



## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

②1 Anmeldenummer: 78200393.3

⑤1 Int. Cl.<sup>3</sup>: H 01 H 71/14

②2 Anmeldetag: 27.12.78

H 01 H 37/46, H 01 H 71/40

④3 Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
23.07.80 Patentblatt 80 15

⑦1 Anmelder: BBC Brown, Boveri & Cie.  
(Aktiengesellschaft)

④4 Benannte Vertragsstaaten:  
BE CH DE FR GB IT LU NL SE

CH-5401 Baden(CH)

⑦2 Erfinder: Melton, Keith, Dr.  
Sonnenrainstrasse 291  
CH-5435 Busslingen(CH)

⑦2 Erfinder: Mercier, Olivier, Dr.  
Giessbergstrasse 19  
CH-5400 Ennetbaden(CH)

### ⑤4 Selektiv wirkender Thermoschalter und Verfahren zu seiner Auslösung.

⑤7 Es wird ein selektiv wirkender Thermoschalter und ein Verfahren zum Auslösen eines Schaltvorganges unter Verwendung eines Thermoschalters angegeben, bei dem das einen Schaltvorgang auslösende Schaltelement (18) aus einer Formgedächtnislegierung besteht. Ein Schaltvorgang wird nur dann ausgelöst, wenn die durch eine Aufheizung bewirkte zeitliche Änderung der Temperatur in dem Schaltelement im Bereich des Übergangs von der Niedrig- zur Hochtemperaturphase der Formgedächtnislegierung einen vorgebbaren Grenzwert übersteigt. Bei einem derartigen Übergang bewirkt der Formgedächtniseffekt eine zum Schalten verwendete, ruckartig verlaufende Gestaltänderung, z.B. ein zerreichendes Schaltelement, wenn dieses einseitig unbeweglich gehalten ist. Dieses Schaltelement ist mit einer Masse (16) mechanisch gekoppelt, deren Trägheit zur Festlegung der Auslösebedingung massgebend ist. Der Thermoschalter eignet sich zum Abschalten von Überströmen, wenn Stromanstieg und -dauer einen vorgebbaren Grenzwert überschreiten.

EP 0 013 280 A1

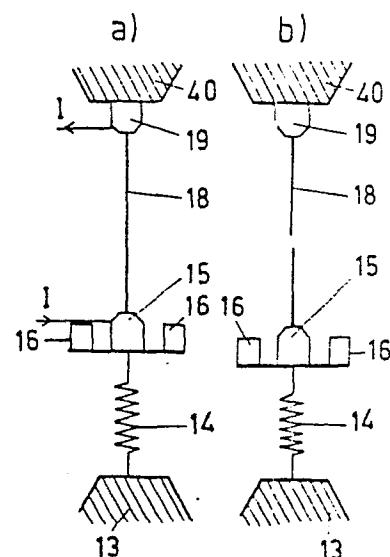


FIG. 3

-/-  
BEZEICHNUNG GEÄNDERT  
siehe TitelseiteThermoschalter

Die Erfindung betrifft einen Thermoschalter und ein Verfahren zum Auslösen eines Schaltvorganges unter Verwendung eines Thermoschalters gemäss dem Oberbegriff der Ansprüche 1 und 6.

Sekannte Thermoschalter, wie z.B. Bimetallstreifen, Schmelzsicherungen oder Regelventile mit Thermoelementen, lösen einen Schaltvorgang bei einem Ueberschreiten eines vorgebundenen Temperaturwertes mit einer relativ grossen zeitlichen Verzögerung aus. Ueblicherweise werden Thermoschalter zur Unterbrechung eines elektrischen Stromkreises verwendet.

Für die Betriebssicherheit von elektrischen Geräten und Anlagen ist insbesondere die Fehlspannung und deren Dauer, Amplitudenanstieg und Repetition von Bedeutung. Ueber das 15 elektrische Verteilernetz können Störspannungen in Geräten und Anlagen zu Störungen oder Zerstörungen an Halbleitern in empfindlichen elektronischen Schaltkreisen, zu Fehlfunktionen in Regelsystemen, zum Verlust von Informationen oder zu Ueberschlägen bei schlechter 20 Isolation oder zu klein gewählten Kriech- oder Luftstrecken führen. Schalter mit grosser Zeitverzögerung sind für einen Schutz derartiger Geräte ungeeignet. Bimetallstreifen zeigen ausserdem bei längerer Benutzung Ermüdungserscheinungen, die zu einer Änderung der Ansprechtemperatur führen. 25

Thermoschalter mit relativ kleiner zeitlicher Schaltverzögerung unter Verwendung eines den Schaltvorgang aus-

