

19



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Économie

11

N° de publication :

LU502542

12

BREVET D'INVENTION**B1**

21

N° de dépôt: LU502542

51

Int. Cl.:

H03K 5/1254, H01H 47/04

22

Date de dépôt: 21/07/2022

30

Priorité:

72

Inventeur(s):

WINKEL Fabian - Allemagne, SCHOLZ Peter -
Allemagne

43

Date de mise à disposition du public: 22/01/2024

74

Mandataire(s):

PHOENIX CONTACT GMBH & CO. KG -
32825 Blomberg (Allemagne)

47

Date de délivrance: 22/01/2024

73

Titulaire(s):

PHOENIX CONTACT GMBH & CO. KG -
32825 Blomberg (Allemagne)

54

Verfahren zum prellreduzierten Schalten eines elektromechanischen Schaltelements.

57

Vorgeschlagen wird ein Verfahren zum prellreduzierten Schalten eines elektromechanischen Schaltelements, aufweisend mehrere Kontakte und einen Anker, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Schritt in einer Initialphase eine vorgegebene Anzahl an Schalthandlungen durchgeführt werden, um einen Referenzwert für ein Prellen der Kontakte zu ermitteln, und um einen Suchraum für zumindest einen Zeitpunkt und zumindest eine Dauer eines Schaltsignals zur Prellreduzierung zu begrenzen, wobei während einer der Initialphase nachfolgenden Schalthandlung ein Schaltsignal als ein einzelner Puls oder als mehrere Pulse zu je einem vorgegebenen Zeitpunkt für je eine vorgegebene Dauer innerhalb des Suchraums geändert wird, um ein Prellen der Kontakte durch Abbremsen des Ankers zu verringern.

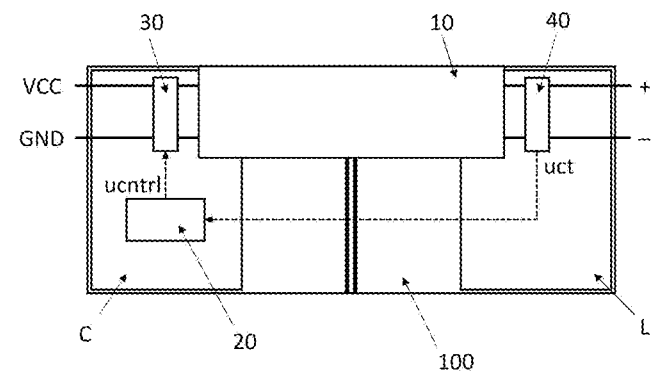


Fig. 2

Verfahren zum prellreduzierten Schalten eines elektromechanischen Schaltelements

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum prellreduzierten Schalten eines
5 elektromechanischen Schaltelements.

Ein elektromechanisches Schaltelement wie z.B. ein Relais kann durch eine spezielle
Ansteuerung der Spule schonend und somit lebensdauererhöhend geschaltet werden.
Im Normalfall wird die Relaispule dauerhaft mit einer konstanten Spannung ein- oder
10 ausgeschaltet, was dazu führen kann, dass die Kontakte nach dem ersten
Aufeinandertreffen Prellen, was zu einer unnötigen Beanspruchung des Kontaktes und
somit ggf. zu einer längeren Schaltdauer und reduzierter Lebensdauer führen kann.

Es sind bereits Verfahren bekannt, um das Prellen zu verringern. Beispielsweise kann
15 mittels einer Steuerung des magnetischen Flusses das Prellen reduziert werden. Dazu
werden lediglich elektrische Messgrößen benutzt und mit einem Mikrocontroller 20
ausgewertet. Es sind keine zusätzlichen Sensoren nötig. Alternativ kann das
Versorgungsspannungssignal bei den Schaltvorgängen anhand mehrerer Parameter
verändert werden, welche durch einen Optimierer so gewählt werden, dass das Prellen
20 reduziert wird, wie z.B. in der WO 2017/163 114 A1 offenbart, welche eine Anwendung
im Bereich der Konsumentengüter beschreibt.

Da es immer noch Verbesserungsbedarf bei der Reduzierung des Prellens gibt, ist es
eine Aufgabe dieser Erfindung, ein verbessertes Verfahren zum prellreduzierten
25 Schalten eines elektromechanischen Schaltelements bereitzustellen. Ebenso soll ein
Universalsockel mit integriertem Mikrocontroller bereitgestellt werden, der dieses
Verfahren implementiert.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale der unabhängigen
30 Patentansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der abhängigen
Ansprüche.

Vorgeschlagen wird ein Verfahren zum prellreduzierten Schalten eines elektromechanischen Schaltelements, aufweisend mehrere Kontakte und einen Anker, dadurch gekennzeichnet, dass in einem ersten Schritt in einer Initialphase eine vorgegebene Anzahl an Schalthandlungen durchgeführt werden, um einen Referenzwert für ein Prellen der Kontakte zu ermitteln, und um einen Suchraum für zumindest einen Zeitpunkt und zumindest eine Dauer eines Schaltsignals zur Prellreduzierung zu begrenzen, wobei während einer der Initialphase nachfolgenden Schalthandlung ein Schaltsignal als ein einzelner Puls oder als mehrere Pulse zu je einem vorgegebenen Zeitpunkt für je eine vorgegebene Dauer innerhalb des Suchraums geändert wird, um ein Prellen der Kontakte durch Abbremsen des Ankers zu verringern.

In einer Ausführung ist vorgesehen, dass die Initialphase in einem eingebauten Zustand des elektromechanischen Schaltelements durchgeführt wird.

In einer weiteren Ausführung ist vorgesehen, dass der vorgegebene Zeitpunkt und die vorgegebene Dauer mittels eines Optimierungsalgorithmus ermittelt werden, welcher während der Schalthandlung des elektromechanischen Schaltelements ausgeführt wird.

In einer weiteren Ausführung ist vorgesehen, dass der Optimierungsalgorithmus eine Kombination aus einer bare bone und evolutionärer Partikel Schwarm Optimierung mit einer Dichteschätzung ist.

In einer weiteren Ausführung ist vorgesehen, dass folgende Schritte ausgeführt werden:

- in einem ersten Schritt werden ein normales Prellen und eine Dauer des Prellens ermittelt, und daraus der Suchraum aufgespannt,
- in einem zweiten Schritt wird eine vorgegebene Anzahl an Kombinationen von Zeitpunkten und Dauer im Suchraum verteilt, und
- in einem dritten Schritt werden die Kombinationen ausgeführt und das jeweilige Prellen bestimmt, und
- in einem vierten Schritt werden die Kombinationen nach ihrem Prellen sortiert, wobei je geringer das Prellen ist, desto besser werden sie bewertet, und es wird eine vorgegebene Anzahl an besten Kombinationen behalten, und

- in einem fünften Schritt werden neue Kombinationen basierend auf einer oder mehreren der letzten, besten Kombinationen definiert und in einem Radius darum verteilt, wobei im Falle, dass die besten Kombinationen ein längeres Prellen als der Referenzwert aufweisen, die neuen Kombinationen zufällig im Suchraum gewählt werden, und
- in einem sechsten Schritt wird das normale Prellen erneut evaluiert, wenn eine vorgegebene Bedingung erfüllt ist, und es werden der dritte bis sechste Schritt wiederholt durchgeführt.

10 In einer weiteren Ausführung ist vorgesehen, dass die in dem sechsten Schritt vorgegebene Bedingung ist, dass bereits eine Anzahl an Schaltvorgängen ausgeführt wurde.

15 In einer weiteren Ausführung ist vorgesehen, dass das Steuersignal ein Einschaltsignal oder ein Ausschaltsignal des elektromechanischen Schaltelements ist.

Ferner wird ein Mikrocontroller bereitgestellt, in dem das Verfahren als Softwareprogramm implementiert ist, wobei der Mikrocontroller ferner dazu eingerichtet ist, ein Kontaktsignal zu messen, das ein Prellen der Kontakte widerspiegelt, und ein

20 Steuersignal zu dem ermittelten vorgegebenen Zeitpunkt für die ermittelte vorgegebene Dauer als einzelnen Puls oder als mehrere Pulse zu je einem vorgegebenen Zeitpunkt für je eine vorgegebene Dauer an das mit dem Mikrocontroller verbundene elektromechanische Schaltelement auszugeben, um dieses prellreduziert von einem ersten in einen zweiten Schaltzustand zu schalten.

