



(10) **DE 10 2012 211 499 A1** 2013.01.10

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2012 211 499.8**

(22) Anmeldetag: **03.07.2012**

(43) Offenlegungstag: **10.01.2013**

(51) Int Cl.: **G12B 1/02 (2012.01)**

(30) Unionspriorität:

13/177,599 07.07.2011 US

(71) Anmelder:

**Dynalloy, Inc., Tustin, Calif., US; GM Global
Technology Operations LLC (n. d. Ges. d. Staates
Delaware), Detroit, Mich., US**

(72) Erfinder:

**Gao, Xiujie, Troy, Mich., US; Browne, Alan L.,
Grosse Pointe, Mich., US; Alexander, Paul
W., Ypsilanti, Mich., US; Johnson, Nancy L.,
Northville, Mich., US; Brown, Wayne, Costa Mesa,
Calif., US**

(74) Vertreter:

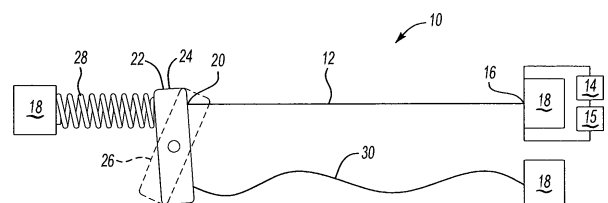
**Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336,
München, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zum Steuern einer Phasenumwandlungstemperatur einer Formgedächtnislegierung**

(57) Zusammenfassung: Es sind eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Steuern einer Phasenumwandlungstemperatur einer Formgedächtnislegierung vorgesehen. Die Vorrichtung umfasst einen Primärdraht, der aus der Formgedächtnislegierung besteht. Der Primärdraht definiert ein erstes und zweites Ende, wobei das erste Ende an einem fixierten Aufbau befestigt ist und das zweite Ende zur Verstellung in der Lage ist. Eine Aktivierungsquelle ist thermisch mit dem Draht gekoppelt und dient dazu, selektiv eine reversible Umwandlung des Primärdrahts von einer Martensit-Phase zu einer Austenit-Phase während eines Zyklus zu bewirken. Ein Lastelement ist funktionell mit dem Primärdraht verbunden und derart konfiguriert, eine Zuglast auf den Primärdraht selektiv zu erhöhen, wenn eine Umgebungstemperatur bei oder oberhalb einer Schwellentemperatur liegt, wodurch die Phasenumwandlungstemperatur des Primärdrahts erhöht wird.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Steuern der Phasenumwandlungstemperatur einer Formgedächtnislegierung.

HINTERGRUND

[0002] Eine Formgedächtnislegierung kann als ein Aktuator, ein Sensor oder in einer anderen Funktion in verschiedenen Vorrichtungen verwendet werden. Zwei Phasen, die in Formgedächtnislegierungen auftreten, werden oftmals als Martensit- und Austenit-Phasen bezeichnet. Die Martensit-Phase ist eine relativ weiche und leicht verformbare Phase der Formgedächtnislegierungen, die allgemein bei geringeren Temperaturen vorhanden ist. Die Austenit-Phase, die stärkere Phase der Formgedächtnislegierungen, tritt bei höheren Temperaturen auf. Die Temperatur, bei der sich die Formgedächtnislegierung an ihre Hochtemperaturform erinnert, die als die Phasenumwandlungstemperatur bezeichnet ist, kann durch Anlegen von Spannung und andere Verfahren eingestellt werden. In Nickel-Titan-Formgedächtnislegierungen kann sie beispielsweise von etwa über 100°C bis unter etwa -100°C geändert werden. Bei Anwendungen mit höheren Betätigungstemperaturanforderungen kann die an ein Formgedächtnislegierungselement angelegte Spannung erhöht werden, um ihre Phasenumwandlungstemperatur zu erhöhen. Jedoch reduziert diese Zunahme der Spannung die Ermüdungslebensdauer der Formgedächtnislegierung. Mit anderen Worten resultiert ein kontinuierlicher Betrieb der Formgedächtnislegierung bei einer höheren Betätigungstemperatur in einer wesentlich kürzeren Lebensdauer.

ZUSAMMENFASSUNG

[0003] Es ist eine Vorrichtung vorgesehen, die zum Steuern einer Phasenumwandlungstemperatur einer Formgedächtnislegierung angepasst ist. Die Vorrichtung umfasst einen Primärdraht, der aus der Formgedächtnislegierung besteht. Der Primärdraht definiert ein erstes und zweites Ende, wobei das erste Ende an einem fixierten Aufbau befestigt ist und das zweite Ende zur Verstellung, beispielsweise Verschiebung bzw. Translation oder Rotation, in der Lage ist. Eine Aktivierungsquelle ist thermisch mit dem Draht gekoppelt und dient dazu, selektiv eine reversible Umwandlung des Drahtes von einer Martensit-Phase in eine Austenit-Phase während eines Zyklus zu bewirken. Ein Lastelement ist funktionell mit dem Draht verbunden und derart konfiguriert, eine Zuglast auf den Primärdraht selektiv zu erhöhen, wenn eine Umgebungstemperatur bei oder oberhalb einer Schwellentemperatur liegt, wodurch die Phasenumwandlungstemperatur des Primärdrahts erhöht wird.

Mit anderen Worten wird die Spannung an dem Primärdraht nur erhöht, wenn die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb einer Schwellentemperatur liegt. Der Primärdraht arbeitet unter geringer Spannung, wenn die Umgebungstemperatur unterhalb einer Schwellentemperatur liegt, so dass eine längere Lebensdauer erreicht werden kann. Dies ermöglicht den Gebrauch relativ kostengünstiger Formgedächtnislegierungsdrähte in gewissen Anwendungen, die ansonsten teure Formgedächtnislegierungsdrähte mit ultrahoher Übergangstemperatur erfordern würden.

[0004] Es ist ein Verfahren zum Steuern einer Phasenumwandlungstemperatur eines Primärdrahtes vorgesehen, der aus einer ersten Formgedächtnislegierung besteht und zwei Enden definiert. Ein Ende des Primärdrahtes ist in einer fixierten Position gesichert, so dass das andere Ende des Primärdrahtes zur Verstellung in der Lage ist. Der Primärdraht ist thermisch mit einer Aktivierungsquelle gekoppelt, um selektiv eine reversible Umwandlung des Primärdrahts von einer Martensit-Phase zu einer Austenit-Phase während eines Zyklus zu bewirken. Eine Zuglast auf den Primärdraht wird selektiv erhöht, wenn eine Umgebungstemperatur bei oder oberhalb einer Schwellentemperatur liegt, wodurch die Phasenumwandlungstemperatur des Primärdrahts erhöht wird.

[0005] Die obigen Merkmale und Vorteile wie auch weitere Merkmale und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden aus der folgenden detaillierten Beschreibung der besten Arten zur Ausführung der Erfindung in Verbindung mit den begleitenden Zeichnungen leicht offensichtlich.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0006] [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zur Steuerung einer Phasenumwandlungstemperatur einer Formgedächtnislegierung gemäß der vorliegenden Offenbarung;

[0007] [Fig. 2](#) ist eine schematische Darstellung der Vorrichtung von [Fig. 1](#), wenn die Umgebungstemperatur über einer Schwellentemperatur liegt;

[0008] [Fig. 3](#) ist eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform für eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung;

[0009] [Fig. 4](#) ist eine schematische Darstellung einer dritten Ausführungsform für eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung;

[0010] [Fig. 5](#) ist eine schematische Darstellung einer vierten Ausführungsform für eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung;

[0011] **Fig. 6** ist eine schematische Darstellung der Vorrichtung von **Fig. 5**, wenn die Umgebungstemperatur über einer Schwellentemperatur liegt;

[0012] **Fig. 7** ist eine schematische Darstellung einer fünften Ausführungsform für eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung, wenn ein Primärdrat in einem kalten Zustand ist;

[0013] **Fig. 8** ist eine schematische Darstellung der Vorrichtung von **Fig. 7**, wenn die Umgebungstemperatur über einer Schwellentemperatur liegt und der Primärdrat in einem heißen Zustand ist;

[0014] **Fig. 9** ist eine schematische Darstellung eines alternativen wärmeausdehnbaren Elements für die Vorrichtung der **Fig. 7–Fig. 8**;

[0015] **Fig. 10** ist eine schematische Darstellung einer sechsten Ausführungsform für eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung;

[0016] **Fig. 11** ist eine schematische Darstellung einer siebten Ausführungsform für eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung;

[0017] **Fig. 12** ist eine schematische Darstellung einer achten Ausführungsform für eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung;

[0018] **Fig. 13** ist eine schematische Darstellung einer neunten Ausführungsform für eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung;

[0019] **Fig. 14** ist eine schematische Darstellung einer zehnten Ausführungsform für eine Vorrichtung gemäß der vorliegenden Offenbarung;

[0020] **Fig. 15** ist ein Flussdiagramm eines Verfahrens zum Steuern einer Umwandlungstemperatur einer Formgedächtnislegierung gemäß der vorliegenden Offenbarung.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0021] Bezug nehmend auf die Figuren, in denen gleiche Bezugszeichen dieselben oder ähnlichen Komponenten in den verschiedenen Ansichten beschreiben, zeigen die **Fig. 1–Fig. 2** einen Abschnitt einer Vorrichtung **10** mit einem Primärdrat **12**, der aus einer ersten Formgedächtnislegierung (SMA von engl.: "shape memory alloy") besteht. Der hier verwendete Begriff "Drat" ist nicht beschränkend und soll andere ähnliche geometrische Konfigurationen umfassen, die Zuglast-Festigkeits/Dehnungs-Fähigkeiten aufweisen, wie Kabel, Bündel, Verflechtungen, Seile, Streifen, Ketten, Bänder, Federn und andere Elemente.

[0022] Geeignete Formgedächtnislegierungen können einen Einweg-Formgedächtniseffekt, einen ihnen eigenen (intrinsischen) Zweiwegeeffekt oder einen äußeren (extrinsischen) Zweiwege-Formgedächtniseffekt in Abhängigkeit von der Legierungszusammensetzung und dem Verarbeitungsverlauf zeigen. Wie vorher angemerkt ist, werden die zwei Phasen, die in Formgedächtnislegierungen auftreten, häufig als Martensit- und Austenitphasen bezeichnet. Die Martensitphase ist eine relativ weiche und leicht verformbare Phase der Formgedächtnislegierungen, die im Allgemeinen bei niedrigeren Temperaturen vorliegt. Die Austenitphase, die festere Phase der Formgedächtnislegierungen, tritt bei höheren Temperaturen auf. Formgedächtnismaterialien, die aus Formgedächtnislegierungszusammensetzungen gebildet sind, die Einweg-Formgedächtniseffekte zeigen, formen sich nicht automatisch wieder zurück, und in Abhängigkeit von der Konstruktion des Formgedächtnismaterials erfordern sie eine äußere mechanische Kraft, um sich wieder in die Formorientierung, die sie zuvor zeigten, zurück zu formen. Formgedächtnismaterialien, die einen intrinsischen Zweiwege-Formgedächtniseffekt aufweisen, werden aus einer Formgedächtnislegierungszusammensetzung hergestellt, die sich bei Entfernung der Ursache für die Abweichung automatisch rückformt.

[0023] Geeignete Legierungsmaterialien mit Gedächtnisfunktion schließen ohne Beschränkung ein: Legierungen auf Nickel-Titan-Basis, Legierungen auf Indium-Titan-Basis, Legierungen auf Nickel-Aluminium-Basis, Legierungen auf Nickel-Gallium-Basis, Legierungen auf Kupferbasis (z. B. Kupfer-Zink-Legierungen, Kupfer-Aluminium-Legierungen, Kupfer-Gold- und Kupfer-Zinn-Legierungen), Legierungen auf Gold-Cadmium-Basis, Legierungen auf Silber-Cadmium-Basis, Legierungen auf Indium-Cadmium-Basis, Legierungen auf Mangan-Kupfer-Basis, Legierungen auf Eisen-Platin-Basis, Legierungen auf Eisen-Palladium-Basis und dergleichen. Die Legierungen können binär, ternär oder von irgendeiner höheren Ordnung sein, vorausgesetzt die Legierungszusammensetzung zeigt einen Formgedächtniseffekt, z. B. eine Änderung der Formorientierung, des Dämpfungsvermögens und dergleichen. Beispielsweise ist eine Legierung auf Nickel-Titan-Basis im Handel unter der Marke NITINOL von Shape Memory Applications, Inc. erhältlich.