- 2 -

- lösenden Elementes aus einer Formgedächtnislegierung sind unter anderem durch die DE-OS 2 026 629, 2 139 852 und 2 701 884 bekannt. Dabei wird die relativ grosse Formänderung dieses Schaltelementes bei dessen Temperaturerhöhung über die Anfangstemperatur der Phasenumwandlung von der Niedrig- zur Hochtemperaturphase der Formgedächtnislegierung zum Betätigen eines Schalters verwendet. Das Schaltelement kann direkt von dem zu schaltenden Strom durchflossen und erwärmt sein. Die Erwärmung kann auch durch
10. eine in die Schaltung eingefügte Heizung erfolgen. Durch die DE-OS 2 701 884 ist es bekannt, den Strom in der Schaltung beim Ueberschreiten eines bestimmten Maximalstromwertes zu unterbrechen. Ein Problem bei der Konstruktion von Schaltern insbesondere für den Leitungs- und Ueberstromschutz besteht darin, eine gute Selektivität in den Schaltbedingungen zu gewährleisten, d.h., der Schalter sollte nach Erreichen eines Stromtoleranzwertes nur beim Ueberschreiten eines vorgebbaren Stromanstiegs öffnen und nicht bei allen Ueberströmen.
15. 20. Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, das Auslösen eines Schaltvorganges bei hoher Selektivität der Schaltbedingung zu gewährleisten.
25. Die Aufgabe wird gemäss dem kennzeichnenden Teil der Ansprüche 1 und 6 gelöst. Weiterbildungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen beschrieben.
20. 30. Die Erfindung beruht auf der neuen Erkenntnis der Kinetik des Formgedächtniseffektes. Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass der Schaltvorgang selektiv bezüglich des durch einen Ueberstrom verursachten Anfangswertes einer zeitlichen Änderung der Temperatur in dem Schaltelement



und nicht bezüglich der übertragenen Energie ist. Die durch eine Spannvorrichtung auf das Schaltelement aufgebrachte Vorspannung ist so einstellbar, dass das Schaltelement nach dem Durchgang eines unter kritischen Ueberstromes bei Ab-  
5 kühlung zurückverformt werden kann.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 das Prinzip des Formgedächtniseffektes,

- a) den Einwegeeffekt,
- b) den Zweiwegeeffekt,

Fig. 2 die Dehnung als Funktion der Temperatur,

- a) für den Einwegeeffekt,
- b) für den Zweiwegeeffekt,

Fig. 3 das Schema eines einfachen Thermoschalters in einer  
15 auch für Prüfzwecke geeigneten Ausführungsform,

Fig. 4 die chemische Energie  $G$  der zwei Phasen Martensit und Austenit einer Formgedächtnislegierung als Funktion der Temperatur  $T$  (schematisch),

Fig. 5 den prozentualen Anteil des Martensits  $M$  als Funktion der Temperatur  $T$ ,  
20

Fig. 6 den elektrischen Widerstand  $R$  einer Formgedächtnislegierung (a) vor und (b) nach einem Aufheizen als Funktion der Zeit  $t$ ,

Fig. 7 das Schema eines mechanischen Modells aus einer

- 4 -

Feder K, einer Stoßdämpfungseinrichtung mit einer Dämpfungskonstante  $\alpha$  und einer Masse m,

5 Fig. 8a, 8b, 8c eine halbschematische Darstellung eines Thermoschalters in einem thermoelektrischen Schalter mit Zusatzsicherungselement und mechanischer Schaltverstärkung in verschiedenen Stellungen und

Fig. 9 ein Funktionsschaltbild des Thermoschalters.

Fig. 1a) zeigt den Einweg- und Fig. 1b) den Zweiweg-Formgedächtniseffekt. Diese Effekte treten bei Formgedächtnislegierungen, d.h. bei thermoelastischen Martensiten auf, die nach einer sogenannten pseudo-plastischen Verformung bei niedriger Temperatur wieder zu ihrer ursprünglichen Gestalt zurückkehren, wenn sie über eine kritische Temperatur erwärmt werden. Diese Legierungen existieren in einer martensitischen Tieftemperaturphase niedriger, flächenzentriert orthorhombischer oder monokliner Symmetrie und in einer austenitischen Hochtemperaturphase hoher, kubisch raumzentrierter Symmetrie. In der Martensit-Phase existieren keine Plättchen oder Lamellen, die verschiedene kristallographische Orientierung besitzen. Bei hoher Temperatur von z.B. 20 600°C bringt man die Legierung in eine gewünschte, z.B. gestreckte Stabform und tempert sie. Während der Abkühlung geht beim Überschreiten einer kritischen Temperatur die austenitische in die martensitische Phase über. Wird jetzt 25 bei einer tiefen Temperatur  $T_1$  deformiert, z.B. gebogen, so entsteht durch spannungsinduzierte oder reorientierte Martensitbildung eine quasistabile Form, welche die ursprüngliche gerade Struktur in sich trägt. Beim Aufheizen über eine Temperatur  $T_2$ , die über einer kritischen Temperatur liegt, entsteht beim Einwegeffekt aus der gebogenen 30 spontan wieder eine gerade Struktur. Bei

- 20 -

5 einem anschliessenden Abkühlen findet keine spontane Formänderung mehr statt. Wird jedoch die Legierung bei der Temperatur  $T_1$  erneut verformt, so wiederholt sich der geschilderte Effekt beim Aufheizen auf  $T_2$ .