25 In einer weiteren Ausführung ist vorgesehen, dass der Mikrocontroller das Steuersignal als ein PWM- Steuersignal ausgibt.

Ferner wird eine Universalkomponente bereitgestellt, aufweisend:

- 30 - ein elektromechanisches Schaltelement, aufweisend mehrere Kontakte und einen Anker,
- einen Lastkreis, der mit einer integrierten Messtechnik zur Erzeugung zumindest eines Kontaktsignals ausgebildet ist, um ein Prellen der Kontakte zu erfassen,
- einen Steuerkreis, an den das Kontaktsignal übertragen wird, sowie

- einen mit dem Steuerkreis elektrisch kontaktierten und mit dem elektromechanischen Schaltelement in Signalverbindung stehenden Mikrocontroller.^{LU502542}

5 In einer weiteren Ausführung ist vorgesehen, dass die Universalkomponente als Relaissockel gebildet ist.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen der Erfindung, anhand der Figuren der Zeichnung, die erfindungsgemäße Einzelheiten zeigt, und aus den Ansprüchen. Die
10 einzelnen Merkmale können je einzeln für sich oder zu mehreren in beliebiger Kombination bei einer Variante der Erfindung verwirklicht sein.

Bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand der beigefügten Zeichnung näher erläutert. Es zeigt:

15

Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung eines Relais mit dreipoligem Wechslerkontakt gemäß einer allgemeinen Ausführungsform.

Figur 2 zeigt eine schematische Darstellung einer Universalkomponente gemäß einer
20 Ausführung der vorliegenden Erfindung

Figuren 3 und 4 zeigen Diagramme eines Einschalt- bzw. Ausschaltvorgangs gemäß dem Stand der Technik und gemäß einer erfindungsgemäßen Optimierung.

25 Figur 5 zeigt eine Darstellung eines Verfahrensablaufs gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung.

Figur 6 zeigt eine Darstellung des Ergebnisses der Optimierung über mehrere Iterationen gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung.

30

Figur 7 zeigt eine Darstellung einer Reduzierung des Prellens im Mittel gemäß einer Ausführung der vorliegenden Erfindung.

In den nachfolgenden Figurenbeschreibungen sind gleiche Elemente bzw. Funktionen mit gleichen Bezugszeichen versehen. LU502542

- 5 Prellen hat einen negativen Einfluss auf die Lebensdauer von elektromechanischen Schaltelementen wie Relais und Schütze und damit auch auf das gesamte elektronische System, in dem sie eingesetzt werden. Durch eine Reduzierung des Prellens (schonendes Schalten) können sowohl die Lebensdauer als auch die Zuverlässigkeit des elektromechanischen Schaltelements maßgeblich verbessert werden, was wiederum zur Stiftung von ökonomischem und ökologischem Nutzen führt. Weiterhin werden die Geräusche beim Schaltvorgang reduziert und die Schaltzeit kann verkürzt werden. Die Optimierung der Prellreduzierung ist eine Herausforderung, da das Prellen eine große Varianz aufweist und oftmals mehrere Optima hinsichtlich der Parameterwahl vorhanden sind.
- 10 Anwendung findet das vorgeschlagene Verfahren in Produkten mit elektromechanischen Schaltelementen, die mehrere Kontakte 7a, 7b, 7c und einen Anker 5 aufweisen. Insbesondere sind elektromechanische Schaltelemente der vorgeschlagenen Erfindung in Universalsockeln verbaut, die z.B. in der industriellen Automatisierung, in HV-DC-Switches (Hochspannungs-Gleichstrom-Übertragungsschalter), oder auch in Ladesäulen für Elektrofahrzeuge, etc. Anwendung finden. Die hier verwendeten elektromechanischen Schaltelemente können in der Regel nicht direkt nach Produktion oder basierend auf einem oder mehreren Referenzbauteilen konfiguriert werden, da je nach Einsatzszenario, also Art des Schaltelements, Steuerspannung, Einbaulage, Einbauort etc. unterschiedliche Einflüsse wirken, die zu veränderten Eigenschaften der Schalteigenschaften des Schaltelements, z.B. zu einem Prellen, führen können. Deshalb wird gemäß der Erfindung eine Prellreduzierung direkt am Einbauort vorgenommen. Das heißt, dass das Verfahren zur Prellreduzierung und die Optimierung in der Universalkomponente ausgeführt werden. Hierfür sind sowohl Messtechnik als auch ein Mikrocontroller nötig.
- 15 20 25 30
- Nachfolgend wird lediglich auf ein Relais als elektromechanisches Schaltelement 10 Bezug genommen. Allerdings kann das Verfahren auch für andere elektromechanische Schaltelemente, die einem Prellen unterliegen können, verwendet werden, z.B. Schütze.

Das Prellen der Kontakte eines Relais ist abhängig von der Bewegung der Bauteile des Relais, im speziellen vom Anker 5, Betätigungsarm und den Kontakten, wie in Figur 1 gezeigt, welche eine schematische Darstellung eines dreipoligen Wechslerkontakts 2 gemäß einer allgemeinen Ausführungsform zeigt. Vorliegend ist der Wechslerkontakt 2 dabei lediglich beispielhaft ein Teil eines elektromechanischen Schaltelements 10 bzw. Wechslerrelais.

Das elektromechanische Schaltelement 10 umfasst dabei drei, dem Wechslerkontakt 2 zugeordnete, Anschlüsse, welche im Folgenden gemäß der üblichen Konvention als COM-Anschluss („common“) 2a, NC-Anschluss 2b (normally closed) und NO-Anschluss 2c (normally open) bezeichnet werden. Weiterhin umfasst das elektromechanische Schaltelement 10 zwei Relaisspulenanschlüsse 3a und 3b, über die eine Relaisspule 3, kurz auch als Spule 3 bezeichnet, des elektromechanischen Schaltelements 10 bestromt werden kann. Über den Stromfluss wird von der Relaisspule 3 ein magnetisches Feld aufgebaut, das in einem magnetischen Kern 4 geführt wird und eine Kraft auf einen beweglichen Relaisanker 5, kurz auch als Anker 5 bezeichnet, ausübt, der wiederum über einen Schieber 6 eine Bewegung ein oder mehrerer, den jeweiligen Anschlüssen 2a, 2b, 2c zugeordneter Kontaktelemente bzw. Kontaktpillen 7a, 7b, 7c verursacht. Beispielsweise wird im vorliegenden lediglich exemplarischen Fall bei Stromfluss durch die Spule 3 die COM Kontaktpille 7a mit der NO-Kontaktpille 7c verbunden. Wenn der Stromfluss durch die Spule 3 unterbrochen wird, werden die Kontaktpillen 7a, 7b, 7c, z.B. aufgrund einer entsprechenden federnden Verspannung des COM-Kontaktelements 7a, wieder in ihre Ursprungslage versetzt werden, d. h. vorliegend die COM-Kontaktpille 7a mit der NC-Kontaktpille 7b kontaktiert. Neben der hier dargestellten Ausführungsform, bei der ein Wechslerkontakt 2 Bestandteil eines elektromechanischen Schaltelements 10 ist, kann der gattungsgemäße Wechslerkontakt 2 jedoch auch in anderen Vorrichtungen wie z. B. einem Wechselschalter integriert sein.

Die Bewegung wird beim Einschalten (erster Schaltzustand) des elektromechanischen Schaltelements 10, also durch das Anlegen einer Versorgungsspannung an die Spule 3, hervorgerufen. Durch die Versorgungsspannung wird der Anker 5 zur Spule 3 gezogen. Beim Ausschalten (zweiter Schaltzustand) wird die Bewegung durch

Umwandlung von elastischer Verformungsenergie hervorgerufen. Sowohl beim Ein- als auch beim Ausschalten kann die Bewegung mit einer geeigneten Schaltung beeinflusst werden. Beim Einschalten kann die Beschleunigung des Ankers 5 durch ein Aussetzen der Versorgungsspannung unterbrochen werden und beim Ausschalten kann eine Kraft generiert werden, die der Bewegungsrichtung des Ankers 5 entgegenwirkt. Die technische Herausforderung liegt hierbei darin, das Steuersignal auf die Prellreduzierung zu optimieren.