[0024] Eine Formgedächtnislegierung ist durch einen kalten Zustand gekennzeichnet, d. h. wenn die Temperatur der Legierung unter ihrer Martensit-Endtemperatur M_f liegt. Eine Formgedächtnislegierung ist auch durch einen heißen oder superelastischen Zustand gekennzeichnet, d. h. wenn die Temperatur der Legierung über ihrer Austenit-Endtemperatur A_f liegt. Ein Objekt, das aus der Legierung gebildet ist, kann durch eine Schwellenform gekennzeichnet sein.

Wenn das Objekt aus seiner Schwellenform in dem kalten Zustand pseudoplastisch verformt wird, kann die Dehnung durch Erhitzen des Objektes über seine Austenit-Endtemperatur A_f zurückgeführt werden, d. h. ein Anlegen eines Signals zur thermischen Aktivierung, die ausreichend ist, um das Objekt über seine A_f zu erhitzen, bewirkt eine Rückkehr des Objektes zu seiner Schwellenform. Ein Elastizitätsmodul und eine Fließgrenze der SMA sind in dem kalten Zustand auch signifikant geringer als in dem heißen Zustand. Wie dem Fachmann zu verstehen sei, ist die pseudo-plastische Dehnung ähnlich der plastischen Dehnung, da die Dehnung vorhanden ist, wenn sich die SMA im kalten Zustand befindet.

[0025] Bezug nehmend auf die [Fig. 1–Fig. 2](#) ist eine Aktivierungsquelle **14** thermisch mit dem Primärdrabt **12** gekoppelt und dient dazu, selektiv eine reversible Umwandlung des Primärdrabts **12** von einer Martensit-Phase in eine Austenit-Phase während eines Zyklus zu bewirken. Das Aktivierungssignal von der Aktivierungsquelle **14** kann ein Wärmesignal oder ein elektrisches Signal umfassen, ist jedoch nicht darauf beschränkt, wobei das bestimmte Aktivierungssignal von den Materialien und/oder der Konfiguration der Formgedächtnislegierung und/oder der Vorrichtung abhängig ist. Ein Controller **15** ist funktionell mit der Aktivierungsquelle **14** gekoppelt und derart konfiguriert, die Aktivierungsquelle **14** zu steuern. Beispielsweise kann der Controller **15** einen elektrischen Strom durch den Primärdrabt **12** führen, um den Primärdrabt **12** zu erwärmen. Ein erstes Ende **16** des Primärdrabts **12** ist funktionell mit einem fixierten Aufbau **18** verbunden. Ein zweites Ende **20** des Primärdrabts **12** ist funktionell mit einem drehbaren Hebel **22** verbunden, so dass das zweite Ende **20** zur Verstellung, beispielsweise Translation oder Rotation, in der Lage ist. Der Hebel **22** nimmt eine erste Hebelposition **24**, wenn sich der Primärdrabt **12** in seinem kalten Zustand befindet, und eine zweite Hebelposition **26** (in gestrichelten Linien gezeigt) ein, wenn sich der Primärdrabt **12** in seinem heißen Zustand befindet. Eine erste Feder **28** ist funktionell mit dem Hebel **22** an einem Ende verbunden und derart konfiguriert, den Hebel **22** zu der ersten Hebelposition **24** vorzuspannen.

[0026] Bezug nehmend auf die [Fig. 1–Fig. 2](#) ist ein Sekundärdrabt **30** funktionell mit dem Hebel **22** verbunden. Der Sekundärdrabt **30** besteht aus einer zweiten Formgedächtnislegierung, die eine geringere Phasenumwandlungstemperatur besitzt, als der Primärdrabt, d. h. der Sekundärdrabt **30** besitzt eine geringere Austenit-Endtemperatur, als die Austenit-Starttemperatur des Primärdrabts **12**. Der Sekundärdrabt **30** ist als ein Lastelement konfiguriert, um eine Zuglast auf den Primärdrabt **12** selektiv zu erhöhen, wenn sich die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb einer Schwellentemperatur befindet, wodurch die Umwandlungstemperatur des Pri-

märdrabts **12** erhöht wird. Bei der Ausführungsform der [Fig. 1–Fig. 2](#) ist die Schwellentemperatur zumindest die Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrabts **30**. Der Primärdrabt **12** und der Sekundärdrabt **30** sind durch jeweilige vorbestimmte Längen gekennzeichnet, zu denen sie in ihrem heißen Zustand nach pseudoplastischer Verformung zurückkehren. Wie in den [Fig. 1–Fig. 2](#) gezeigt ist, sind der Primärdrabt **12**, der Sekundärdrabt **30** und die erste Feder **28** jeweils an einem Ende an dem fixierten Aufbau **18**, wie einem gemeinsamen Gehäuse fixiert. Alternativ dazu können jeder des Primärdrabts **12**, des Sekundärdrabts **30** und der ersten Feder **28** an separaten fixierten Aufbauten fixiert sein.

[0027] Bezug nehmend auf [Fig. 1](#) sind während des Normalbetriebs, wenn die Umgebungstemperatur unterhalb der Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrabts **30** liegt und sich der Primärdrabt **12** in seinem kalten Zustand befindet, sein Elastizitätsmodul und seine Fließgrenze ausreichend gering, so dass sich der Hebel **22** in der ersten Hebelposition **24** befindet, wodurch der Primärdrabt **12** aus seiner vorbestimmten Länge verlängert wird. Der Sekundärdrabt **30** kann durchhängen, wie in [Fig. 1](#) gezeigt ist, oder gerade sein (nicht gezeigt). Da der Sekundärdrabt **30** sich in seinem kalten Zustand befindet, sind sein Elastizitätsmodul und seine Fließgrenze ausreichend gering, so dass der Sekundärdrabt **30** von seiner vorbestimmten Länge verlängert wird. Wenn der Primärdrabt **12** in seinen heißen Zustand durch die Aktivierungsquelle **14** aktiviert ist, kehrt der Primärdrabt **12** zu seiner vorbestimmten Länge zurück und sein Modul steigt, wodurch der Hebel **22** zu der zweiten Hebelposition **26** (in [Fig. 1](#) in gestrichelten Linien gezeigt) gezogen und der Sekundärdrabt **30** ausgedehnt wird. Der Sekundärdrabt **30** legt bei keiner dieser Situationen eine Spannung an den Primärdrabt **12** an. Somit bleibt während des Normalbetriebs, wenn sich die Umgebungstemperatur unterhalb der Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrabts **30** befindet, der Sekundärdrabt **30** untätig bzw. ruhend und erlaubt einen Betrieb des Primärdrabts **12** bei Bedingungen mit geringerer Spannung.

[0028] Bezug nehmend auf [Fig. 2](#) beginnt, wenn die Umgebungstemperatur die Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrabts **30** erreicht, der Sekundärdrabt **30** eine kristallografische Phasenumwandlung zwischen Austenit und Martensit. Wenn die Umgebungstemperatur auf über die Austenit-Endtemperatur des Sekundärdrabts **30** ansteigt, tritt der Sekundärdrabt **30** in seinen heißen oder superelastischen Zustand, wodurch bewirkt wird, dass der Sekundärdrabt **30** zu seiner vorbestimmten Länge zurückkehrt und sein Modul steigt. Anschließend kehrt, wenn der Primärdrabt **12** in seinen heißen Zustand durch die Aktivierungsquelle **14** aktiviert ist, der Primärdrabt **12** zurück zu seiner vorbestimmten Länge und sein Modul steigt, was den Hebel **22** zu der zweiten Hebel-

position **26** zieht und dadurch den Sekundärdrat **30** streckt. Der Sekundärdrat **30** übt eine Kraft aus, wenn er gestreckt wird, was die Zuglast oder -spannung an dem Primärdrat **12** erhöht. Der Kraftbetrag, der durch den Sekundärdrat **12** ausgeübt wird, kann durch seine Zusammensetzung, Umwandlungstemperaturen wie auch seine Gesamtquerschnittsfläche abgestimmt sein.

[0029] Bezug nehmend auf [Fig. 2](#) kann optional ein fixiertes Stoppelement **44** benachbart dem Hebel **22** positioniert sein, um den Hebel **22** an einer Bewegung über die erste Hebelposition **24** hinaus zu blockieren, um zu verhindern, dass der Primärdrat **12** weiter gestreckt wird, wenn er sich in seinem kalten Zustand befindet. Mit anderen Worten kann der Primärdrat **12** ohne jegliche angelegte Spannung "ruhen". Ohne ein Stoppelement **44** kann, wenn sich der Primärdrat **12** in seinem kalten Zustand befindet, eine Zugspannung auf dem Primärdrat **12** durch die Vorspannfeder **28** und den Sekundärdrat **30** angelegt werden, wenn sich die Umgebungstemperatur oberhalb der Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrats **30** befindet.

[0030] Bei einem Beispiel ist die Schwellentemperatur 5% bis 90% geringer als die Anfangs-Umwandlungstemperatur des Primärdrats **12**. Bei einem Beispiel ist die zusätzliche Zuglast, die durch den Sekundärdrat **30** ausgeübt wird, etwa 5% bis 90% der Nennlast (Zug), der der Primärdrat **12** ausgesetzt ist. Die Nennlast ist diejenige Last, der der Primärdrat **12** in der Abwesenheit des Sekundärdrats **30** ausgesetzt ist. Nur beispielhaft kann der Primärdrat **12** aus einer ersten Legierung auf Nickel-Titan-Basis bestehen, die eine Austenit-Endtemperatur ohne Spannung von etwa 65°Celsius besitzt. Bei einem Beispiel kann der Sekundärdrat **30** aus einer zweiten Legierung auf Nickel-Titan-Basis bestehen, die eine Austenit-Endtemperatur ohne Spannung von etwa 70°Celsius besitzt. Hier kann, wenn die Umgebungstemperatur 70°Celsius überschreitet, der Sekundärdrat **30** in der Vorrichtung **10** eine Zuglast auf dem Primärdrat **12** von etwa 175 MPa ausüben, wodurch die Austenit-Endtemperatur des Primärdrats **12** auf etwa 90°Celsius erhöht wird.

[0031] Optional dazu kann der Sekundärdrat **30** mit einer zweiten Aktivierungsquelle **54**, die mit einem Controller **55** gekoppelt ist, verbunden sein, wie in [Fig. 2](#) gezeigt ist. Die zweite Aktivierungsquelle **54** kann derart konfiguriert sein, einen Heizstrom zu dem Sekundärdrat **30** zu leiten, wobei der Sekundärdrat **30** in seinen heißen Zustand aufgeheizt und der Spannungsbetrag, der an dem Primärdrat **12** angelegt wird, selektiv erhöht wird. Durch Leiten einer größeren Größe an Strom durch den Sekundärdrat **30**, wenn der Primärdrat **12** von seinem heißen zu seinem kalten Zustand rückgesetzt wird oder sich von seinem heißen zu seinem kalten Zustand be-

wegt, kann eine Spannungshysterese durch den Sekundärdrat **30** beseitigt werden. Dies bedeutet, bei einer fixierten Temperatur ist die Spannung, die erforderlich ist, um den Sekundärdrat **30** zu strecken, typischerweise höher als die Spannung, die durch den Sekundärdrat **30** bei Kontraktion ausgeübt wird.

[0032] Bezug nehmend auf [Fig. 3](#), bei der gleiche Bezugszeichen gleiche Komponenten von den [Fig. 1–Fig. 2](#) bezeichnen, ist eine Vorrichtung **110** gezeigt, die eine zweite Ausführungsform darstellt. [Fig. 3](#) zeigt schematisch einen Sekundärdrat **130**, der aus einer zweiten Formgedächtnislegierung besteht, die eine geringere Phasenumwandlungstemperatur als der Primärdrat **12** besitzt, ist funktionell mit dem Hebel **22** verbunden. Der Sekundärdrat **130** ist als ein Lastelement konfiguriert, um eine Zuglast auf den Primärdrat **12** selektiv zu erhöhen, wenn die Umgebungstemperatur über einen Schwellenwert ansteigt. Die Ausführungsform in den [Fig. 3](#) umfasst ferner einen dehnungsbegrenzenden Mechanismus **132**, der zwischen dem Sekundärdrat **130** und dem fixierten Aufbau **18** befestigt sein kann. Der dehnungsbegrenzende Mechanismus **132** umfasst eine zweite Feder **134**, einen Verbinder **136** und ein Begrenzungselement **138**. Die zweite Feder **134** ist vorgedehnt und übt eine nahezu konstante Kraft auf den Sekundärdrat **130** aus. Das Begrenzungselement **138** umgibt zumindest teilweise den Verbinder **136** und ist derart konfiguriert, den Betrag, um den die zweite Feder **134** den Sekundärdrat **130** streckt, zu begrenzen. Mit anderen Worten ist das Begrenzungselement **138** derart konfiguriert, um zu verhindern, dass sich der Sekundärdrat **130** über einen Sollwert hinaus dehnt.