- 10 5 Beim Zweiwegeeffekt geht ein bei der Temperatur  $T_1$  verformter, z.B. gebogener Körper aus einer Formgedächtnislegierung beim Aufheizen auf die Temperatur  $T_2$  spontan nur teilweise in die Ursprungsform zurück. Bei einem nachfolgenden Abkühlen auf  $T_1$  verformt er sich wieder spontan, jedoch nicht bis zu dem von aussen aufgebrachten Verformungsgrad. Die beiden temperaturinduzierten, spontanen Formänderungen sind bei aufeinanderfolgenden Temperaturzyklen zwischen  $T_1$  und  $T_2$  wiederholbar.

- 15 Fig. 2 zeigt eine andere Darstellung der Gedächtniseffekte. 15 In Abhängigkeit von der Legierungszusammensetzung können für den in Fig. 2a dargestellten Einwegeeffekt Dehnungen bzw. pseudo-plastischen Verformungen bis zu etwa 8 % beim Aufheizen zurückgewonnen werden, während für den in Fig. 2b dargestellten Zweiwegeeffekt Dehnungen bzw. Verformungen bis zu 1,5 % bekannt sind. Während durch Aufheizen die Verformung beim Einwegeeffekt auf Null zurückgeht und beim Abkühlen diesen zurückgebildeten Formzustand beibehält, bleibt beim Zweiwegeeffekt eine Verformung von etwa 2 % zurück. Beim Abkühlen unter eine bestimmte Temperatur 20 tritt dann eine spontane Verformung von etwa 1,5 % auf, die sich beim Aufheizen der Legierung spontan zurückbildet.

Der Zweiwegeeffekt kann durch Erzeugung von Versetzungen und Gitterstörstellen z.B.

- 30 a) durch eine irreversible plastische Verformung über den pseudo-plastischen Bereich der Legierung hinaus, d.h. von mehr

- 21 -

als etwa 8 %, oder

- b) durch eine Temperaturerhöhung um etwa 50 K über die Endtemperatur der Austenitumwandlung hergestellt werden.

Der zu Versetzungen führende Anteil der Verformung wird 5 beim Aufheizen nicht zurückgewonnen. Beim erneuten Ab- kühlen begünstigt das Eigenspannungsfeld der Gitterstör- stellen die Rückbildung von Martensitorientierungen, die durch die ursprünglich aufgebrachte Spannung erzeugt wur- den, und führt dazu, dass beim Abkühlen eine kleinere 10 Formänderung in der Richtung der ursprünglichen Verfor- mung stattfindet. Bei nachfolgenden thermischen Zyklen wird ein kleiner Zweiwegeeffekt erzeugt.

Wird auf eine Formgedächtnislegierung eine Spannung ausge- übt, so verschiebt sich der Temperaturbereich der Phasen- 15 umwandlung zu höheren Temperaturen, wie in Fig. 2a ge- strichelt angedeutet. Unbelastet kann die Umwandlung von der Niedrig- zur Hochtemperaturphase zwischen etwa  $-180^{\circ}\text{C}$  und  $+250^{\circ}\text{C}$  liegen, in Abhängigkeit von der Legierungszu- sammensetzung.

20

In Fig. 4 ist die chemische Energie  $G$  der Martensit- und Austenitphase als Funktion der Temperatur  $T$  dargestellt. 25 Bei niedrigen Temperaturen hat Martensit eine geringere Energie als Austenit. Oberhalb einer Temperatur  $T_0$ , bei der beide Phasen in thermodynamischem Gleichgewicht sind und gleiche chemische Energie  $G$  aufweisen, hat Austenit eine geringere Energie als Martensit.

7  
- 12 -

Soll durch Abkühlen Austenit in Martensit umgewandelt werden, so muss die Formgedächtnislegierung unterhalb  $T_0$  abgekühlt werden, wie in Fig. 5 dargestellt, da wegen des Volumen Unterschiede elastische bzw. Keimbildungsenergie mitgeliefert werden muss.

Bei einer Martensitumwandlung-Starttemperatur  $T_{MS}$  beginnt die Umwandlung, bei einer Martensitumwandlungs-Endtemperatur  $T_{MF}$  ist sie abgeschlossen, d.h., es bleibt kein Austenit zurück. Bereits bei Temperaturen oberhalb  $T_{MS}$  kann jedoch eine von aussen aufgebrachte Spannung einen Beitrag zur Keimbildungs- oder / für den Martensit liefern, d.h., es kann ein spannungsinduzierter Martensit erzeugt werden. Wird ein Körper aus einer Formgedächtnislegierung zunächst unterhalb  $T_{MS}$  oder  $T_{MF}$  abgekühlt und dann verformt, so wird unter anderem durch einen Zwillings-Scherungsprozess eine Umorientierung der Martensitplättchen erzeugt, die beim Aufheizen zu einer Rückwandlung der Verformung führt.