Um das Ziel der vorliegenden Erfindung zu erreichen, werden in einem ersten Schritt S1 in einer Initialphase eine vorgegebene Anzahl an Schalthandlungen durchgeführt, um einen Referenzwert für ein Prellen der Kontakte 7a, 7b, 7c zu ermitteln, und um einen Suchraum für zumindest einen Zeitpunkt t und zumindest eine Dauer d eines Schaltsignals $ucntrl$ zur Prellreduzierung zu begrenzen, wie später ausführlicher beschrieben. Die Initialphase wird im bereits eingebauten Zustand des elektromechanischen Schaltelements 10 durchgeführt.

Während einer der Initialphase nachfolgenden Schalthandlung wird zur verbesserten Prellreduzierung das Schaltsignal $ucntrl$, welches bevorzugt das Einschaltsignal ist, da hier ein Prellen möglichst verhindert werden sollte, zu einem bestimmten Zeitpunkt t für eine bestimmte Dauer d geändert. Es wird also während einer Schalthandlung ein einziger oder mehrere (Spannungs-)Puls(e) erzeugt, um das Prellen der Kontakte 7a, 7b, 7c zu reduzieren, indem der Anker 5 abgebremst wird. Jeder Puls wird zu einem bestimmten Zeitpunkt t erzeugt und weist dabei eine bestimmte Dauer d auf. Der Puls bzw. die Pulse können dabei ein vollständiges Ausschalten (im Falle des Einschaltsignals) bzw. Einschalten (im Falle des Ausschaltsignals) des Signals sein, also bis zur jeweiligen Maximalspannung bzw. Minimalspannung (in der Regel 0) $ucoil$ reichen, oder nur um einen vorgegebenen Wert reduziert werden bzw. ansteigen.

Vorteilhaft wird ein Optimierungsalgorithmus verwendet, um den vorgegebenen Zeitpunkt t und die vorgegebene Dauer d des Schaltsignals $ucntrl$ zur Prellreduzierung zu ermitteln. Der Optimierungsalgorithmus wird während der Schalthandlung des elektromechanischen Schaltelements 10 ausgeführt. Das heißt, dass der Optimierungsalgorithmus die optimale Spulen-Signalform (Steuersignal, Steuerspannung $ucntrl$) bestimmt, um das Prellen zu verringern. Hierfür wird in einer

Ausführungsform eine Messtechnik dazu verwendet, um die Informationen zu erhalten,^{LU502542}
die für das schonende Schalten und den Optimierungsalgorithmus benötigt werden.
Das benötigte Kontaktsignal uct kann dabei galvanisch vom Lastkreis L getrennt an den
Steuerkreis C übertragen werden.

5

Durch einen Optimierer können t und d so gewählt werden, dass das Prellen reduziert
wird. Im Kontext der Erfindung wird dazu eine Partikel Schwarm Optimierung (PSO)
durchgeführt. Konkret werden die Vorteile von einer bare bone PSO und einer
evolutionären PSO kombiniert und um eine Dichteschätzung erweitert. Andere
10 Optimierer sind jedoch ebenfalls denkbar, sofern sie flexibel genug auf die
Charakteristika des Schaltens des verwendeten elektromechanischen Schaltelements
10 ausgelegt werden können. Der im Stand der Technik beschriebene Run-to-Run-
Algorithmus weist im Gegensatz zum vorgeschlagenen PSO-Algorithmus Nachteile in
Bezug auf diese Flexibilität auf. Vorteile der Verwendung eines PSO-Algorithmus sind,
15 dass dieser robust gegenüber Rauschen ist, das Optimum auch bei mehreren lokalen
Optima gefunden werden kann und ein geringer Rechenaufwand notwendig ist. Dies ist
von besonderer Bedeutung, da die Optimierung inklusive Initialphase in der Anwendung
erfolgt, also nach oder bei der Produktion. Je länger und je häufiger das
elektromechanische Schaltelement 10 verwendet wird, desto besser wird die
20 Prellreduzierung, da die Optimierung dann immer bessere Ergebnisse liefert.

Im Rahmen der Darstellung der Erfindung wird ein Zweipunktregler verwendet, es liegt
also entweder volle Spannung oder keine Spannung an, wobei auch andere Regler
verwendet werden können, die beliebig viele diskrete Ausgangszustände oder einen
25 kontinuierlichen Ausgangszustand aufweisen.

Für das Verfahren werden mehrere Komponenten benötigt, die beispielhaft als
Universalkomponenten 100 in Figur 2 dargestellt sind. Die Komponenten lassen sich in
Lastseite L und Kontaktseite C unterteilen, beide sind durch das elektromechanische
30 Schaltelement 10 miteinander verbunden. Eine galvanische Trennung beider Seiten ist
in Figur 2 beispielhaft dargestellt, jedoch nur anwendungsbezogen erforderlich. Die
Steuerseite weist mindestens 2 Anschlüsse auf, eine Versorgungsspannung bzw.
Schaltspannung VCC und ein Massepotential bzw. Bezugspotential GND. Es können
alternativ auch zwei getrennte Signale zur Versorgung und zum Schalten verwendet

werden (nicht dargestellt). Die Versorgungsspannung VCC wird über eine Schaltung 30^{LU502542} von einem Mikrocontroller 20 mit dem Steuersignal ucntl gesteuert. Das Steuersignal ucntl kann dem Mikrocontroller 20 auch extern zugeführt werden. Auf der Kontaktseite stehen mindestens zwei Anschlüsse (+) und (-) zur Verfügung, die über das

5 elektromechanische Schaltelement 10 kontaktiert werden können. Dazwischen ist eine Mess-Sensorik 40 eingebracht, mit der das Kontaktüberwachungssignal uct generiert werden kann. Dieses Signal kann galvanisch getrennt zum Mikrocontroller übertragen werden, eine direkte Einspeisung bzw. Übertragung ist jedoch ebenfalls denkbar. Das Kontaktüberwachungssignal uct kann beispielhaft für drei Schaltzustände

10 unterschiedliche Spannungslevel annehmen:

- der COM-Anschluss 2a fliegt, keine Verbindung zu NC-Anschluss 2b oder NO-Anschluss 2c;
- COM-Anschluss 2a und NO-Anschluss 2c sind kontaktiert, die Hälfte der Versorgungsspannung liegt an;
- 15 - COM-Anschluss 2a und NC-Anschluss 2b sind kontaktiert, Massepotential liegt an.

Für die Anwendungsfälle gemäß der Erfindung muss dieses Kontaktsignal durch eine Schaltung erzeugt werden, die galvanisch vom elektromechanischen Schaltelement 10

20 und dem Steuerkreis C getrennt ist, wie in Figur 2 angedeutet. Alternativ dazu ist auch eine andere Messtechnik zur Ermittlung des Kontaktsignals uct möglich.

Wie bereits erwähnt, wird ein Mikrocontroller 20 benötigt, der die Steuerspannung ucntl als einzelner oder mehrere Pulse z.B. in Form eines PWM-Signals

25 (Pulsweitenmoduliertes Signal) erzeugen, das Kontaktüberwachungssignal uct messen und einen Optimierungsalgorithmus wie z.B. eine PSO (Partikel Schwarm Optimierung) ausführen kann.

Der Kern der Erfindung ist es, eine Änderung des Steuersignals, also der

30 Steuerspannung ucntl, zu einem bestimmten Zeitpunkt t für eine kurze Dauer d während eines Schaltvorgangs zu verändern, um die Bewegung des Ankers 5 zu beeinflussen und damit Prellen zu reduzieren. Dies kann einmalig oder mehrmals geschehen.