[0033] Während des normalen Betriebs, wenn die Umgebungstemperatur unter der Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrats **130** liegt, ist der Betrieb der Vorrichtung **110** derselbe wie der der Vorrichtung **10**, die in den [Fig. 1–Fig. 2](#) gezeigt ist. Bezug nehmend auf [Fig. 3](#) beginnt, wenn die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb der Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrats **130** liegt, der Sekundärdrat **130** eine Änderung der kristallografischen Phase von Martensit zu Austenit, wodurch eine Kraft auf den Hebel **22** ausgeübt wird. Jedoch ist die zweite Feder **134** so gewählt, dass die durch den Sekundärdrat **130** bei dieser Stufe ausgeübte Kraft unzureichend ist, um die Vorspannkraft in der zweiten Feder **134** zu überwinden, so dass die zweite Feder **134** in Position bleibt. Wenn die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb der Austenit-Endtemperatur des Sekundärdrats **130** liegt, tritt der Sekundärdrat **130** in seinen heißen Zustand ein, was zur Folge hat, dass der Sekundärdrat **130** zu seiner vorbestimmten Länge zurückkehrt und sein Modul steigt und eine Kraft ausübt, die ausreichend ist, um die Vorspannkraft in der zweiten Feder **134** zu überschreiten, wodurch die zweite Feder **134** in der Richtung **140** gestreckt wird. So-

mit ist die Schwellentemperatur für die Ausführungsform in [Fig. 3](#) die Austenit-Endtemperatur des Sekundärdrachts **130**. Die Kraft und das Verstellprofil in der zweiten Feder **134** erlauben, dass der Sekundärdraht **130** eine Spannungshysterese, wie vorher erwähnt wurde, überwinden kann. Wenn beispielsweise die zweite Feder **134** lang ist, dann ist die Kraft, die diese anlegt, nahezu konstant innerhalb des Bewegungsbereichs des Sekundärdrachts **130**. Dies minimiert die Spannungshysterese des Sekundärdrachts; wie bekannt ist, ist bei einer fixierten Temperatur die Spannung, die erforderlich ist, die den Sekundärdraht **30** zu strecken, typischerweise höher als die Spannung, die durch den Sekundärdraht **30** ausgeübt wird, wenn er kontrahiert. Zusätzlich minimiert dies die Temperaturabhängigkeit der durch den Sekundärdraht **130** angelegten Spannung.

[0034] Bezug nehmend auf [Fig. 4](#) ist eine Vorrichtung **210** gezeigt, die eine dritte Ausführungsform darstellt. Die Vorrichtung **210** weist einen Primärdracht **212** auf, der aus einer ersten Formgedächtnislegierung (SMA) besteht.

[0035] Eine Aktivierungsquelle **214** ist thermisch mit dem Primärdracht **212** gekoppelt und dient dazu, selektiv eine reversible Umwandlung des Primärdrachts **212** von einer martensitischen Phase in eine austenitische Phase während eines Zyklus zu bewirken. Ein Controller **215** ist funktionell mit der Aktivierungsquelle **214** gekoppelt und derart konfiguriert, die Aktivierungsquelle **214** zu steuern. Ein erstes Ende **216** des Primärdrachts **212** ist an einem fixierten Aufbau **218** befestigt. Ein zweites Ende **220** ist funktionell mit einem drehbaren Hebel **222** verbunden, so dass das zweite Ende **220** zur Verstellung, beispielsweise Translation oder Rotation, in der Lage ist. Der Hebel **222** nimmt eine erste Hebelposition **224**, wenn sich der Primärdracht **212** in seinem kalten Zustand befindet, und eine zweite Hebelposition **226** (in gestrichelten Linien gezeigt) ein, wenn sich der Primärdracht **212** in seinem heißen Zustand befindet. Eine erste Feder **228** ist funktionell mit dem Hebel **222** verbunden und derart konfiguriert, den Hebel **222** zu der ersten Hebelposition **224** vorzuspannen. Die Vorrichtung **210** weist eine Kompressionsfeder **240** auf, die an einem Ende beispielsweise durch Befestigung an einem fixierten Aufbau **218** fixiert ist. Die Kompressionsfeder **240** ist zumindest teilweise durch ein reversibles Phasenänderungsmaterial **242** umgeben, die beide in einem Gehäuse **246** positioniert sein können. Das Phasenänderungsmaterial **242** ist so gewählt, dass es eine Temperatur zur Umwandlung von fester zu flüssiger Phase bei der Schwellentemperatur besitzt.

[0036] Bezug nehmend auf [Fig. 4](#) ist während des Normalbetriebs, wenn die Umgebungstemperatur unterhalb einer Schwellentemperatur liegt, das Phasenänderungsmaterial **242** im Wesentlichen fest und der-

art konfiguriert, die Kompressionsfeder **240** zu verriegeln oder zu komprimieren. Wenn die Umgebungstemperatur eine Schwellentemperatur erreicht, ist das Phasenänderungsmaterial **242** einer Umwandlung von fester zu flüssiger Phase ausgesetzt und derart konfiguriert, die Kompressionsfeder **240** freizugeben, so dass die Kompressionsfeder **240** eine Zuglast auf den Primärdracht **212** ausübt, wenn der Primärdracht **212** betätigt ist. Somit funktioniert die Kompressionsfeder **240** als ein Lastelement, das derart konfiguriert ist, eine Zuglast auf den Primärdracht **212** selektiv zu erhöhen, wenn eine Umgebungstemperatur bei oder oberhalb einer Schwellentemperatur liegt, wodurch die Phasenumwandlungstemperatur des Primärdrachts **212** erhöht wird. Bei einem Beispiel ist das Phasenänderungsmaterial **242** Paraffinwachs. Jegliches geeignete Material mit einer Temperatur zur Umwandlung von fester zu flüssiger Phase bei der Schwellentemperatur kann verwendet werden.

[0037] Bezug nehmend auf die [Fig. 5–Fig. 6](#) ist eine Vorrichtung **310** gezeigt, die eine vierte Ausführungsform darstellt. Die Vorrichtung **310** weist einen Primärdracht **312** auf, der aus einer ersten Formgedächtnislegierung (SMA) besteht. Eine Aktivierungsquelle **314** ist thermisch mit dem Primärdracht **312** gekoppelt und dient dazu, selektiv eine reversible Umwandlung des Primärdrachts **312** von einer martensitischen Phase zu einer austenitischen Phase während eines Zyklus zu bewirken. Ein Controller **315** ist funktionell mit der Aktivierungsquelle **314** gekoppelt, und ist derart konfiguriert, die Aktivierungsquelle **314** zu steuern. Ein erstes Ende **316** des Primärdrachts **312** ist an einem fixierten Aufbau **318** befestigt. Ein zweites Ende **320** des Primärdrachts **312** ist funktionell mit einem drehbaren Hebel **322** verbunden, so dass das zweite Ende **320** zur Verstellung, beispielsweise Translation oder Rotation, in der Lage ist. Der Hebel **322** nimmt eine erste Hebelposition **324**, wenn sich der Primärdracht **312** in seinem kalten Zustand befindet, und eine zweite Hebelposition **326** (in gestrichelten Linien gezeigt) ein, wenn sich der Primärdracht **312** in seinem heißen Zustand befindet. Eine erste Feder **328** ist funktionell mit dem Hebel **322** verbunden und derart konfiguriert, den Hebel **322** in die erste Hebelposition **324** vorzuspannen.

[0038] Bezug nehmend auf [Fig. 6](#) weist die Vorrichtung **310** einen Sekundärdracht **330** auf, um einen Zusatzhebel **340** zu koppeln und zu entkoppeln, so dass die Spannung in dem Primärdracht **312** erhöht werden kann, wenn sich die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb der Schwellentemperatur befindet. Der Sekundärdracht **330** besteht aus einer zweiten Formgedächtnislegierung, die eine geringere Umwandlungstemperatur als die erste Formgedächtnislegierung besitzt. Der Zusatzhebel **340**, der selektiv mit dem Hebel **322** durch einen geschwenkten Haken **342** gekoppelt sein kann. Der Haken **342** ist re-

lativ zu dem Zusatzhebel **340** zwischen einer ersten Hakenposition **346** und einer zweiten Hakenposition **348** drehbar. Eine zweite Feder **329** ist funktionell mit dem Zusatzhebel **340** verbunden und ist derart konfiguriert, den Zusatzhebel **340** in seine erste Position **350** vorzuspannen. Eine dritte Feder **349** ist funktionell mit dem Haken **342** verbunden und derart konfiguriert, den Haken **342** in die erste Hakenposition **346** vorzuspannen. Ein Stoppelement **344** kann dazu verwendet werden, um eine Bewegung des Hebels **322** und des Zusatzhebels **340** über einen Sollwert hinaus zu verhindern. Der Primärdrabt **312** und der Sekundärdrabt **330** sind durch jeweilige vorbestimmte Längen gekennzeichnet, zu denen sie in ihrem heißen Zustand nach einer pseudoplastischen Verformung zurückkehren.

[0039] Bezug nehmend auf [Fig. 5](#) befindet sich während des Normalbetriebs, wenn die Umgebungstemperatur unterhalb der Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrabts **330** liegt, der Haken **342** in der ersten Hakenposition **346**. Wenn sich der Primärdrabt **312** zwischen seinem kalten und heißen Zustand umwandelt, bleibt der Zusatzhebel **340** untätig. Bezug nehmend auf [Fig. 6](#) kehrt, wenn die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb der Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrabts **330** liegt, der Sekundärdrabt **330** zu seiner vorbestimmten Länge zurück und erhöht sein Modul, wodurch der Haken **342** zu der zweiten Hakenposition **348** gedrängt wird, wodurch der Zusatzhebel **340** mit dem Hebel **322** gekoppelt wird. Anschließend kehrt, wenn der Primärdrabt **312** in seinen heißen Zustand aktiviert ist, der Primärdrabt **312** zu seiner vorbestimmten Länge zurück und erhöht sein Modul, wodurch eine Kraft auf den Hebel **322** ausgeübt wird, der nun mit dem Zusatzhebel **340** gekoppelt ist (siehe Position **350** in [Fig. 6](#)). Die Koppelung des Zusatzhebels **340** mit dem Hebel **322** erhöht selektiv die Zuglast auf den Primärdrabt **312**.

[0040] Bezug nehmend auf die [Fig. 7–Fig. 8](#) ist eine Vorrichtung **410** gezeigt, die eine fünfte Ausführungsform veranschaulicht. Die Vorrichtung **410** weist einen Primärdrabt **412** auf, der aus einer ersten Formgedächtnislegierung (SMA) besteht. Eine Aktivierungsquelle **414** ist thermisch mit dem Primärdrabt **412** gekoppelt und dient dazu, selektiv eine reversible Umwandlung des Primärdrabts **412** von einer martensitischen Phase zu einer austenitischen Phase während eines Zyklus zu bewirken. Ein Controller **415** ist funktionell mit der Aktivierungsquelle **414** gekoppelt und derart konfiguriert, die Aktivierungsquelle **414** zu steuern. Ein erstes Ende **416** des Primärdrabts **412** ist funktionell mit einem fixierten Aufbau **418** verbunden, während ein zweites Ende **420** funktionell mit einem verschiebbaren Schlitten **422** verbunden ist, so dass das zweite Ende **420** zur Verstellung, beispielsweise Verschiebung bzw. Translation oder Rotation in der Lage ist. Ein wärmeausdehnbares Element **430** ist funktionell mit dem Schlitten **422**

verbunden. Das wärmeausdehnbare Element **430** weist ein Befestigungselement **432** auf, das zumindest teilweise in einem Gehäuse **434** angeordnet und zumindest teilweise durch ein Phasenänderungsmaterial **436** umgeben ist. Das Gehäuse **434** kann an einem fixierten Aufbau **418** befestigt sein. Eine Ausdehnungsfeder **438** ist funktionell mit dem Schlitten **422** an einem Ende und dem Befestigungselement **432** an dem anderen Ende verbunden. Der Primärdrabt **412** ist durch eine vorbestimmte Länge gekennzeichnet, zu der der Primärdrabt **412** in seinem heißen Zustand nach pseudoplastischer Verformung zurückkehrt.