Die Umwandlung von Martensit in Austenit beginnt bei einer sogenannten kritischen Temperatur  $T_{AS}$  oberhalb  $T_0$  und endet bei einer Temperatur  $T_{AF}$ .

Um einen grossen Formgedächtniseffekt erzeugen zu können, muss die durch den Phasenübergang bedingte Volumenänderung gering sein, da sonst viele Versetzungen erzeugt werden, um die Volumenunterschiede anzupassen. Durch eine erhöhte Versetzungsdichte wird der Martensit verfestigt bzw. gehärtet und eine Umorientierung durch eine aufgebrachte Spannung nicht mehr möglich, wie z.B. bei Stahl. Die für eine Anwendung als Schaltelement wichtigste Eigenschaft einer Formgedächtnislegierung besteht darin, dass bei der

8  
- 25 -

Rückwandlung der Verformung beim Aufheizen Arbeit geleistet bzw. eine Spannung erzeugt werden kann. Für Ni-Ti-Basislegierungen ist eine Energiedichte von  $2 \text{ MJ/m}^3$  erreichbar, welche wesentlich höher liegt als die von Bimetall. Durch eine 5 Behinderung der Gestaltänderung beim Aufheizen sind Spannungen von mehr als 650 MPa erzeugbar. Die erreichbare Kraft und der Weg sind von der Probengeometrie abhängig. Bei einem Rundstab, dessen Länge 10 mal so gross ist wie sein Durchmesser, ist die Biegekraft 20 mal kleiner als 10 die Zugkraft, aber die Verschiebung des freien Endes im Falle der Biegung ist 10 mal so gross wie die Verschiebung bei Zugbeanspruchung.

In Fig. 6 zeigt die Kurve a den Widerstand  $R$  eines Drahtes aus einer mechanisch belasteten bzw. vorgespannten Formgedächtnislegierung vor einem Aufheizen als Funktion der Zeit  $t$ . Die Kurve b wurde dadurch erzeugt, dass ein kurzfristiger Stromimpuls aus einer Kondensatorenentladung (875 V,  $25 \mu \text{ F}$ ) durch diesen Draht geschickt und dadurch eine Aufheizung bewirkt wurde. Der Widerstand kennzeichnet 15 die Struktur bzw. die Phasenumwandlung der Legierung. Die der gemessenen Widerstandsschwingung entsprechende Bewegung des Drahtes wird anhand eines in Fig. 7 dargestellten mechanischen Modells erklärt, in dem  $K$  die Federkonstante 20 einer Feder,  $m$  eine Masse,  $\alpha$  die Dämpfungskonstante,  $x$  den Weg bzw. eine Auslenkung,  $\dot{x}$  bzw.  $\ddot{x}$  die erste bzw. zweite Ableitung des Weges nach der Zeit und  $g$  die Erdbeschleunigung bedeuten. Für dieses Modell gilt die Differentialgleichung:

$$m\ddot{x} + \alpha\dot{x} - Kx = -mg \quad (1)$$

30 mit der Anfangsbedingung:

?

- 24 -

$$x = x_{\max} + \frac{mg}{K} \quad \text{und} \quad \dot{x} = 0 \quad \text{für} \quad t = 0, \quad (2)$$

wobei  $x_{\max}$  die maximale Dehnung bedeutet, die durch Aufheizen eines Federkörpers als Ergebnis eines Formgedächtniseffektes erreichbar ist. Unter diesen Voraussetzungen hat die Differentialgleichung (1) die Lösung:

$$x = \frac{x_{\max}}{\cos \psi} \cdot \exp(-\lambda \omega t) \cdot \cos(\omega t + \psi) + \frac{mg}{K} \quad (3)$$

mit

$$\omega = \sqrt{\frac{K}{m(1 - \lambda^2)}} \quad (4)$$

$$\tan \psi = -2\lambda \quad \text{und} \quad (5)$$

$$\lambda = \frac{\alpha}{2m\omega} \quad (6)$$

$$U = \frac{1}{2} K x_{\max}^2 = \int F dx \quad (7)$$

stellt die elastische Energie der Feder dar, die beim Aufheizen in eine Gestaltänderung innerhalb einer charakteristischen Bewegungszeit

$$\Delta t_m = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{m}{K}} \quad (8)$$

mit einer wirksam werdenden Kraft  $F$  umgesetzt wird.

Die Federkonstante  $K$  hängt von der Bewegungsart, wie Spannung, Biegung usw., vom Typ der Formgedächtnislegierung und von der Grösse einer mechanischen Vorspannung ab. Ohne Vorspannung ergibt sich  $K$  für Spannung bzw. Kompression zu:

$$K = \frac{q}{l} \cdot \frac{\Delta s \cdot \Delta h \cdot d}{c \cdot \epsilon_M \cdot \epsilon_d} \quad (9)$$

mit

10  
- 25 -

- q Querschnittsfläche des Formgedächtniskörpers  
 l Länge  
 d relative Dichte  
 C spezifische Wärmekapazität  
 5  $\underline{\epsilon}_s$  spezifische Entropie  
 $\Delta h$  spezifische Enthalpie  
 C spezifische Wärmekapazität  
 $\epsilon_d$  durch Verformung aufgebrachte relative Formänderung und  
 $\epsilon_M$  maximale relative Formänderung durch Phasenumwandlung.
- 10

