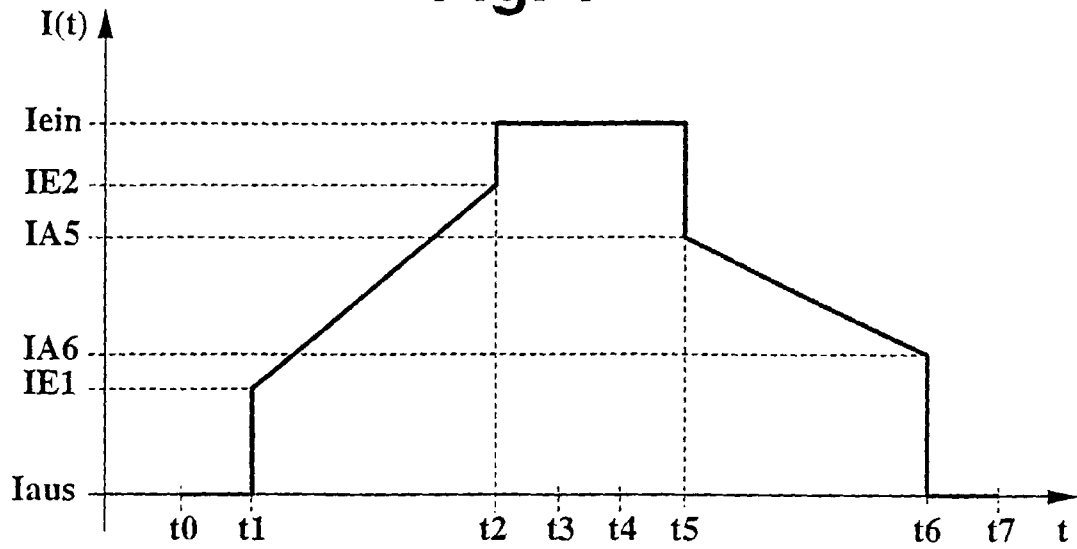


Fig. 2