[0041] [Fig. 7](#) zeigt die Vorrichtung **410**, wenn die Umgebungstemperatur unterhalb einer Schwellentemperatur liegt und der Primärdrabt **412** in seinem kalten Zustand ist. Bezug nehmend auf [Fig. 7](#) sind im Normalbetrieb, wenn die Umgebungstemperatur unterhalb einer Schwellentemperatur liegt und der Primärdrabt **412** in seinem kalten Zustand ist, das Elastizitätsmodul sowie die Fließgrenze des Primärdrabts **412** ausreichend gering, so dass der Schlitten **422** in einer ersten Schlittenposition **424** ist, wodurch der Primärdrabt **412** von seiner vorbestimmten Länge verlängert ist. Wenn der Primärdrabt **412** in seinen heißen Zustand erhitzt wird, kehrt der Primärdrabt **412** in seine vorbestimmte Länge zurück und erhöht sein Modul, wodurch der Schlitten **422** in der Richtung **426** gezogen und die Ausdehnungsfeder **438** gestreckt wird. Das wärmeausdehnbare Element **430** bleibt in einer Ruhekonfiguration **440** (in [Fig. 7](#)) untätig und legt in keiner dieser Situationen eine Spannung an den Primärdrabt **412** an.

[0042] Bezug nehmend auf [Fig. 8](#) bewegt sich, wenn die Umgebungstemperatur die Schwellentemperatur überschreitet, das wärmeausdehnbare Element **430** in eine ausgedehnte Konfiguration **442**. In der ausgedehnten Konfiguration **442** dehnt sich das Phasenänderungsmaterial **436** zu einem größeren Volumen aus, wodurch das Befestigungselement **432** und daher der Schlitten **422** und die Ausdehnungsfeder **438** gezogen werden. [Fig. 8](#) zeigt die Vorrichtung **410**, wenn sich die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb der Schwellentemperatur befindet und der Primärdrabt **412** in seinem heißen Zustand ist. Bezug nehmend auf [Fig. 8](#) kehrt, wenn der Primärdrabt **412** in seinen heißen Zustand erhitzt wird, der Primärdrabt **412** in seine vorbestimmte Länge zurück und erhöht sein Modul, wodurch der Schlitten **422** in der Richtung **426** gezogen und eine Kraft auf die Ausdehnungsfeder **438** ausgeübt wird. Die entgegengesetzte Kraft, die durch das wärmeausdehnbare Element **430** in der ausgedehnten Konfiguration angelegt wird, erhöht selektiv die Zuglast auf den Primärdrabt **412**. Optional dazu kann ein fixiertes Stoppelement **444** dazu verwendet werden, ein Verschieben des Schlittens **422** zu dem wärmeausdehnbaren Element **430** über einen Sollwert hinaus zu verhindern, wodurch eine Streckung des Primärdrabts **412** ver-

hindert wird, wenn sich der Primärdrat **412** in seinem kalten Zustand befindet. Mit anderen Worten verhindert das Stoppelement **444**, dass die Kraft, die durch die Vorspannfeder **438** und das wärmeausdehnbare Element **430** in der ausgedehnten Konfiguration ausgeübt wird, an den Primärdrat **412** übertragen wird, bis der Primärdrat **412** in seinen heißen Zustand erhitzt ist.

[0043] Das wärmeausdehnbare Element **430** kann mit beliebigen geeigneten Materialien geformt sein, die einen großen Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzen. Bei einem Beispiel ist das Phasenänderungsmaterial **436** Paraffinwachs. Die Schwellentemperatur in diesem Fall ist diejenige Temperatur, bei der sich das wärmeausdehnbare Element **430** ausreichend ausdehnt, um die Vorspannkraft zu überwinden, und die Ausdehnungsfeder **438** streckt.

[0044] Bezug nehmend auf [Fig. 9](#) kann bei einer alternativen Ausführungsform das wärmeausdehnbare Element **430** in den [Fig. 7–Fig. 8](#) ein bimetallisches Element **460** sein, das eine erste und zweite Metallschicht **462**, **464** besitzt, wobei jede einen anderen Wärmeausdehnungskoeffizienten besitzt. Bei einem Beispiel ist die erste Metallschicht **462** Kupfer und die zweite Metallschicht **464** ist Stahl. Die erste und zweite Metallschicht **462**, **464** können über ihre gesamte Länge durch Schweißen oder andere geeignete Verfahren starr miteinander verbunden sein. Wenn die Umgebungstemperatur unterhalb einer Schwellentemperatur liegt, nimmt das bimetallische Element **460** eine Ruhekonfiguration **466** ein, wie in [Fig. 9](#) in gestrichelten Linien gezeigt ist. Wenn die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb der Schwellentemperatur liegt, dehnen sich die erste und zweite Metallschicht **462**, **464** mit verschiedenen Raten aus, was zur Folge hat, dass sich das bimetallische Element **460** in die ausgedehnte Konfiguration **468** biegt oder verformt und dadurch die Ausdehnungsfeder **438** streckt. Bei einer anderen Ausführungsform kann das wärmeausdehnbare Element eine Nylonstange mit einem Wärmeausdehnungskoeffizienten von etwa 0,0001 pro Kelvin sein.

[0045] Bezug nehmend auf [Fig. 10](#) ist eine Vorrichtung **510** gezeigt, die eine sechste Ausführungsform darstellt. Die Vorrichtung **510** weist einen Primärdrat **512** auf, der aus einer ersten Formgedächtnislegierung (SMA) besteht. Eine Aktivierungsquelle **514** ist thermisch mit dem Primärdrat **512** gekoppelt und dient dazu, selektiv eine reversible Umwandlung des Primärdrahts **512** von einer martensitischen Phase zu einer austenitischen Phase während eines Zyklus zu bewirken. Ein Controller **515** ist funktionell mit der Aktivierungsquelle **514** gekoppelt und derart konfiguriert, die Aktivierungsquelle **514** zu steuern. Ein erstes Ende **516** des Primärdrahts **512** ist an einem fixierten Aufbau **518** befestigt. Ein zweites Ende **520** ist funktionell mit einem drehbaren Hebel **522** verbun-

den, so dass das zweite Ende **520** zur Verstellung, beispielsweise Translation oder Rotation, in der Lage ist. Der Hebel **522** nimmt eine erste Hebelposition **524** ein, wenn sich der Primärdrat **512** in seinem kalten Zustand befindet, und dreht in der Richtung **526**, wenn sich der Primärdrat **512** in seinem heißen Zustand befindet. Der drehbare Hebel **522** besitzt einen Drehpunkt **523**, der in [Fig. 10](#) gezeigt ist. Eine erste Feder **528** ist funktionell mit dem Hebel **522** an einem Ende verbunden und derart konfiguriert, den Hebel **522** in die erste Hebelposition **524** vorzuspannen.

[0046] Bezug nehmend auf [Fig. 10](#) weist die Vorrichtung **510** einen Sekundärdrat **530** auf, der aus einer zweiten Formgedächtnislegierung besteht, die eine geringere Umwandlungstemperatur besitzt, als der Primärdrat **512**. Der Sekundärdrat **530** ist funktionell mit einer Blattfeder **532** an einem Ende und einem fixierten Aufbau **518** an einem anderen Ende verbunden. Der Primärdrat **512** und der Sekundärdrat **530** sind durch jeweilige vorbestimmte Längen gekennzeichnet, zu denen sie in ihrem heißen Zustand nach einer pseudoplastischen Verformung zurückkehren.

[0047] Bezug nehmend auf [Fig. 10](#) nimmt während des Normalbetriebs, wenn die Umgebungstemperatur unter der Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrahts **530** liegt, der Sekundärdrat **530** eine erste Position **545** ein. Wenn sich die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb der Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrahts **530** befindet, beginnt der Sekundärdrat **530** eine Änderung der kristallografischen Phase von Martensit zu Austenit, wodurch eine Kraft auf die Blattfeder **532** ausgeübt wird. Jedoch ist die durch den Sekundärdrat **530** ausgeübte Kraft unzureichend, um die Vorspannkraft der Blattfeder **532** zu überwinden. Bezug nehmend auf [Fig. 10](#) tritt, wenn die Umgebungstemperatur über der Austenit-Endtemperatur des Sekundärdrahts **530** liegt, der Sekundärdrat **530** in seinen heißen Zustand ein, wodurch bewirkt wird, dass der Sekundärdrat **530** zu seiner vorbestimmten Länge zurückkehrt und sein Modul steigt, und eine Kraft ausübt, die ausreichend ist, um die Vorspannkraft der Blattfeder **532** zu überwinden. Dies zieht oder holt die Blattfeder **532** in den Pfad des Hebels **522**, wie bei Position **547** in [Fig. 10](#) in gestrichelten Linien gezeigt ist. In diesem Fall bringt sie, wenn der Primärdrat **512** in seinem heißen Zustand aktiviert ist, einen Widerstand in Bezug auf die Drehung des Hebels **522** (entgegengesetzte Kraft) auf, wenn dieser in der Richtung **526** dreht. Somit ist der Sekundärdrat **530** als ein Lastelement konfiguriert, um die Spannung in dem Primärdrat **512** selektiv zu erhöhen, wenn sich die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb einer Schwellentemperatur befindet. Die Schwellentemperatur in diesem Fall ist zumindest die Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrahts **530**.

[0048] Bezug nehmend auf [Fig. 11](#) ist eine Vorrichtung **610** gezeigt, die eine siebte Ausführungsform darstellt. Die Vorrichtung **610** weist einen Primärdraht **612** auf, der aus einer ersten Formgedächtnislegierung (SMA) besteht. Eine Aktivierungsquelle **614** ist thermisch mit dem Primärdraht **612** gekoppelt und dient dazu, selektiv eine reversible Umwandlung des Primärdrahts **612** von einer Martensit-Phase zu einer Austenit-Phase während eines Zyklus zu bewirken. Ein Controller **615** ist funktionell mit der Aktivierungsquelle **614** gekoppelt und derart konfiguriert, die Aktivierungsquelle **614** zu steuern. Ein erstes Ende **616** des Primärdrahts **612** ist an einem fixierten Aufbau **618** befestigt. Ein zweites Ende **620** ist funktionell mit einer Riemenscheibe **622** verbunden, so dass das zweite Ende **620** zur Verstellung, beispielsweise Translation oder Rotation, in der Lage ist. Ein Kraftelement **624** ist funktionell mit dem Primärdraht **612** beispielsweise durch eine geringe Reibung aufweisende Schnur **626** verbunden. Das Kraftelement **624** kann ein Gewicht, eine Feder oder ein anderer Mechanismus sein, der derart konfiguriert ist, eine Kraft auszuüben. Ein Sekundärdrat **630** ist funktionell mit der Riemenscheibe **622** an einem Ende und mit einem fixierten Aufbau **618** an einem anderen Ende verbunden. Der Sekundärdrat **630** ist derart konfiguriert, eine entgegengesetzte Kraft auf dem Primärdraht **612** zu erzeugen, wenn die Umgebungstemperatur eine Schwellentemperatur überschreitet. Der Primärdraht **612** und der Sekundärdrat **630** sind durch jeweilige vorbestimmte Längen gekennzeichnet, in die sie in ihrem heißen Zustand nach pseudoplastischer Verformung zurückkehren.

[0049] Während des Normalbetriebs, wenn die Umgebungstemperatur unterhalb der Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrahts **630** liegt und der Primärdraht **612** in seinem kalten Zustand ist, sind der Elastizitätsmodul sowie die Fließgrenze des Primärdrahts **612** ausreichend gering, so dass der Primärdraht **612** von seiner ursprünglichen Länge verlängert wird. Wenn der Primärdraht **612** in seinen heißen Zustand aktiviert ist, kehrt der Primärdraht **612** zu seiner vorbestimmten Länge zurück und erhöht sein Modul, so dass der Primärdraht **612** das Kraftelement **624** anhebt oder ausfährt. Während die Umgebungstemperatur unterhalb der Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrahts **630** bleibt, bleibt der Sekundärdrat **630** in der Position **632** ruhend und erlaubt einen Betrieb des Primärdrahts **612** bei Bedingungen mit geringerer Spannung.