In Figuren 3 und 4 sind die Messwerte für einen normalen Schaltzyklus in der linken Spalte „Normal“ und für einen gemäß dem vorgeschlagenen Verfahren optimierten Schaltvorgang „Optimiert“ in der rechten Spalte dargestellt. Die Schalthandlung startet zum Zeitpunkt t_0 , bei dem die Spulenspannung beim Einschalten eingeschaltet und beim Ausschalten entsprechend ausgeschaltet wird. Bei beiden Schaltvorgängen sind ab dem Zeitpunkt t_0 die Spulenspannungen konstant. Die Ankerbewegung des elektromechanischen Schaltelements 10 ist an dem Einbruch im Spulenstrom i_{coil} beim Einschalten ab etwa 5 ms zu sehen, beim Ausschalten durch die induzierte Spannung bei etwa 6 ms. Durch die Ankerbewegung ändert sich die Kontaktierung von COM 2a, zunächst ist eine kurze Flugphase zu erkennen, die in ein Prellen b_{on} (normal) und b_{off} (normal) der Kontakte übergeht. Der Schaltvorgang endet schließlich mit einem Wechsel des Schaltzustandes (Ein oder Aus).

Die Funktionsweise der Prellreduzierung wird anhand der rechten Spalte von Figuren 3 und 4 erläutert. Die optimierten Schaltvorgänge unterscheiden sich von den normalen Schaltvorgängen dadurch, dass die Spulenspannung u_{coil} zu einem bestimmten Zeitpunkt t_{on} bzw. t_{off} für eine bestimmte Dauer d_{on} bzw. d_{off} geändert wird, in dieser Ausführung also als ein einzelner Puls ausgeführt wird. Dadurch wird der Spulenstrom i_{coil} beeinflusst, der beim Einschalten (Figur 3) einbricht und beim Ausschalten (Figur 4) ansteigt, sodass der Anker 5 in seiner jeweiligen Beschleunigung gebremst wird. Auf diesem Weg wird die Dauer des Prellens b_{on} bzw. b_{off} sowohl beim Ein- als auch beim Ausschalten signifikant reduziert. Zusätzlich kann die Schaltdauer s_{off} beim Ausschalten verkürzt werden, beim Einschalten s_{on} ist in diesem Ausführungsbeispiel keine signifikante Änderung zu beobachten.

Grundsätzlich erfolgen der oder die Pulse möglichst während der Ankerbewegung, insbesondere kurz vor dem Stromeinbruch/-anstieg i_{coil} , d.h. (kurz) vor dem Erreichen der Zielposition des Ankers 5 im Ein- oder Ausschaltvorgang. Für die Reduzierung des Prellens der Kontakte 7a, 7b, 7c ist die Wahl der Kombination aus den Variablen t und d entscheidend, wobei t kleiner als das lokale Minimum/Maximum sein muss und d maximal der Zeitkonstante der Spule entsprechen darf, da der Puls ansonsten ein eigener Schaltvorgang ist. Da der Stromeinbruch i_{coil} von der Anwendung und den dort herrschenden Umgebungsbedingungen abhängig ist, muss für jedes elektromechanische Schaltelement 10 eine separate Optimierung am Anwendungsort

ausgeführt werden. Hierfür kann ein Optimierungsalgorithmus verwendet werden.

Dieser wird in einer Steuereinrichtung, z.B. einem Mikrocontroller 20, der zusammen mit dem elektromechanische Schaltelement 10 in einer Universalkomponente

(Relaissockel) 100 integriert sein kann, ausgeführt. Jede Universalkomponente 100

5 weist also einen Mikrocontroller 20 auf, der die Optimierung durchführt und für das elektromechanische Schaltelement, in dieser Ausführung das elektromechanische Schaltelement 10, die optimalen Parameter t und d berechnet. Dies ist vorteilhaft, da die genaue Anwendung und die Umgebungsbedingungen, in welcher das elektromechanische Schaltelement 10 verwendet wird, in der Regel vorab nicht bekannt
10 ist.

In einer Ausführung können für jedes Einsatzszenario des elektromechanischen Schaltelements 10, also Relaisart, Steuerspannung, Einbaulage etc. der vorgegebene Zeitpunkt t und die vorgegebene Dauer d für jeden Puls zur Prellreduzierung vorab

15 ermittelt werden (durch Messungen einer Stichprobe oder Simulation) und die ermittelten Werte als Startwerte für die vor Ort auszuführende Initialphase oder eine weitere Optimierung bei jedem Schalten in der finalen Anwendung verwendet werden („best guess“).

20 Wie bereits beschrieben, wird in einer Ausführung eine PSO (Partikel Schwarm Optimierung) durchgeführt, um die Parameter t und d zu ermitteln. Konkret werden die Vorteile von einer bare bone PSO und einer evolutionären PSO kombiniert und um eine Dichteschätzung erweitert. Es wird also nicht wie bereits im Stand der Technik vorgeschlagen, eine Run-to-Run-Optimierung zu verwenden.

25 Der funktionale Aufbau des verwendeten PSO-Algorithmus ist in Figur 5 schematisch gezeigt, mit dem beide Parameter t und d optimiert werden. Die Spulenspannung u_{coil} und der Spulenstrom i_{coil} können optional gemessen werden, werden aber nicht für die Ausführung des Algorithmus benötigt. Der Algorithmus benötigt lediglich das vom Lastkreis L bereitgestellte Kontaktüberwachungssignal u_{ct} , um den aktuellen Zustand des Ankers 5 zu bestimmen.

Der Algorithmus ist in sechs Teilschritte untergliedert:

- Schritt S1: Initialphase, welche nach Einbau des elektromechanischen Schaltelements 10 durchgeführt wird, um einen Referenzwert für ein Prellen der Kontakte 7a, 7b, 7c zu ermitteln, und um einen Suchraum für zumindest einen Zeitpunkt t und zumindest eine Dauer d eines Schaltsignals u_{cntrl} zur Prellreduzierung zu begrenzen. Hierfür werden t_{max} und d_{max} bestimmt, wobei der Zeitpunkt t_{max} dem spätesten Zeitpunkt, zu dem die Änderung gestartet wird, entspricht, und d_{max} der Zeitkonstante der Spule entspricht. Weiterhin wird ein Referenzwert b_{normal} für das Prellen ohne Optimierung (normales Prellen) abestimmt.

5
10
- Schritt S2 (Initialisierung des Algorithmus): Hier werden n (n ist die Anzahl der Kombinationen) Kombinationen äquidistant verteilt. Anschließend werden n Kombinationen der gesuchten Parameter t und d äquidistant im Suchraum verteilt. Wenn nicht n Kombinationen verteilt werden können, dann werden die übrigen Kombinationen zufällig im Suchraum verteilt.

15
- Schritt S3 (iterativer Teil des Algorithmus): Hier werden die Kombinationen ausgeführt und das tatsächliche Prellen b der Kontakte 7a, 7b, 7c bestimmt.

20
- Schritt S4: Hier werden die besten $m\%$ Kombinationen behalten: Die Kombinationen werden nach ihrem Prellen b sortiert und nur die $m\%$ (m ist ein vorgegebener Zahlenwert) der Kombinationen werden behalten, die übrigen werden verworfen. Dieses Vorgehen ist inspiriert von der evolutionären Partikel Schwarm Optimierung. Die besten Kombinationen werden in einer nachfolgenden Iteration erneut ausgeführt, um sicherzustellen, dass die Prellreduktion reproduzierbar ist.

25
- Schritt S5. Hier werden neue Kombinationen definiert: Die neuen Kombinationen werden auf Basis der besten Kombinationen bestimmt. Dazu wird eine von letzteren als Quelle gewählt und ein Radius als mittlere Entfernung zu den k (k ist eine vorgegebene Anzahl) nächsten Kombinationen berechnet. Anschließend wird die neue Kombination in diesen Radius zufällig normalverteilt gewählt.