Erfolgt das Aufheizen eines aus einer Formgedächtnislegierung bestehenden Körpers bzw. Drahtes durch einen hindurchfliessenden elektrischen Strom I, so gilt für zeitliche Temperaturänderungen  $dT/dt$  in einem Temperaturbereich, in  
 15 dem keine durch einen Formgedächtniseffekt bewirkte Formänderung erfolgt, die Beziehung:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{RI(t)^2}{CVd} \quad (10)$$

wobei V das Volumen des Körpers bedeutet.

Oberhalb der kritischen Temperatur  $T_{AS}$  für die Rückverformung entsteht in dem Formgedächtniskörper eine mechanische Spannung  $\sigma$  proportional zu  $T - T_{AS}$ :

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{T_0} (T - T_{AS}), \quad (11)$$

konstante

wobei  $\sigma_0$  eine Material<sup>1</sup> ist. Diese Spannung  $\sigma$  wird in den in den Fig. 3 und 8a, Bezugsziffer 38, dargestellten  
 25 Thermoschaltern zur Auslösung eines Schaltvorganges benutzt.

Das Prinzip der Thermoschalter wird anhand der Fig. 9 er-

71  
- 16 -

läutert. Eine beliebige zeitabhängige physikalische Grösse  $f(t)$ , die bei einer vorgebbaren Bedingung, z.B. beim Ueberschreiten eines bestimmten Grenzwertes, einen Schaltvorgang auslösen oder ein Schaltsignal  $y_1$  zur Verfügung stellen soll, wird in einem Wandler 41 in eine dieser Eingangsgrösse  $f(t)$  zugeordnete zeitabhängige Wärme bzw. thermische Energie  $Q(t)$  transformiert, falls sie nicht bereits als Wärme vorgegeben ist. Diese Wärme  $Q(t)$  wird in einem weiteren Wandler 42 in eine Beschleunigung  $\ddot{x}$  transformiert, welche einem Vergleicher 43 mit einem Beschleunigungsgrenzwert  $\ddot{x}_G$  verglichen wird. Für  $\ddot{x} > \ddot{x}_G$  liegt am Ausgang  $y$  des Vergleichers 43 das Schaltsignal  $y_1$  an, andernfalls das Signal  $y_2$ . Gleichbedeutend mit diesen vom Ausgang des Vergleichs abhängigen Signales  $y_1$  bzw.  $y_2$  ist ein "Ein-" bzw. "Ausschalten" oder ein "Um-schalten" eines Schalters.

Bei den Thermoschaltern gemäss Fig. 3 und Fig. 8a, Bezugsziffer 38, ist die zeitabhängige physikalische Grösse  $f(t)$  ein elektrischer Strom  $I(t)$ . Die Wandler 41 und 42 werden durch das Schaltelement 18 aus einer Formgedächtnislegierung gebildet. Der elektrische Strom  $I(t)$  wird in diesem Schaltelement gemäss

$$Q(t) = \int_{t_1}^{t_2} RI^2 dt \quad (12)$$

in Wärme, diese gemäss Gleichung (11) in mechanische Spannung und diese gemäss den Gleichungen (7) und (1) in Kraft  $F$  bzw. Beschleunigung  $\ddot{x}$  transformiert. Der Vergleicher 43 wird durch eine einstellbare Masse 16 dargestellt, wobei die Trägheit dieser Masse zur Realisierung des Beschleunigungsgrenzwertes  $\ddot{x}_G$  verwendet wird. Erst wenn eine durch den

42  
- 1/ -

Formgedächtniseffekt beim Aufheizen des Schaltelementes erzeugte Kraftwirkung bzw. Beschleunigung  $\ddot{x}$  diesen vorgebaren Grenzwert überschreitet, erfolgt eine Auslösung des Schaltsignals bzw. ein Schaltvorgang. Langsam verlaufende Strom- bzw. Temperaturänderungen im Schaltelement 18 lösen somit keinen Schaltvorgang aus. Ebenso lösende Stromänderungen, die Temperaturänderungen ausserhalb der Phasenübergänge zwischen  $T_{AS}$  und  $T_{AF}$  bzw. zwischen  $T_{MS}$  und  $T_{MF}$  entsprechen, keine Schaltsignale aus. Es handelt sich so mit um einen selektiv wirkenden Thermoschalter, der unter anderem für ein schnelles Abschalten von Ueberströmen geeignet ist. Dafür wird der Phasenübergang von Martensit in Austenit entsprechend dem Temperaturbereich von  $T_{AS}$  bis  $T_{AF}$  verwendet. Dieser Schaltbereich ist durch Dimensionierung des Schaltelements, Zusammensetzung der Legierung und mechanische Vorspannung einstellbar.