[0050] Bezug nehmend auf [Fig. 11](#) beginnt, wenn die Umgebungstemperatur die Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrahts **630** erreicht, der Sekundärdrat **630** eine kristallografische Phasenumwandlung zwischen Austenit und Martensit. Wenn die Umgebungstemperatur auf über die Austenit-Endtemperatur des Sekundärdrahts **630** zunimmt, tritt der Sekundärdrat **630** in seinen heißen Zustand ein, was zur

Folge hat, dass der Sekundärdrat **630** sein Modul erhöht und seinerseits die Riemenscheibe **622** in der Richtung **650** treibt, wie in [Fig. 11](#) gezeigt ist. Dies erhöht die Zuglast oder -spannung auf den Primärdraht **612**.

[0051] Bezug nehmend auf [Fig. 12](#) ist eine Vorrichtung **710** gezeigt, die eine achte Ausführungsform darstellt. Die Vorrichtung **710** weist einen Primärdraht **712** auf, der aus einer ersten Formgedächtnislegierung (SMA) besteht. Eine Aktivierungsquelle **714** ist thermisch mit dem Primärdraht **712** gekoppelt und dient dazu, selektiv eine reversible Umwandlung des Primärdrahts **712** von einer Martensitphase zu einer Austenitphase während eines Zyklus zu bewirken. Ein Controller **715** ist funktionell mit der Aktivierungsquelle **714** gekoppelt und derart konfiguriert, die Aktivierungsquelle **714** zu steuern. Ein erstes Ende **716** des Primärdrahts **712** ist an einem fixierten Aufbau **718** befestigt. Ein zweites Ende **720** ist funktionell mit einem Kraftelement **722** beispielsweise durch eine niedrige Reibung aufweisende Schnur verbunden, so dass das zweite Ende **720** zur Verstellung, beispielsweise Translation oder Rotation, in der Lage ist. Das Kraftelement **722** kann ein Gewicht, eine Feder oder ein anderer Mechanismus sein, der derart konfiguriert ist, eine Kraft auszuüben. Ein Sekundärdrat **730** ist funktionell mit dem Kraftelement **722** an einem Ende und einem fixierten Aufbau **718** an einem anderen Ende verbunden. Der Sekundärdrat **730** ist derart konfiguriert eine entgegengesetzte Kraft auf dem Primärdraht **712** zu erzeugen, wenn die Umgebungstemperatur eine Schwelle überschreitet. Der Primärdrat **712** und der Sekundärdrat **730** sind durch jeweilige vorbestimmte Längen gekennzeichnet, in die sie in ihrem heißen Zustand nach pseudoplastischer Verformung zurückkehren.

[0052] Bezug nehmend auf [Fig. 12](#) sind während des Normalbetriebs, wenn die Umgebungstemperatur unterhalb der Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrahts **730** liegt und der Primärdraht **712** in seinem kalten Zustand ist, sein Elastizitätsmodul und seine Fließgrenze ausreichend gering, so dass das Kraftelement **722** in der ersten Elementposition **724** ist, wodurch der Primärdraht **712** aus seiner vorbestimmten Länge verlängert wird. Der Sekundärdrat **730** kann gerade sein oder durchhängen. Wenn der Primärdraht **712** in seinen heißen Zustand erhitzt ist, kehrt der Primärdraht **712** zu seiner vorbestimmten Länge zurück und sein Modul steigt, wodurch das Kraftelement **722** zu der zweiten Elementposition **726** (in [Fig. 14](#) in gestrichelten Linien gezeigt) angehoben (oder ausgefahren) und der Sekundärdrat **730** gestreckt werden. Der Sekundärdrat **730** legt unter diesen Bedingungen keine Spannung auf den Primärdrat **712** an.

[0053] Bezug nehmend auf [Fig. 12](#) beginnt, wenn die Umgebungstemperatur die Austenit-Starttempe-

ratur des Sekundärdrachts **730** erreicht, der Sekundärdracht **730** eine kristallografische Phasenumwandlung zwischen Austenit und Martensit. Wenn die Umgebungstemperatur auf über die Austenit-Endtemperatur des Sekundärdrachts **730** zunimmt, tritt der Sekundärdracht **730** in seinen heißen Zustand ein, was zur Folge hat, dass der Sekundärdracht **730** sein Modul erhöht, wodurch eine Kraft auf das Kraftelement **722** ausgeübt wird. Dies erhöht die Zuglast oder -spannung auf den Primärdracht **712**. Optional dazu kann ein Stoppelement **744** benachbart dem Kraftelement **722** positioniert sein, um das Kraftelement **722** vor einer Bewegung über die erste Elementposition **724** hinaus zu blockieren, um ein Strecken des Primärdrachts **712**, wenn sich dieser in seinem kalten Zustand befindet, zu verhindern.

[0054] Bezug nehmend auf [Fig. 13](#) ist eine Vorrichtung **810** gezeigt, die eine neunte Ausführungsform darstellt. Die Vorrichtung **810** weist einen ersten Primärdracht **812** und einen zweiten Primärdracht **813** auf, die beide aus einer ersten Formgedächtnislegierung bestehen. Eine Aktivierungsquelle **814** ist thermisch mit dem ersten und zweiten Primärdracht **812**, **813** gekoppelt und dient dazu, selektiv eine reversible Umwandlung des Primärdrachts **812** und des Sekundärdrachts **813** von einer Martensit-Phase zu einer Austenit-Phase während eines Zyklus zu bewirken. Ein Controller **815** ist funktionell mit der Aktivierungsquelle **814** gekoppelt und derart konfiguriert, die Aktivierungsquelle **814** zu steuern. Bezug nehmend auf [Fig. 13](#) ist der erste Primärdracht **812** funktionell mit einem fixierten Aufbau **818** an einem ersten Ende **816** verbunden und funktionell mit einem Kraftelement **822** an einem zweiten Ende **820** verbunden. Das Kraftelement **822** kann ein Gewicht, eine Feder oder ein anderer Mechanismus sein, der derart konfiguriert ist, eine Kraft auszuüben. Der zweite Primärdracht **813** ist funktionell mit dem fixierten Aufbau **818** an einem ersten Ende **817** verbunden und ist funktionell mit dem Kraftelement **822** an einem zweiten Ende **821** verbunden. Der erste und zweite Primärdracht **812**, **813** sind durch eine vorbestimmte Länge gekennzeichnet, in die sie in ihrem heißen Zustand nach pseudoplastischer Verformung zurückkehren.

[0055] Während normaler Bedingungen, wenn die Umgebungstemperatur unterhalb einer Schwellentemperatur liegt, führen sowohl der erste als auch zweite Primärdracht **812**, **813** Arbeit aus. Wenn der erste und zweite Primärdracht **812**, **813** in ihren jeweiligen kalten Zuständen sind, sind ihr Elastizitätsmodul und ihre Fließgrenze ausreichend gering, so dass sie aus ihrer vorbestimmten Länge verlängert sind. Wenn der erste und zweite Primärdracht **812**, **813** durch die Aktivierungsquelle **814** auf über ihre Austenit-Endtemperatur erhitzt werden, kehren der erste und zweite Primärdracht **812**, **813** in ihre vorbestimmte Länge zurück und erhöhen ihr Modul, so dass der erste und zweite Primärdracht **812**, **813** das

Kraftelement **822** gemeinsam anheben (oder ausfahren).

[0056] Wenn die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb einer vordefinierten Schwellentemperatur liegt, deaktiviert der Controller **815** den zweiten Primärdracht **813**. Dies erhöht die relative Zuglast auf den Primärdracht **812**, wodurch ermöglicht wird, dass dieser ähnlich einem Primärdracht bei hoher Spannung bei Umgebungstemperaturen oberhalb einer Schwelle funktioniert. Die Schwellentemperatur in diesem Fall kann durch den Fachmann für die bevorstehende bestimmte Anwendung gewählt werden.

[0057] Bezug nehmend auf [Fig. 14](#) ist eine Vorrichtung **910** gezeigt, die eine zehnte Ausführungsform darstellt. Die Vorrichtung **910** weist einen ersten Primärdracht **912** und einen zweiten Primärdracht **913** auf, die beide aus einer ersten Formgedächtnislegierung (SMA) bestehen. Eine Aktivierungsquelle **914** ist thermisch mit dem ersten und zweiten Primärdracht **912**, **913** gekoppelt und dient dazu, selektiv eine reversible Umwandlung des Primärdrachts **912** von einer Martensit-Phase zu einer Austenit-Phase während eines Zyklus zu bewirken. Ein Controller **915** ist funktionell mit der Aktivierungsquelle **914** gekoppelt und derart konfiguriert, die Aktivierungsquelle **914** zu steuern. Ein erstes Ende **916** des Primärdrachts **912** ist an einem fixierten Aufbau **918** befestigt. Ein zweites Ende **920** des Primärdrachts **912** ist funktionell mit einem drehbaren Hebel **922** verbunden, so dass das zweite Ende **920** zur Verstellung in der Lage ist. Der Hebel **922** weist eine erste Hebelposition **924** auf, wenn sich der Primärdracht **912** in seinem kalten Zustand befindet. Der Hebel **922** dreht in der Richtung **926**, wenn sich der Primärdracht **912** in seinem heißen Zustand befindet. Eine erste Feder **928** ist funktionell mit dem Hebel **922** an einem Ende verbunden und derart konfiguriert, den Hebel **922** in die erste Hebelposition **924** vorzuspannen.

[0058] Bezug nehmend auf [Fig. 14](#) ist der zweite Primärdracht **913** funktionell an einem Ende mit einem fixierten Aufbau **918** verbunden und funktionell an dem anderen Ende mit einem bewegbaren Verbindungselement **932** verbunden, so dass das andere Ende zur Verstellung in der Lage ist. Das Verbindungselement **932** umgibt zumindest teilweise den Hebel **922**. Ein Sekundärdracht **930** ist funktionell mit dem Hebel **922** verbunden. Der Sekundärdracht **930** besteht aus einer zweiten Formgedächtnislegierung mit einer geringeren Austenit-Endtemperatur, als der Austenit-Starttemperatur des Primärdrachts **912**. Der erste und zweite Primärdracht **912**, **913** und der Sekundärdracht **930** sind durch jeweilige vorbestimmte Längen gekennzeichnet, in die sie in ihrem heißen Zustand nach pseudoplastischer Verformung zurückkehren.

[0059] Während des Normalbetriebs, wenn die Umgebungstemperatur unterhalb der Austenit-Starttem-

peratur des Sekundärdrahts **930** liegt, nimmt das Verbindungselement **932** eine erste Verbindungsposition **950** ein, die in **Fig. 14** in durchgezogenen Linien gezeigt ist. In dieser Konfiguration ist der zweite Primärdrat **913** derart konfiguriert, die Drehung des Hebels **922** in der Richtung **926** zu unterstützen. Somit führen sowohl der erste als auch zweite Primärdrat **912**, **913** Arbeit in dieser Konfiguration aus. Eine Blattfeder **940** ist funktionell mit dem zweiten Draht **930** verbunden und derart konfiguriert, das Verbindungselement **932** zu der ersten Verbindungsposition **950** vorzuspannen.

[0060] Wenn die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb der Austenit-Endtemperatur des Sekundärdrahts **930** liegt, tritt der Sekundärdrat **930** in seinen heißen Zustand ein und kehrt in seine vorbestimmte Länge zurück, wodurch das Verbindungselement **932** zu einer zweiten Verbindungsposition **952**, die in **Fig. 16** in gestrichelten Linien an Position **954** gezeigt ist, gezogen wird. In dieser Konfiguration ist der zweite Primärdrat **913** ausgerückt und unterstützt nicht länger die Drehung des Hebels **922** in der Richtung **926**. Somit führt nur der erste Primärdrat **912** Arbeit in dieser Konfiguration aus. Dies erhöht die Last auf den ersten Primärdrat **912**, wodurch ermöglicht wird, dass dieser ähnlich einem Draht bei hoher Spannung bei Temperaturen oberhalb einer Schwelle funktioniert.