30
- Schritt S6. Hier wird nach einer vorgegebenen Anzahl an Iterationen bzw. Schaltvorgängen b_{normal} reevaluiert. Um sicherzustellen, dass das Prellen b reduziert wird und nicht z.B. der ein neues elektromechanische Schaltelement 10 mit anderen Charakteristika eingebaut wurde, muss regelmäßig (nach einer vorgegebenen Anzahl an Iterationen bzw. Schaltvorgängen) ein Update von b_{normal} erfolgen. Wenn eine der besten Kombinationen keine Reduktion hervorruft, dann werden die neuen Kombinationen zufällig im Suchraum verteilt. Dieses Vorgehen ermöglicht eine erneute Exploration des Suchraums, wenn das Verhalten des Relais sich spontan ändert.

Da der Algorithmus in einer Schleife ausgeführt wird, erfolgt nach jedem Schritt S6 eine Wiederholung der Schritte S3 bis S6. Wenn Schritt S6 nicht ausgeführt wird, da die nötige Anzahl an Iterationen noch nicht erreicht wurde, werden ebenfalls Schritte S3 bis S6 ausgeführt. Beispielsweise kann eine vorgegebene Anzahl an Iterationen eines häufig verwendeten elektromechanische Schaltelement 10 bei 200 liegen, wobei die vorgegebene Anzahl an Iterationen abhängig vom Einsatzszenario ist, insbesondere von der Häufigkeit der Schaltvorgänge.

In Figur 6 ist die Funktionsweise des beschriebenen Algorithmus dargestellt, wie in einer tatsächlichen Berechnung ermittelt. Es sind insgesamt zehn Grafiken zu erkennen, in der oberen Reihe für das Einschalten, in der unteren für das Ausschalten. Die einzelnen Spalten geben die Nummer der dargestellten Iterationen (hier 0, 1, 2, 10 und 20) an, wobei dazwischenliegende Iterationen der Übersichtlichkeit halber weggelassen werden. Auf der Ordinate wird der Zeitpunkt t (ms) und auf der Abszisse die Dauer d (ms) aufgetragen. Der Hintergrund ist nach der relativen Reduzierung des Prellens eingefärbt, die Skala ist rechts angegeben. Es wurden alle Kombinationsmöglichkeiten mehrfach ausgeführt und das Prellen als Mittelwert bestimmt. Es sind aus visuellen Gründen nur Verbesserungen zu erkennen, Verschlechterungen entsprechen optisch einer Verbesserung von 0 %. Die Kombinationen sind durch Kreuze markiert. In der nullten Iteration (Iteration 0) ist zu erkennen, dass die Kombinationen äquidistant im Suchraum verteilt wurden, einige wurden zufällig gewählt. Bei der ersten Iteration wurden die Kombinationen erstmals nach dem Schritt S5 des Algorithmus bestimmt. Es ist zu erkennen, dass sich die Kombinationen in den Bereichen mit hoher Prellreduzierung verdichten. Die zweite Iteration (Iteration 2) zeigt die Fortsetzung dieses Verhaltens, wobei die Kombinationen langsam zur maximalen Prellreduktion konvergieren. In der zehnten Iteration (Iteration 10) sind die Kombinationen bereits hoch verdichtet um die lokalen Maxima, wobei mehrere Maxima gleichzeitig exploriert werden können. Schlussendlich ist in der letzten Iteration (Iteration 20) zu erkennen, dass das jeweilige maximale Prellreduzieren erfolgreich gefunden wurde.

In Figur 7 ist die mittlere Reduzierung des Prellens von 48 Relais für das Einschalten (oben) und Ausschalten (unten) in den ersten 1000 Schaltvorgängen (Zyklen)

dargestellt. Dabei sind sowohl der Mittelwert als auch das 90 % Konfidenzintervall dargestellt. Als Referenz dient als gestrichelte Linie das normale Prellen b_{normal} . Am Mittelwert ist zu erkennen, dass beim Einschalten das Prellen um 79 % und beim Ausschalten um 58 % reduziert werden kann, dabei konvergiert der Algorithmus nach etwa 250 Schaltvorgängen. Mit der Konvergenz sinkt auch der Bereich des 90 % Konfidenzintervalls unterhalb der Schwelle des normalen Prellens b_{normal} .

Wie bereits erwähnt, ist zur Ausführung des Verfahrens ein Mikrocontroller 20 nötig. In diesem ist das vorgeschlagene Verfahren als Softwareprogramm implementiert. Der Mikrocontroller 20 ist ferner dazu eingerichtet, ein Kontaktsignal u_{ct} zu messen, das ein Prellen der Kontakte 7a, 7b, 7c des elektromechanischen Schaltelements 10 widerspiegelt. Auch ist er dazu eingerichtet, ein Steuersignal u_{cntrl} zu dem ermittelten vorgegebenen Zeitpunkt t für die ermittelte vorgegebene Dauer d als einzelnen Puls oder als mehrere Pulse zu je einem vorgegebenen Zeitpunkt t für je eine vorgegebene Dauer d an das mit dem Mikrocontroller 20 verbundene elektromechanische Schaltelement 10 auszugeben, um dieses prellreduziert von einem ersten in einen zweiten Schaltzustand (Einschalten oder Ausschalten) zu schalten.

In einer Ausführung gibt der Mikrocontroller 20 das Steuersignal u_{cntrl} als ein PWM-Steuersignal u_{cntrl} aus.

Außerdem wird eine Universalkomponente vorgeschlagen, die ein elektromechanisches Schaltelement 10 mit mehreren Kontakten 7a, 7b, 7c und einem Anker 5, einen Lastkreis L, der mit einer integrierten Messtechnik zur Erzeugung zumindest eines Kontaktsignals u_{ct} ausgebildet ist, um ein Prellen der Kontakte 7a, 7b, 7c des elektromechanischen Schaltelements 10 zu erfassen, einen Steuerkreis C, an den das Kontaktsignal u_{ct} bevorzugt galvanisch vom Lastkreis L getrennt übertragen wird, sowie einen mit dem Steuerkreis C elektrisch kontaktierten und mit dem elektromechanischen Schaltelement 10 in Signalverbindung stehenden Mikrocontroller 20 aufweist. Die Universalkomponente ist dabei vorteilhaft ein Relaissockel, indem alle Komponenten integriert sind.

Bezugszeichenliste

	2	Wechslerkontakt
	2a	COM-Anschluss
5	2b	NC-Anschluss
	2c	NO-Anschluss
	3	Relaisspule
	3a, 3b	Relaisspulenanschlüsse
	4	magnetischer Kern
10	5	Relaisanker
	6	Schieber
	7a-7c	Kontaktelemente
	10	Elektromechanisches Schaltelement
	20	Mikrokontroller
15	30	Schaltkreis für die Steuerspannung ucntrl
	40	Sensorik für das Kontaktüberwachungssignal uct
	100	Universalkomponente (Relaissockel)
	C	Steuerkreis
	L	Lastkreis
20	uct	Kontaktüberwachungssignal
	ucntrl	Steuerspannung
	icoil	Spulenstrom
	ucoil	Spulenspannung
	bon, boff	Dauer des Prellens
25	son, soff	Schaltdauer

Patentansprüche

LU502542

1. Verfahren zum prellreduzierten Schalten eines elektromechanischen Schaltelements (10), aufweisend mehrere Kontakte (7a, 7b, 7c) und einen Anker (5), dadurch gekennzeichnet, dass
5 in einem ersten Schritt (S1) in einer Initialphase eine vorgegebene Anzahl an Schalthandlungen durchgeführt werden, um einen Referenzwert für ein Prellen der Kontakte (7a, 7b, 7c) zu ermitteln, und um einen Suchraum für zumindest einen Zeitpunkt (t) und zumindest eine Dauer (d) eines Schaltsignals (ucntrl) zur Prellreduzierung zu begrenzen, wobei
10 während einer der Initialphase nachfolgenden Schalthandlung ein Schaltsignal (ucntrl) als ein einzelner Puls oder als mehrere Pulse zu je einem vorgegebenen Zeitpunkt (t) für je eine vorgegebene Dauer (d) innerhalb des Suchraums geändert wird, um ein Prellen der Kontakte (7a, 7b, 7c) durch
15 Abbremsen des Ankers (5) zu verringern.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei die Initialphase in einem eingebauten Zustand des elektromechanischen Schaltelements (10) durchgeführt wird.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei der vorgegebene Zeitpunkt (t) und die vorgegebene Dauer (d) mittels eines Optimierungsalgorithmus ermittelt werden, welcher während der Schalthandlung des elektromechanischen Schaltelements (10) ausgeführt wird.
- 25 4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der Optimierungsalgorithmus eine Kombination aus einer bare bone und evolutionärer Partikel Schwarm Optimierung mit einer Dichteschätzung ist.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei folgende Schritte ausgeführt werden:
30 - in einem ersten Schritt (S1) werden ein normales Prellen und eine Dauer des Prellens (tmax) ermittelt, und daraus der Suchraum aufgespannt,
- in einem zweiten Schritt (S2) wird eine vorgegebene Anzahl an Kombinationen von Zeitpunkten (t) und Dauer (d) im Suchraum verteilt, und