Der in Fig. 3 schematisch dargestellte Thermoschalter besteht aus dem Schaltelement 18 in Form eines Rundstabes bzw. Drahtes von 6,5 mm Länge und  $0,33 \text{ mm}^2$  Querschnitt aus einer Legierung von 3 M % Ni, 13 M % Al und 84 M % Cu, vergleiche Draht-Nummer 9 in Tabellen 1 und 2. Ein weiteres Beispiel für ein Schaltelement ist dort mit Draht-Nummer 8 bezeichnet. Das obere Ende des Schaltelementes 18 ist in einer oberen Halterung 19 gehalten, die unbeweglich an einer Befestigung 40 angebracht ist. Das untere Ende des Schaltelementes ist über eine Halterung 15 mit einer einstellbaren Masse 16 von 14,8 g und einer Zugfeder 14, die auch entfallen kann und im vorliegenden Beispiel mit der Federkonstante  $K = 0$  angesetzt ist, gekoppelt. Die Zugfeder ist einseitig in einer Befestigung 13 unbeweglich gehalten. Masse 16 und Zugfeder 14 wirken als Spanneinrichtung zusammen und erzeugen eine mechanische Spannung auf



13

-18-

das in der Niedrigtemperaturphase durch Dehnung pseudo-plastischer verformter Schaltelemente 18, die unterhalb dessen Zerreissspannung liegt. Durch das Schaltelement wird bei einer Zimmertemperatur von  $20^{\circ}\text{C}$  ein Strom I geschickt, der auf 5 das Auftreten eines Ueberstromes zu überwachen ist. Ueberschreitet das Strom-Zeitintegral

$$SZ = \int_{t_1}^{t_2} I^2 dt, \quad \Delta t = t_2 - t_1 \quad (13)$$

innerhalb eines Zeitintervall es mit  $\Delta t = 2 \text{ ms}$  den Wert von  $SZ = 1000 \text{ A}^2 \text{s}$ , so zerreißt das Schaltelement 18 und unterbricht den Stromkreis, wie in Fig. 3b dargestellt. Das Schaltelement wirkt hierbei als elektrische Sicherung mit einstellbarer Empfindlichkeit. Wenn der Stromanstieg schneller als ein vorgebarer Wert ist, überschreitet die mechanische Spannung  $\sigma$  die Zerreissspannung des Schaltelementes bevor sich die Masse 16 zu bewegen beginnt. Die Anfangsgestalt des Schaltelementes ist so gewählt, dass der Abstand zwischen den Bruchstücken nach dem Zerreissen gross genug ist, um eine Trennung des Lichtbogens zu gewährleisten. Bei einem langsam ansteigenden Ueberstrom 15 wird die Masse 16 bewegt und  $\sigma$  wird niemals die Zerreissspannung des Schaltelementes überschreiten. Die Werte der Abstände  $m$  und  $K$  sind zweckmässig unter Verwendung einer Zweiweg-Gedächtnislegierung für das Schaltelement so gewählt, dass das Schaltelement durch Kühlung zurückverformt wird, vergleiche Fig. 2b, nachdem ein Ueberstrom mit unterkritischem Anstieg vorbei ist. Dieser Thermoschalter kann auch mit einem Schaltelement mit einem Einweggedächtniseffekt verwendet werden, wobei Formänderungen bis zu etwa 25 8 % nutzbar sind. Anstelle einer direkten Unterbrechung des Stromkreises kann die Lageveränderung beim Zerreissen

74  
- 19 -

- des Schaltelementes in bekannter Weise als Mittel zum Auslösen eines anderen Schaltvorganges, erforderlichenfalls mit zwischengeschalteter Verstärkung des Schaltsignals, verwendet werden. Der als elektrische Sicherung wirkende 5 Thermoschalter gemäss Fig. 3 ist anstelle einer Schmelzsicherung in einem konventionellen thermoelektrischen Schalter 50 gemäss Fig. 8 verwendbar, der zur Sicherung elektrischer Stromkreise gegen langsam oder stossartig zunehmende Ueberströme bekannt ist.
- 10 Fig. 8a zeigt einen derartigen thermoelektrischen Schalter 50 in halbschematischer Darstellung, jedoch mit einem Thermoschalter 38, der ein Schaltelement 18 mit einem Zweiweggedächtniseffekt aufweist, das beim Aufheizen nicht zerreissen und somit den Stromkreis nicht direkt unterbrechen kann. Im Unterschied zu dem Thermoschalter gemäss 15 Fig. 3 ist bei dem Thermoschalter 38 die obere Halterung 19 des Schaltelementes 18 nicht unbeweglich gelagert, sondern mit einer Anlenkung 12 im Fangarm 23 über eine mechanische Kopplung 20 verbunden und gegen eine Zugfeder 11 20 beweglich.

Der elektrische Stromkreis geht von einer Anschlussleitung 7 über einen Festkontakt 6, ein Kontaktende 8 eines Kontaktarmes 4, der um eine Anlenkung 1 schwenkbar ist, über eine Verbindungsleitung 28, ein Zusatzsicherungselement 9, eine 25 Verbindungsleitung 22, die obere Halterung 19 durch das Schaltelement 18 zur unteren Halterung 15 an eine Anschlussleitung 17.