[0061] Bezug nehmend auf **Fig. 15** ist ein Verfahren **1000** zum Steuern einer Umwandlungstemperatur eines Primärdrahts **12** in einer Vorrichtung **10** vorgesehen, wobei der Primärdrat **12** aus einer ersten Formgedächtnislegierung besteht. Dieses Verfahren **1000** ist in Bezug auf die **Fig. 1** bis **Fig. 2** beschrieben, ist jedoch auf alle Ausführungsformen anwendbar, die oben beschrieben sind. Bei Schritt **1002** wird ein erstes Ende **16** des Primärdrahts **12** an einem fixierten Aufbau **18** befestigt, während ein zweites Ende **20** des Primärdrahts **12** funktionell mit einem bewegbaren Aufbau (wie einem Hebel **22**) verbunden wird, so dass das zweite Ende **20** zu einer Verstellung in der Lage ist. Bei Schritt **1004** wird der Primärdrat **12** thermisch mit einer Aktivierungsquelle **14** gekoppelt, um selektiv eine reversible Umwandlung des Primärdrahts **12** von einer Martensit-Phase zu einer Austenit-Phase während eines Zyklus zu bewirken. Bei Schritt **1006** wird die Zuglast auf den Primärdrat **12** selektiv erhöht, wenn eine Umgebungstemperatur bei oder oberhalb einer Schwellentemperatur liegt, wodurch die Phasenumwandlungstemperatur des Primärdrahts **12** erhöht wird. Bei einigen Ausführungsformen (siehe Vorrichtungen **810** und **910** in den **Fig. 13** bzw. **Fig. 14**) umfasst ein selektives Erhöhen der Zuglast an einem Primärdrat (**812** und **912** in den **Fig. 13** bzw. **Fig. 14**) einen Zusatz eines zweiten Primärdrahts (**813** und **913** in den **Fig. 13** bzw. **Fig. 14**), der aus der ersten Formgedächtnislegierung besteht, und ein Deaktivieren des zweiten

Primärdrahts **813**, **913**, wenn die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb der Schwellentemperatur liegt. Der zweite Primärdrat (**813** und **913** in den **Fig. 13** bzw. **Fig. 14**) unterstützt den Primärdrat (**812** und **912** in den **Fig. 13** bzw. **Fig. 14**), wenn die Umgebungstemperatur unter einer Schwellentemperatur liegt.

[0062] Es sei angemerkt, dass das hier offenbarte Verfahren als ein Algorithmus ausgeführt sein kann, der durch einen Controller oder durch eine Analogschaltung betrieben wird. Der Controller kann einen Computer umfassen, ist jedoch nicht darauf beschränkt, der einen Prozessor, einen Speicher, Software, Sensoren, Schaltung und beliebige andere Komponenten besitzt, die zur Steuerung der Vorrichtung und des Formgedächtnislegierungselements notwendig sind.

[0063] Bezug nehmend auf die **Fig. 1–Fig. 14** können die Vorrichtungen **10**, **110**, **210**, **310**, **410**, **510**, **610**, **710**, **810** und **910** einen beliebigen Typ oder eine beliebige Weise von Vorrichtung umfassen, die den Primärdrat innerhalb jeder Vorrichtung verwendet. Beispielsweise können die Vorrichtungen **10**, **110**, **210**, **310**, **410**, **510**, **610**, **710**, **810** und **910** eine Luftbelüftungsbaugruppe, ein Druckentlastungsventil, einen Sicherheitsgurtgeber, einen Lasttrenner, einen Sensor oder irgendeine andere ähnliche Vorrichtung umfassen. Der Primärdrat **12** kann als ein aktiver Aktuator verwendet werden, um eine Bewegung in den Vorrichtungen **10**, **110**, **210**, **310**, **410**, **510**, **610**, **710**, **810** und **910** unter bestimmten Bedingungen, als ein passiver Aktuator, um eine Kraft oder eine Verstellung passiv zu bewirken, wie in einem superelastischen Stent oder einem Prothesendraht, oder als ein Sensor verwendet werden, um Betriebsbedingungen der Vorrichtungen **10**, **110**, **210**, **310**, **410**, **510**, **610**, **710**, **810** und **910** zu bestimmen. Zusätzlich kann der Primärdrat in jeder Vorrichtung sowohl als ein Sensor als auch als ein Aktuator oder in irgendeiner anderen Art und Weise verwendet werden, die hier nicht gezeigt oder beschrieben ist.

[0064] Während die besten Arten zur Ausführung der Erfindung detailliert beschrieben worden sind, erkennt der Fachmann verschiedene alternative Konstruktionen und Ausführungsformen zur Ausführung der Erfindung innerhalb des Schutzzumfangs der angefügten Ansprüche.

Patentansprüche

1. Vorrichtung, die zur Steuerung einer Phasenumwandlungstemperatur einer ersten Formgedächtnislegierung angepasst ist, wobei die Vorrichtung umfasst:
einen Primärdrat, der aus der ersten Formgedächtnislegierung besteht;

wobei der Primärdrat ein erstes und zweites Ende definiert, wobei das erste Ende fest an einem Aufbau befestigt ist und das zweite Ende zur Verstellung in der Lage ist;

eine Aktivierungsquelle, die thermisch mit dem Draht gekoppelt und betreibbar ist, um selektiv eine reversible Umwandlung des Primärdrahts von einer Martensit-Phase zu einer Austenit-Phase während eines Zyklus zu bewirken;

ein Lastelement, das funktionell mit dem Primärdrat verbunden und derart konfiguriert ist, eine Zuglast auf den Primärdrat selektiv zu erhöhen, wenn eine Umgebungstemperatur bei oder oberhalb einer Schwellentemperatur liegt, wodurch die Phasenumwandlungstemperatur des Primärdrahts erhöht wird.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei:
der Primärdrat durch eine Anfangs-Umwandlungstemperatur und eine Nennlast gekennzeichnet ist;
wobei die Schwellentemperatur etwa 5% bis 90% geringer als die Anfangs-Umwandlungstemperatur ist; und
wobei die durch das Lastelement angelegte Zuglast etwa 5% bis 90% der Nennlast beträgt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, ferner mit:
einem drehbaren Hebel, der funktionell mit dem Primärdrat verbunden ist;
wobei der Hebel eine erste Hebelposition, wenn sich der Primärdrat in einem kalten Zustand befindet, und eine zweite Hebelposition besitzt, wenn sich der Primärdrat in einem heißen Zustand befindet;
eine erste Feder, die funktionell mit dem Hebel an einem Ende verbunden und an dem anderen Ende fixiert ist, wobei die erste Feder den Hebel zu der ersten Hebelposition vorspannt.

4. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei:
das Lastelement ein Sekundärdrat ist, der aus einer zweiten Formgedächtnislegierung besteht, wobei der Sekundärdrat funktionell mit dem Hebel an einem Ende verbunden und an dem anderen Ende fixiert ist; und
die Schwellentemperatur zumindest eine Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrahts ist.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, ferner mit einem Stoppelement, das derart konfiguriert ist, ein Strecken des Primärdrahts zu verhindern, wenn sich der Primärdrat in der Martensit-Phase befindet.

6. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei:
wobei das Lastelement ein Sekundärdrat ist, der aus einer zweiten Formgedächtnislegierung besteht, wobei die Schwellentemperatur zumindest eine Austenit-Starttemperatur des Sekundärdrahts ist; und ferner mit:
einem Dehnung begrenzenden Mechanismus, der funktionell zwischen dem Sekundärdrat und dem fi-

xierten Aufbau verbunden ist, wobei der Dehnung begrenzende Mechanismus umfasst:

eine vorgespannte zweite Feder, die derart konfiguriert ist, eine ungefähr konstante Kraft auf den Sekundärdrat auszuüben;

einen Verbinder, der funktionell mit dem Sekundärdrat verbunden ist; und

ein Begrenzungsselement, das den Verbinder zumindest teilweise umgibt und derart konfiguriert ist, eine Dehnung auf den Sekundärdrat zu beschränken.

7. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei:
das Lastelement eine Kompressionsfeder ist, die an einem Ende fixiert ist;
die Kompressionsfeder zumindest teilweise durch ein Phasenänderungsmaterial umgeben ist und durch das Phasenänderungsmaterial komprimiert wird, wenn die Umgebungstemperatur unterhalb der Schwellentemperatur liegt,
das Phasenänderungsmaterial derart konfiguriert ist, entweder zu schmelzen oder eine Verminderung der Steifigkeit von zumindest 50% aufzuweisen, wenn die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb der Schwellentemperatur liegt, wodurch zugelassen wird, dass die Kompressionsfeder eine Zuglast auf den Primärdrat ausübt.

8. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei das Lastelement ein Zusatzhebel ist, der derart konfiguriert ist, den Hebel selektiv zu koppeln, wenn die Umgebungstemperatur eine Schwellentemperatur überschreitet; wobei der Zusatzhebel umfasst:
einen geschwenkten Haken, der relativ zu dem Zusatzhebel zwischen einer ersten Hakenposition und einer zweiten Hakenposition drehbar ist, wobei der Zusatzhebel mit dem Hebel gekoppelt ist, wenn sich das Hakenelement in der zweiten Hakenposition befindet;
eine Zusatzfeder, die funktionell mit dem Haken verbunden und derart konfiguriert ist, den Haken zu der ersten Hakenposition vorzuspannen;
einen Sekundärdrat, der funktionell mit dem Haken verbunden und derart konfiguriert ist, den Haken zu der zweiten Hakenposition zu ziehen, wenn die Umgebungstemperatur eine Schwellentemperatur überschreitet.

9. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei das Lastelement ein wärmeausdehnbares Element ist, das zwischen zwei Konfigurationen, nämlich einer Ruhekongfiguration, wenn die Umgebungstemperatur unter der Schwellentemperatur liegt, und einer ausgedehnten Konfiguration, wenn sich die Umgebungstemperatur bei oder oberhalb der Schwellentemperatur befindet, bewegbar ist; und ferner mit:
einem verschiebbaren Schlitten, der funktionell mit dem Draht verbunden ist;
einer Ausdehnungsfeder, die funktionell mit dem Schlitten an einem Ende und dem wärmeausdehn-

baren Element an dem anderen Ende verbunden ist;
und
ein fixiertes Stoppelement, das derart konfiguriert ist,
um ein Verschieben des Schlittens zu dem ausdehn-
baren Element über einen Schwellenpunkt hinaus zu
verhindern, wodurch ein Strecken des Primärdrahts
verhindert wird, wenn sich der Primärdraht in der Mar-
tensit-Phase befindet.

10. Vorrichtung nach Anspruch 3, wobei das Las-
telement ein Sekundärdraht ist, der aus einer zweiten
Formgedächtnislegierung besteht, wobei die Schwel-
lentemperatur zumindest eine Austenit-Starttempe-
ratur des Sekundärdrahts ist, und ferner mit:
einer Blattfeder, die funktionell mit dem gegenüber-
liegenden Draht verbunden und derart konfiguriert ist,
einer Drehung des Hebels zu der zweiten Hebelposi-
tion zu widerstehen, wenn die Umgebungstempla-
tur die Schwellentemperatur überschreitet.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