- in einem dritten Schritt (S3) werden die Kombinationen ausgeführt und das jeweilige Prellen (b) bestimmt, und
 - in einem vierten Schritt (S4) werden die Kombinationen nach ihrem Prellen (b) sortiert, wobei je geringer das Prellen (b) ist, desto besser werden sie bewertet, und es wird eine vorgegebene Anzahl an besten Kombinationen behalten, und
 - in einem fünften Schritt (S5) werden neue Kombinationen basierend auf einer oder mehreren der letzten, besten Kombinationen definiert und in einem Radius darum verteilt, wobei im Falle, dass die besten Kombinationen ein längeres Prellen als der Referenzwert aufweisen, die neuen Kombinationen zufällig im Suchraum gewählt werden, und
 - in einem sechsten Schritt (S6) wird das normale Prellen erneut evaluiert, wenn eine vorgegebene Bedingung erfüllt ist, und es werden der dritte bis sechste Schritt (S3 bis S6) wiederholt durchgeführt.
6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei die in dem sechsten Schritt (S6) vorgegebene Bedingung ist, dass bereits eine Anzahl an Schaltvorgängen ausgeführt wurde.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Steuersignal (ucntrl) ein Einschaltsignal oder ein Ausschaltsignal des elektromechanischen Schaltelements (10) ist.
8. Mikrocontroller (20), in dem das Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche als Softwareprogramm implementiert ist, wobei der Mikrocontroller (20) ferner dazu eingerichtet ist,
- ein Kontaktsignal (uct) zu messen, das ein Prellen der Kontakte (7a, 7b, 7c) widerspiegelt, und
 - ein Steuersignal (ucntrl) zu dem ermittelten vorgegebenen Zeitpunkt (t) für die ermittelte vorgegebene Dauer (d) als einzelnen Puls oder als mehrere Pulse zu je einem vorgegebenen Zeitpunkt (t) für je eine vorgegebene Dauer (d) an das mit dem Mikrocontroller (20) verbundene elektromechanische Schaltelement (10) auszugeben, um dieses prellreduziert von einem ersten in einen zweiten Schaltzustand zu schalten.

9. Mikrocontroller (20) nach Anspruch 7, wobei der Mikrocontroller (20) das Steuersignal (ucntrl) als ein PWM- Steuersignal (ucntrl) ausgibt.
10. Universalkomponente (100), aufweisend:
- 5 - ein elektromechanisches Schaltelement (10), aufweisend mehrere Kontakte (7a, 7b, 7c) und einen Anker (5),
 - einen Lastkreis (L), der mit einer integrierten Messtechnik zur Erzeugung zumindest eines Kontaktsignals (uct) ausgebildet ist, um ein Prellen der Kontakte (7a, 7b, 7c) zu erfassen,
 - 10 - einen Steuerkreis (C), an den das Kontaktsignal (uct) übertragen wird, sowie
 - einen mit dem Steuerkreis (C) elektrisch kontaktierten und mit dem elektromechanischen Schaltelement (10) in Signalverbindung stehenden Mikrocontroller (20) nach Anspruch 8 oder 9.
- 15 11. Universalkomponente (100) nach Anspruch 10, die als Relaissockel gebildet ist.