Fließt durch das Schaltelement ein Ueberstrom, der eine Gestaltänderung bzw. hier zur Kontraktion durch den Form- 30 gedächtniseffekt führt, so wird

15

- 20 -

- 1) die Anlenkung 12 gegen die Federkraft der Zugfeder 11 nach unten versetzt und
  - 2) die Masse 16 und die mit ihr gekoppelte Zugfeder 14 aufwärts bewegt.
- 5 Für die zweite Bewegung ist die Bewegungszeit  $\Delta t_m$  gemäss Gleichung (8) charakteristisch. Sobald die Bewegung abgeschlossen ist, verschwindet die Spannung  $\sigma$ , vergleiche Gleichung (11).
- 10 Die erste Bewegung wird den Schalter 50 nur dann auslösen, wenn  $\sigma$  über einen vorgebbaren kritischen Wert ansteigt, der zur Translation der Anlenkung 12 nach unten um z.B. 1 mm ausreicht. Andernfalls wird das Schaltelement 18 auf Grund der Einstellung der Werte von Masse 16 und Federkraft K der Zugfeder 14 nach dem Durchgang eines 15 unter\_kritischen Ueberstromes durch Kühlung zurückverformt.
- 15 Kommt es jedoch zu einer Auslenkung der Anlenkung 12 nach unten, so wird der Fangarm 23 um eine Anlenkung 21 im Uhrzeigersinn geschwenkt, wie gestrichelt angedeutet, und gibt einen Winkelarm 37 zur Verschwenkung entgegen dem 20 Uhrzeigersinn frei. Diese Verschwenkung ist gesperrt, so lange ein Hakenende 25 des Fangarmes 23 an einem Fangende 24 des Winkelarmes 37 anliegt. Unter der Wirkung einer Druckfeder 2, die sich an eine Befestigung 3 abstützt, und den Kontaktarm 4 um seine Anlenkung 1 im Uhrzeiger- 25 sinn zu bewegen sucht, wird der Winkelarm 37 mittels eines Schubarmes 29 um eine Anlenkung 26 entgegen dem Uhrzeigersinn verschwenkt, wie in Fig. 8b dargestellt. Dabei hebt sich der Kontaktarm 4 vom Festkontakt 6 ab und unterbricht die elektrische Verbindung zwischen der

- 16 -

Anschlussleitung 7 und der Verbindungsleitung 28. Der Schubarm 29 ist durch eine Anlenkung 5 mit dem Kontaktarm 4 verbunden. An seinem unteren Ende weist er eine Anlenkung 27 auf, die in einer Durchbrechung 36 des Winkelarmes 37 gleiten kann, wenn der Winkelarm verschwenkt wird. Beim Verschwenken gleitet die Anlenkung 27 in der Durchbrechung 36 nach links, wodurch der ebenfalls um die Anlenkung 27 schwenkbare Rückstellhebel 32 mittels eines Schubarmes 30 in eine in Fig. 8c dargestellte Aus-Stellung bewegt wird.

10 Der Rückstellhebel 32 steht unter der Zugspannung einer Zugfeder 34, die in einer Befestigung 37 verankert ist. Er ist über eine bewegliche Anlenkung 31 mit einem Ende des Schubarmes 30 verbunden. Das andere Ende des Schubarmes 30 ist durch die bewegliche Anlenkung 27 mit dem Schubarm 29 verbunden. Der Schalter 50 kann auch mit dem Rückstellhebel 32 wieder eingeschaltet werden, indem er im Uhrzeigersinn geschwenkt wird.

Die Thermoschalter gemäss Fig. 3 und Fig. 8a, Bezugsziffer 38, werden zweckmässig ergänzend zu einem Zusatzschaltelement 9 angewandt, das mittels einer mechanischen Kopplung 10 mit dem Fangarm 23 verbunden sein kann und auf andere schutztechnisch relevante Parameter anspricht.

Bemessungswerte für Schaltelemente 18, die sich zur Verwendung in dem Thermoschalter 38 eignen, sind in den Tabellen 1 und 2 unter den Drahtnummern 1 bis 7 angegeben. Die Werte in Tabelle 1 gelten für eine Zimmertemperatur von 20°C, eine Auslenkung durch einen der Formgedächtnis-effekte von 1 mm und eine Federkonstante K = 0 der Zugfeder 14. Die Zugfeder 14 kann bei beiden beschriebenen Thermoschaltern weggelassen werden, sie eignet sich jedoch zur Lagestabilisierung der Thermoschalter und zur Aufbringung

12  
- 21 -

einer Vorspannung auf das Schaltelement 18.

Für die Formgedächtnislegierung des Schaltelementes 18 eignen sich unter anderem von den Materialeigenschaften und vom Preis her besonders Legierungen auf der Basis Ni Ti, 5 Ni Ti Cu gemäss DE-OS 2 644 041, Cu Zn, Cu Al, Ni Zn auch mit ternären und weiteren Komponenten wie Cu Al Ni, Cu Zn Al Ni usw.