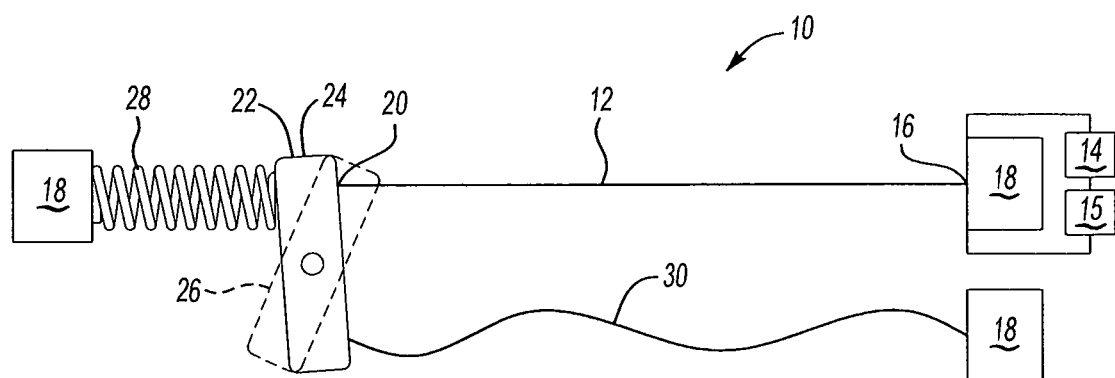


Fig-1

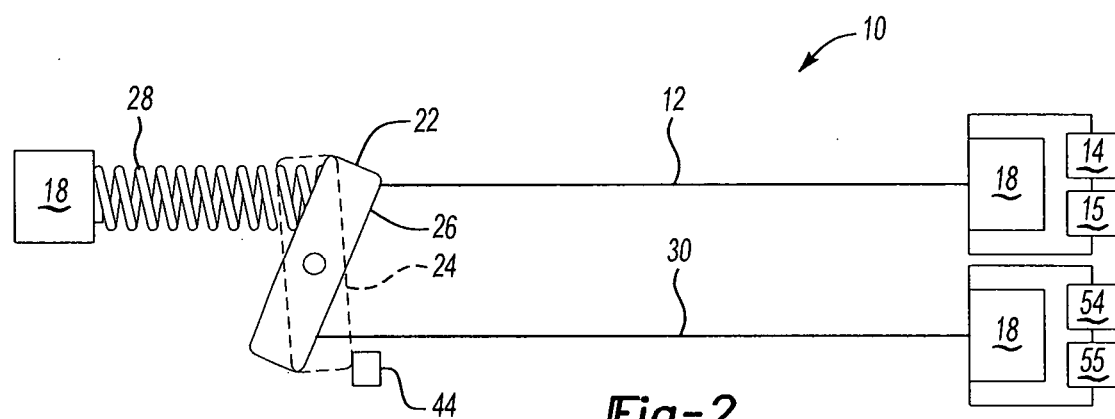


Fig-2

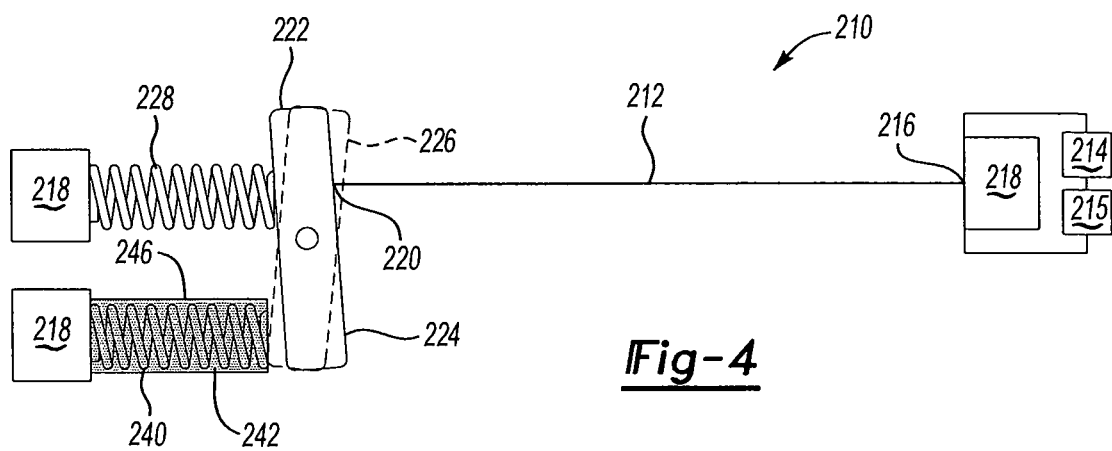
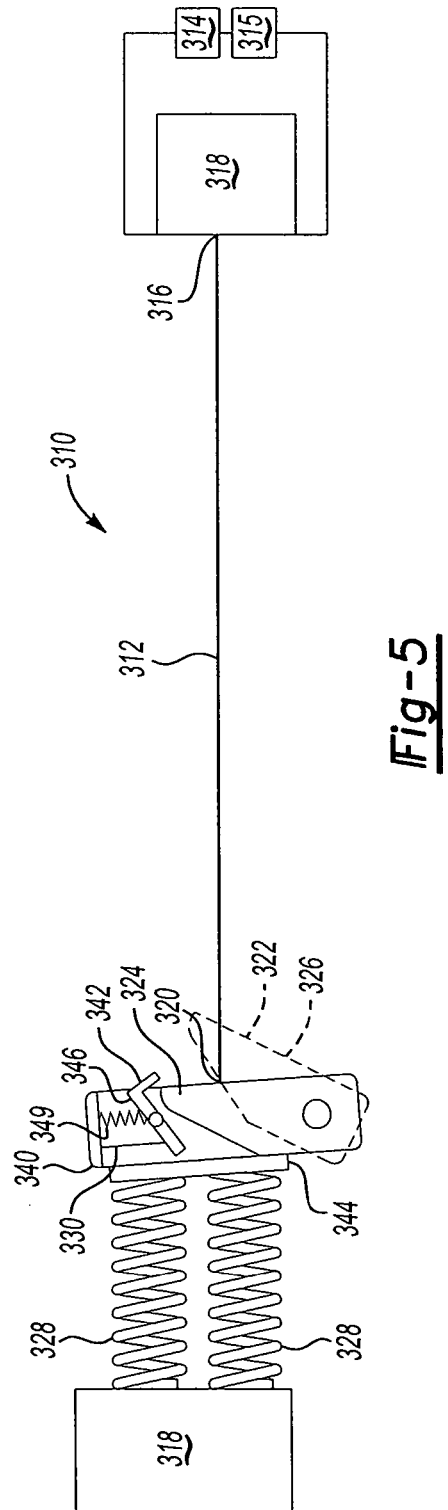
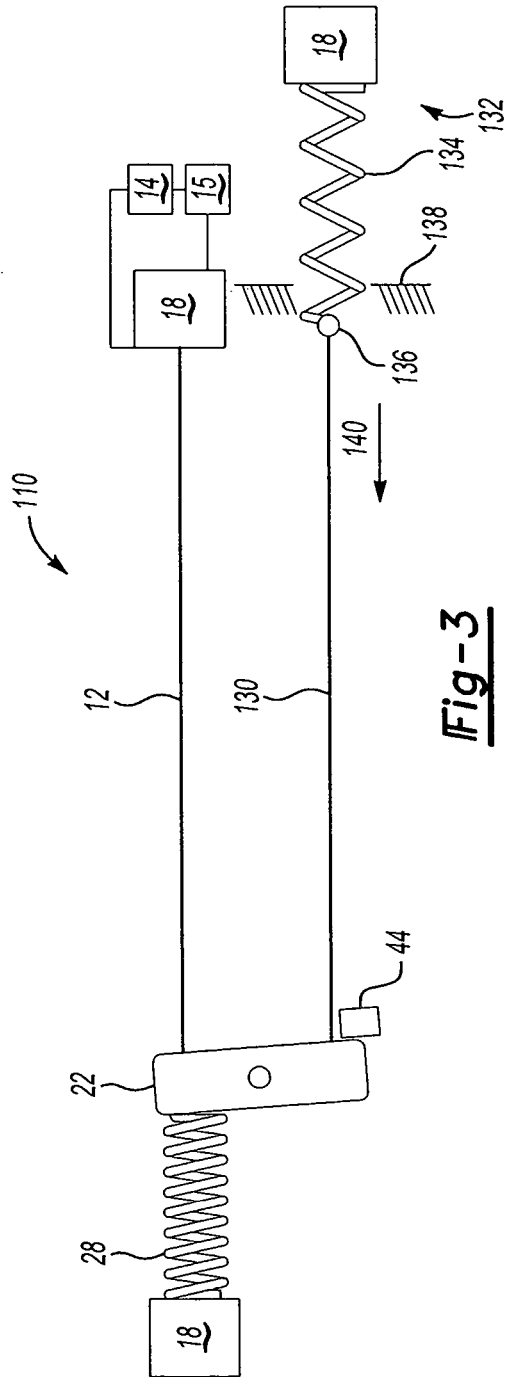


Fig-4



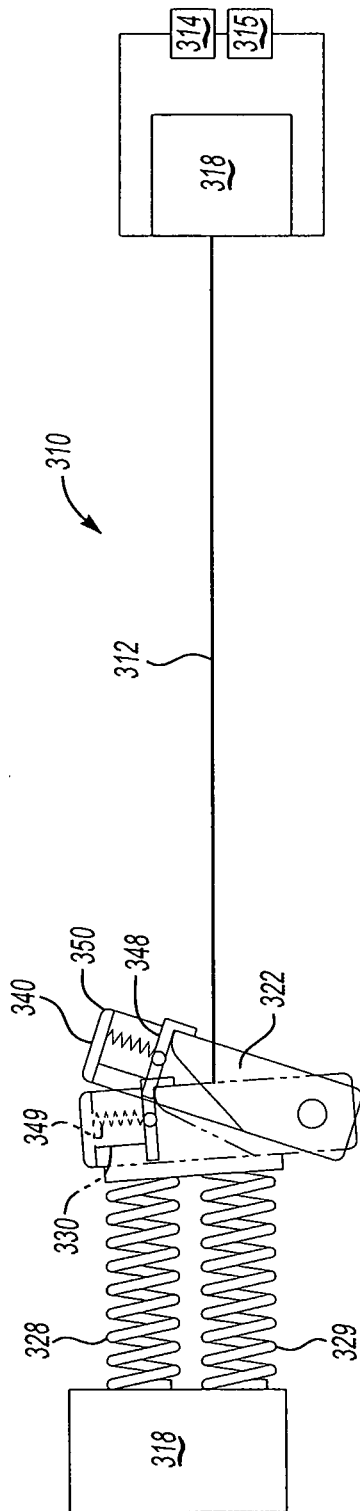


Fig-6

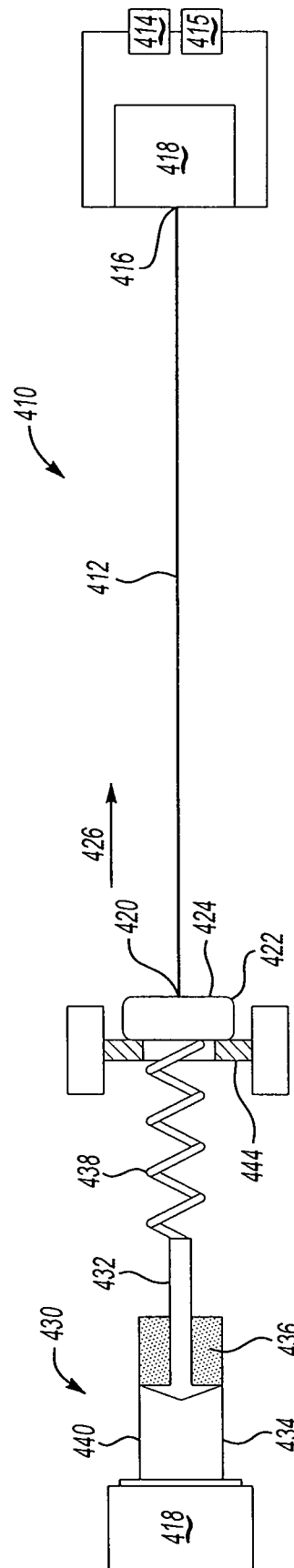
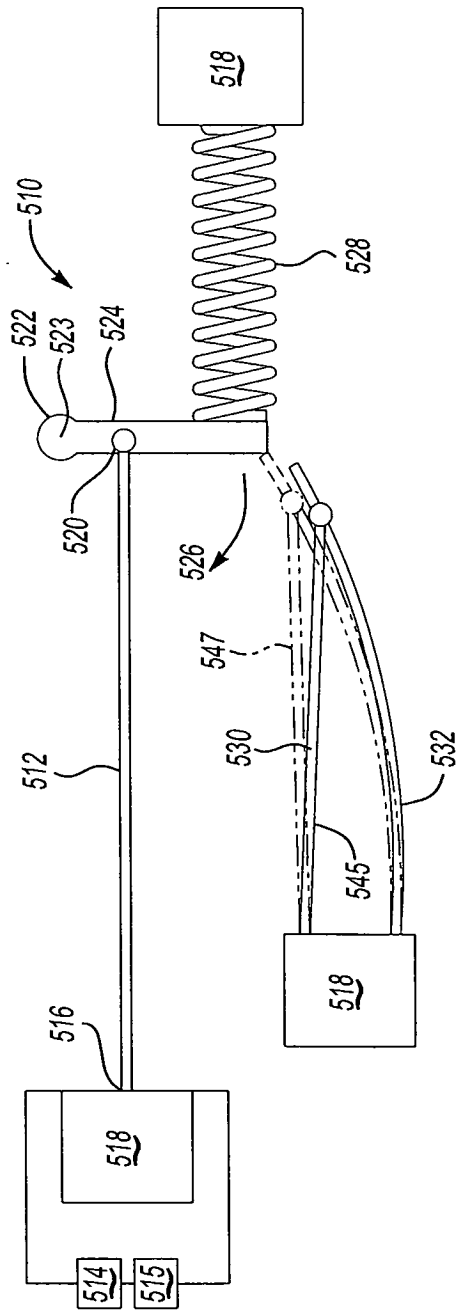
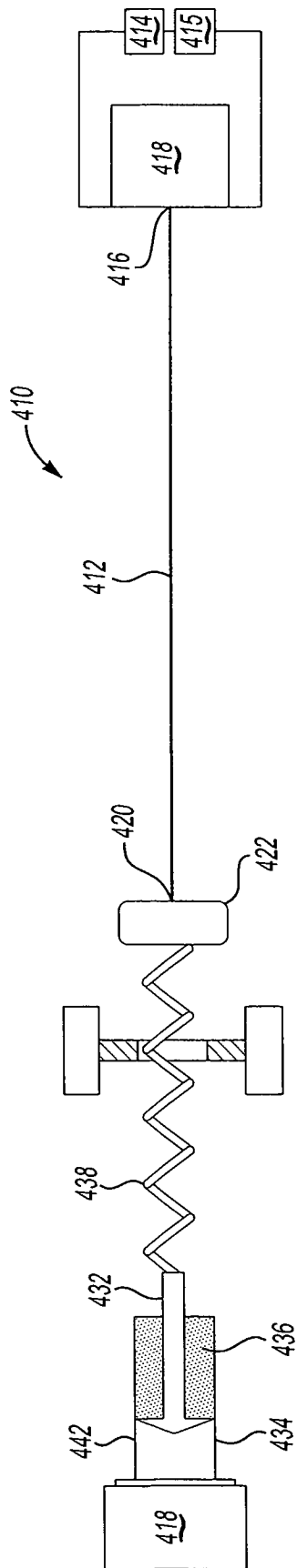