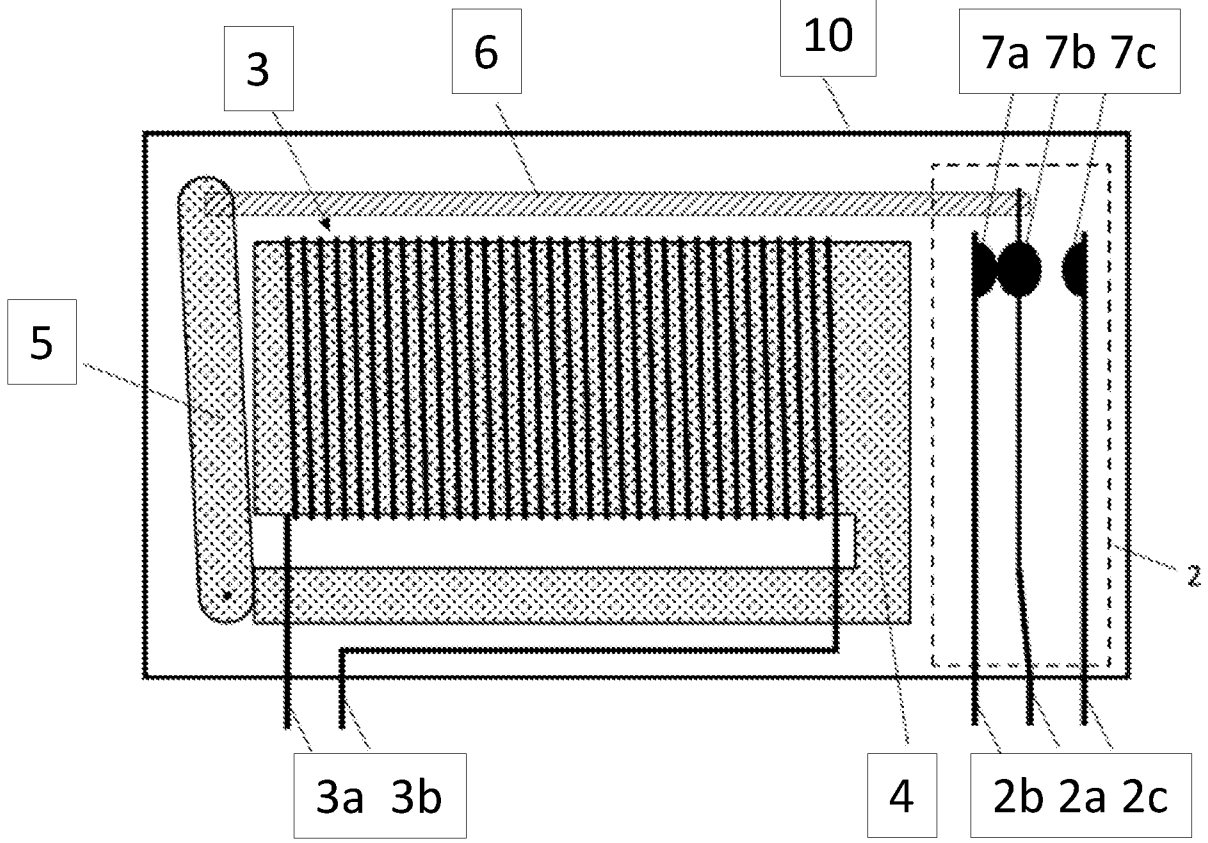


Fig. 1

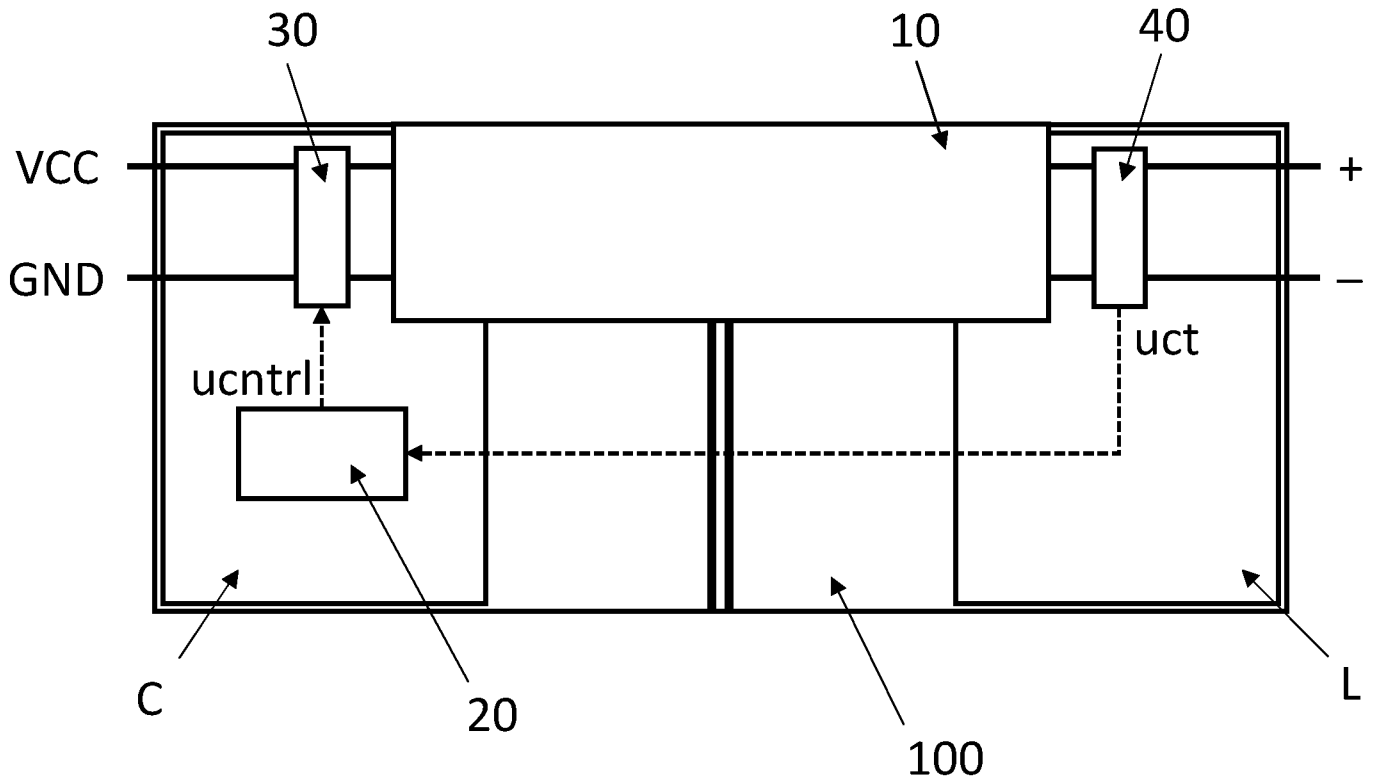


Fig. 2

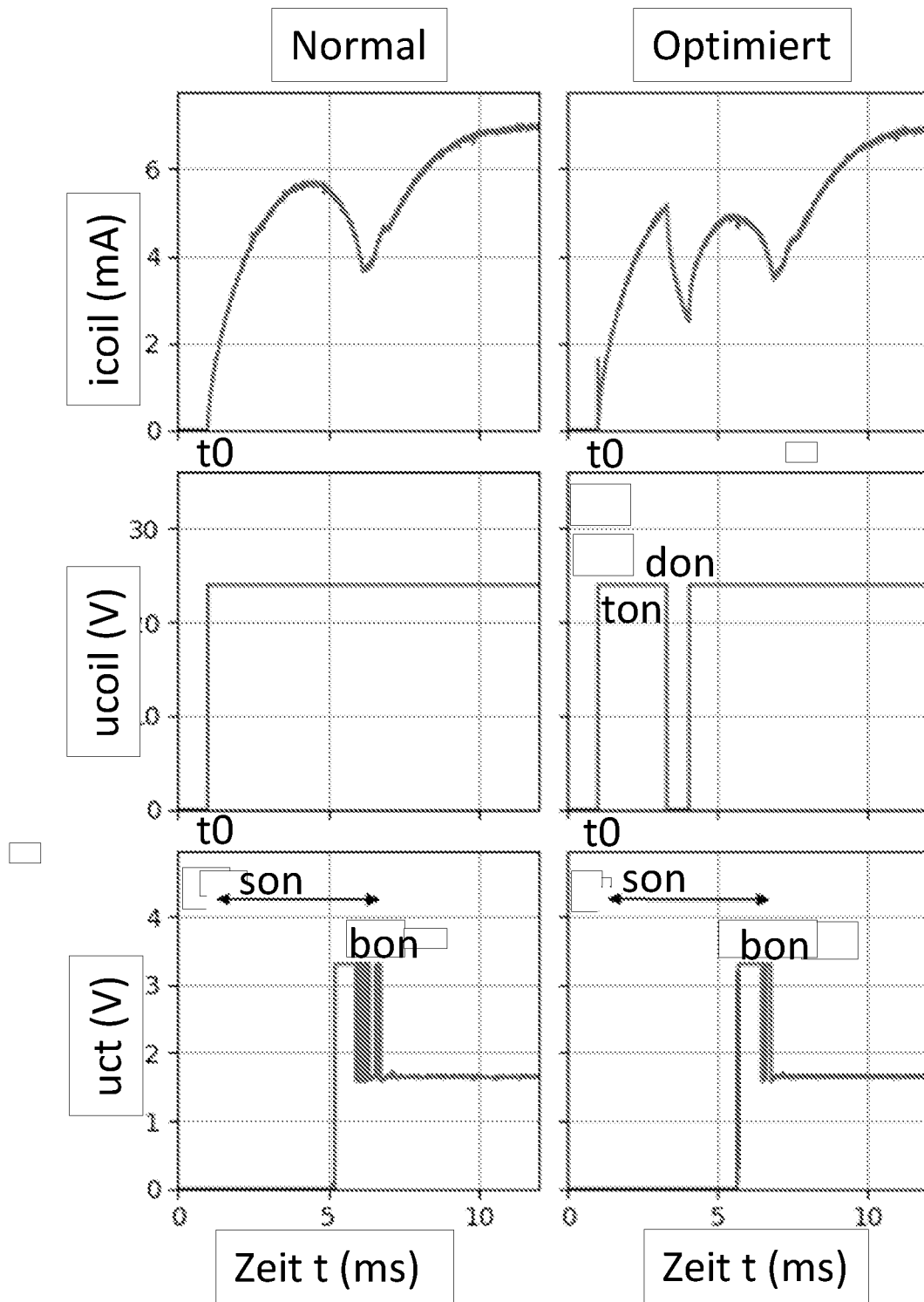


Fig. 3

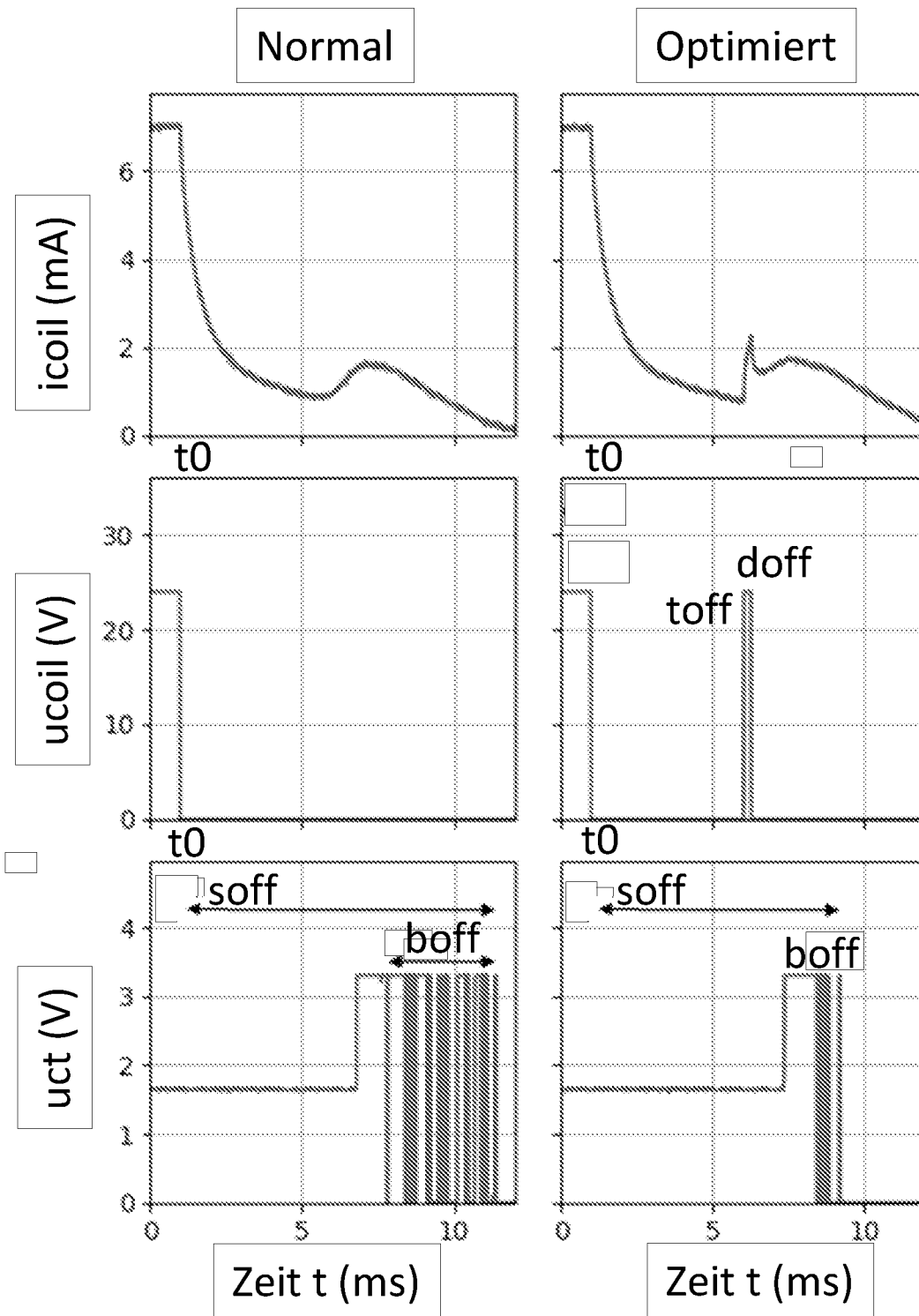


Fig. 4

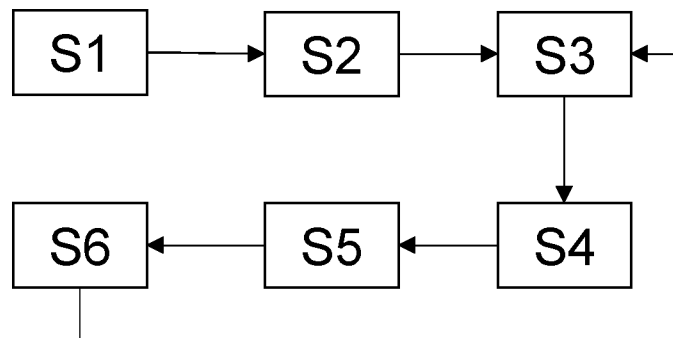


Fig. 5

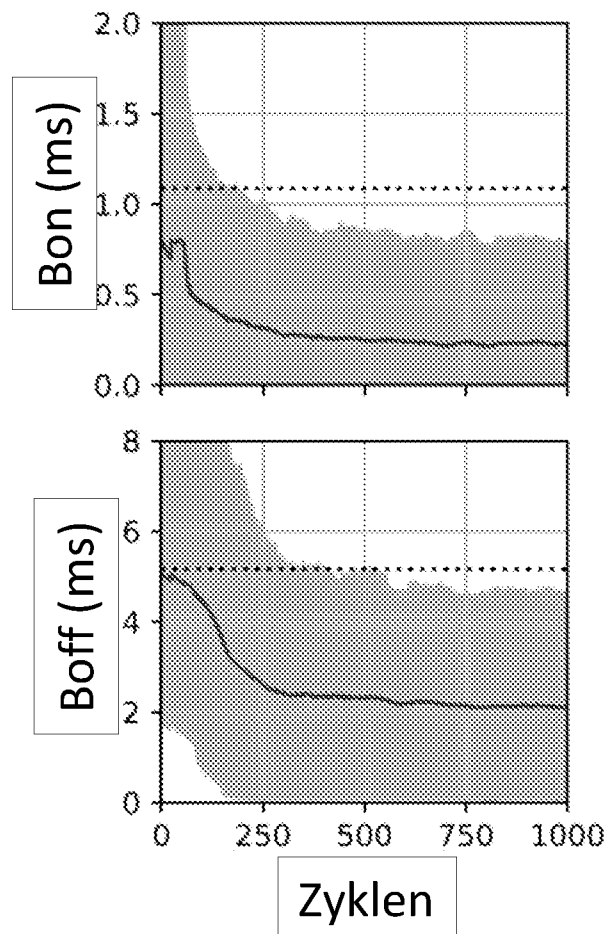


Fig. 7

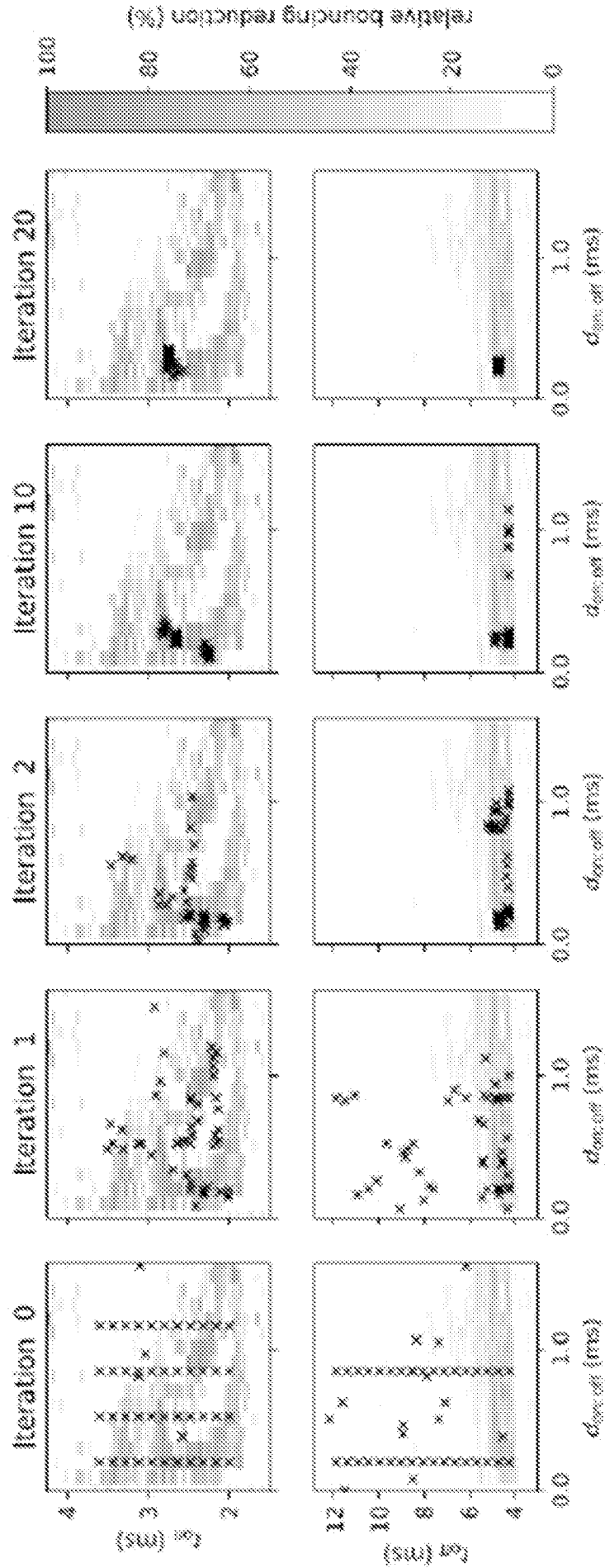


Fig. 6