Fig-7



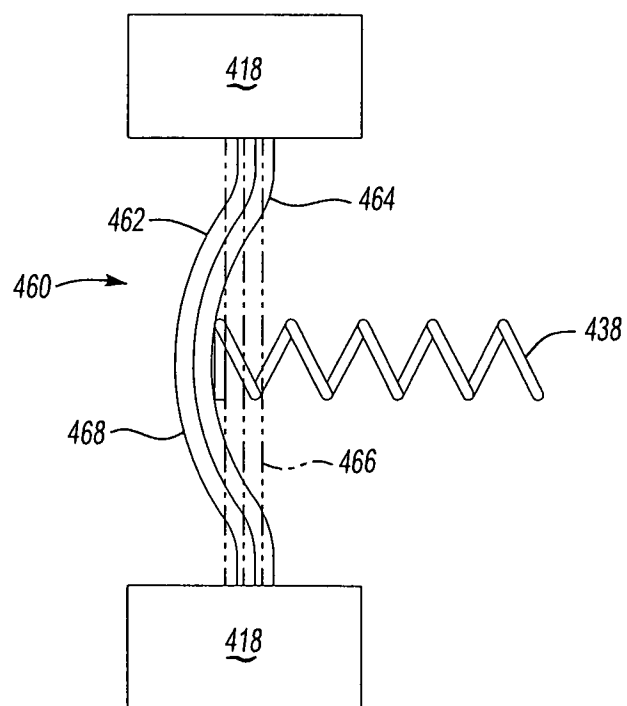


Fig-9

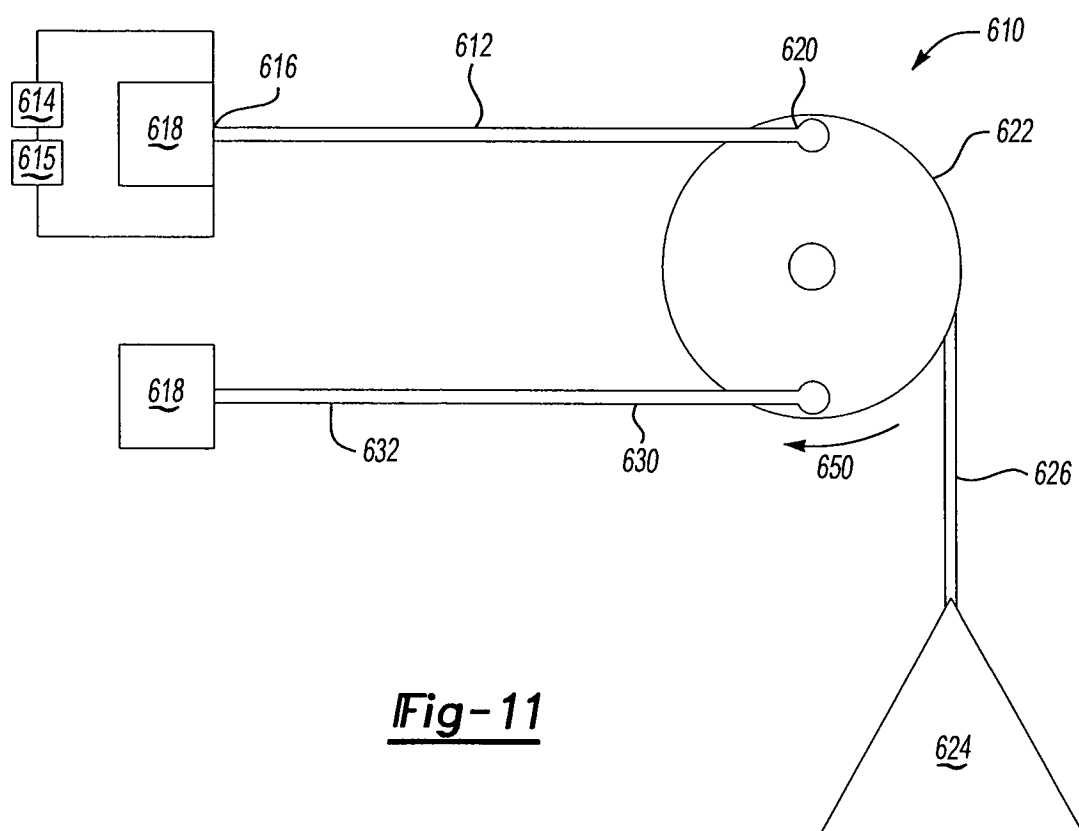


Fig-11

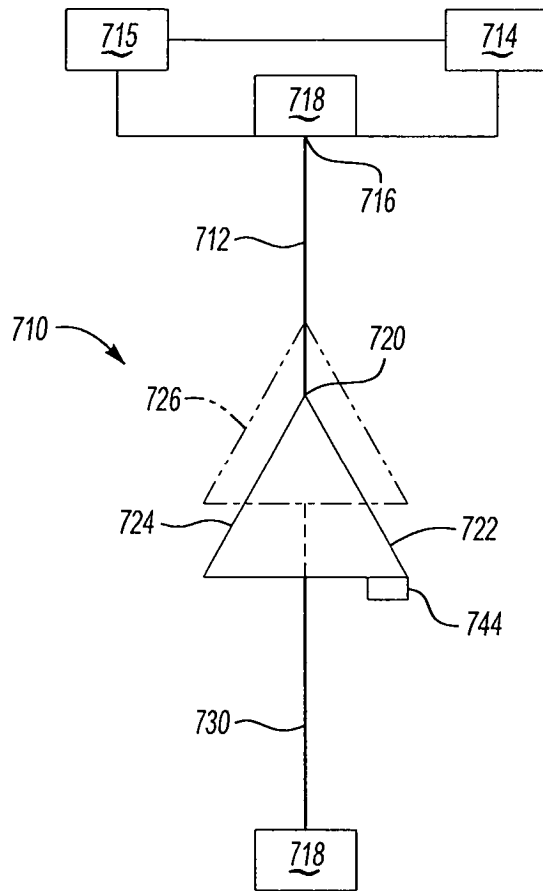


Fig-12

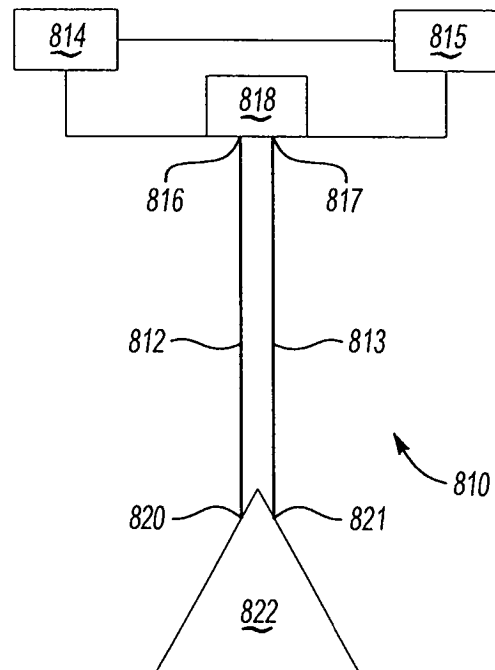


Fig-13

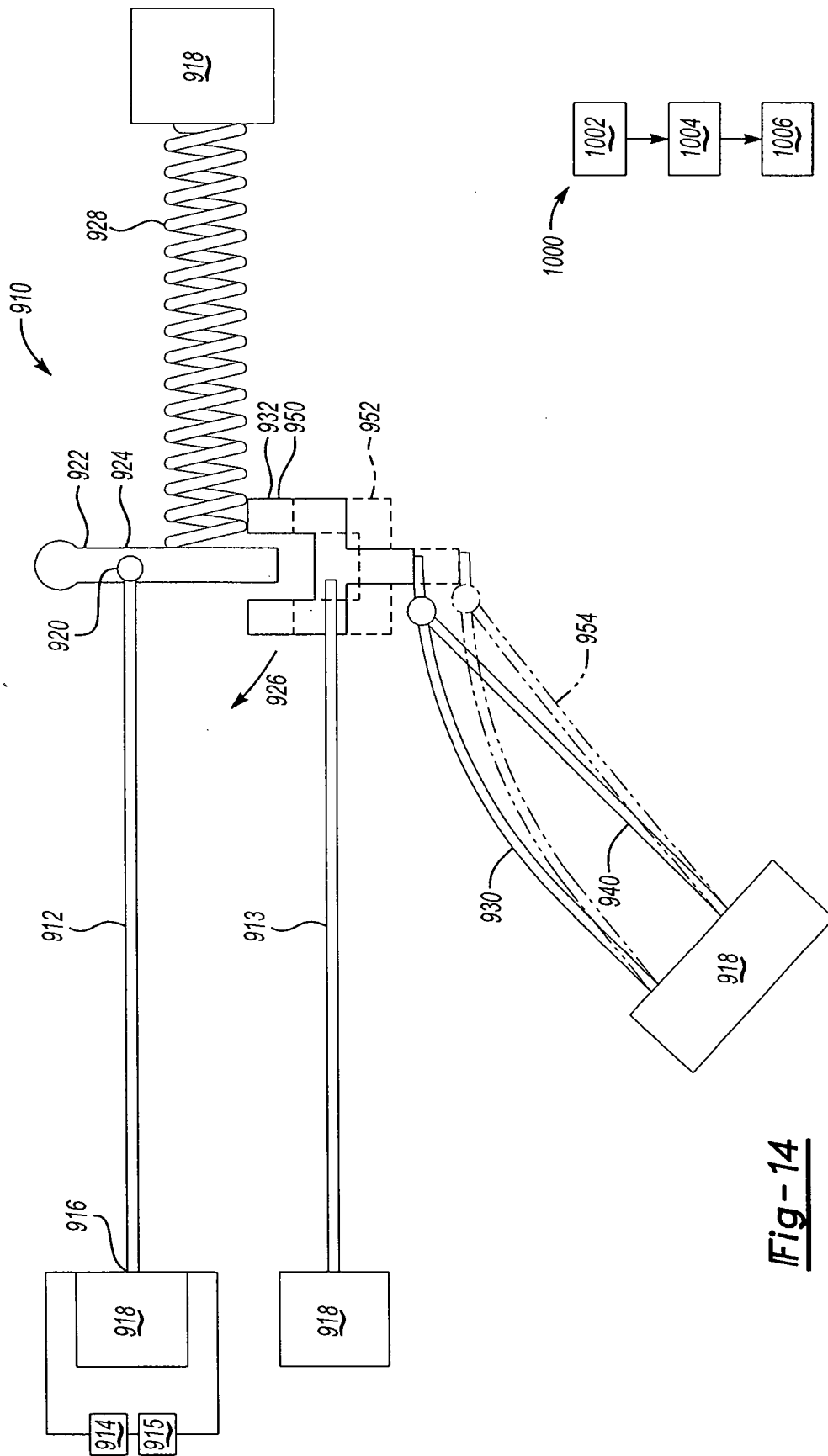


Fig-14

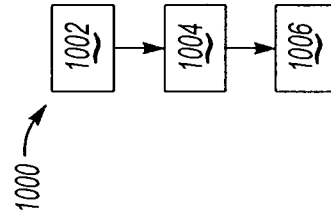


Fig-15