Es versteht sich, dass die Erfindung auf das oben Dargestellte nicht beschränkt ist. So kann z.B. Formgebung 10 des Schaltelementes 18 streifenförmig, rohrförmig, spiralförmig, gebogen usw. gestaltet sein. Das Schaltelement kann durch Biegen, Tordieren, Stauchen oder Strecken verformt sein. Die Auslösung eines thermoelektrischen Schalters 50 gemäss Fig. 8 kann durch Zug oder Druck erfolgen. 15 Die durch das Schaltelement bewirkte Lageänderung kann in bekannter Weise z.B. mittels optischer, elektrischer oder hydraulischer Detektoren erfasst, verstärkt und auf ein anderes Schaltorgan übertragen werden.

78  
- 25 -

Tabelle 1

Draht-Nr.	l mm	q mm <sup>2</sup>	m g	K(11) MN/m	SZ A <sup>2</sup> s	Δt ms
1	5,2	2	38	0,36	1.10 <sup>3</sup>	1
2	5,2	2	950	0,36	1.10 <sup>3</sup>	5
3	53	20	950	3,6	1.10 <sup>5</sup>	5
4	53	20	3 800	3,6	1.10 <sup>5</sup>	10
5	78	4	14,8	0,3	1.10 <sup>5</sup>	2
6	78	4	3 700	0,3	1.10 <sup>5</sup>	10
7	780	40	14 800	3	1.10 <sup>7</sup>	20
8	3,6	1,5	38	-	1.10 <sup>3</sup>	1
9	6,5	0,33	14,8	-	1.10 <sup>3</sup>	2

- 19 -

Tabelle 2

Draht-Nr.	d g/cm	c J/(gK)	$\Delta n$ J/g	$\Delta s$ J/(gK)	$\varepsilon_m$	$\varepsilon_d$	$\rho$ $\Omega m$	Legierungsanteil M %	T <sub>AS</sub> °C
1-4,8	6,35	0,47	17,6	0,0587	0,06	0,01	$8 \cdot 10^{-7}$	44,5 Ni 45,5 Ti 10 Cu	50
5-7,9	7,19	0,46	7,43	0,021	0,04	0,01	$1,05 \cdot 10^{-7}$	3 Ni 13 Al 84 Cu	180

---

B e z e i c h n u n g s l i s t e

---

- 1 Anlenkung von 4
- 2 Druckfeder
- 3 Befestigung von 2
- 4 Kontaktarm
- 5 Anlenkung
- 6 Festkontakt
- 7 Anschlussleitung
- 8 Kontaktende von 4
- 9 Zusachsicherungselement
- 10 mechanische Kopplung
- 11 Zugfeder
- 12 Anlenkung
- 13 Befestigung von 14
- 14 Zugfeder
- 15 untere Halterung von 18
- 16 Masse
- 17 Anschlussleitung
- 18 auslösendes Schaltelement
- 19 obere Halterung von 18
- 20 mechanische Kopplung
- 21 Anlenkung von 23
- 22 Verbindungsleitung
- 23 Fangarm
- 24 Fangende von 37
- 25 Hakenende von 23
- 26 Anlenkung von 37
- 27 Anlenkung
- 28 Verbindungsleitung
- 29 Schubarm
- 30 Schubarm
- 31 Anlenkung

32	Rückstellhebel
33	Anlenkung
34	Zugfeder
35	Befestigung von 34
36	Durchbrechung von 37
37	Winkelarm
38	Thermoschalter
40	Befestigung
41	Wandler
42	Wandler
43	Vergleicher
50	Schalter
A	Austenit
C	spezifische Wärmekapazität
d	relative Dichte
f(t)	zeitabhängige physikalische Grösse
F	Kraft
g	Erdbeschleunigung
G	chemische Energie
h	spezifische Enthalpie
I	elektrische Stromstärke
K	Federkonstante
l	Länge
m	Masse
M	Martensit
q	Querschnittsfläche
Q(t)	zeitabhängige Energie
s	spezifische Entropie
t	Zeit
$t_m$	mechanische Bewegungszeit
T	Temperatur
U	elastische Energie der Feder

$x$	Weg, Auslenkung
$\dot{x}$	Geschwindigkeit
$\ddot{x}$	Beschleunigung
$\ddot{x}_G$	Beschleunigungsgrenzwert
$x_{\max}$	maximale Dehnung
$y$	Schalterausgang, Schaltsignal
$y_1$	Schaltsignal "Ein"
$y_2$	Signal "Aus"
$SZ$	Strom-Zeitintegral
$\alpha$	Dämpfungskonstante
$\varepsilon$	elastische Verformung
$\varepsilon_d$	durch Verformung aufgebrachte relative Formänderung
$\varepsilon_M$	maximale relative Formänderung durch Phasenumwandlung
$\lambda$	Dämpfungskonstante
$\rho$	spezifischer elektrischer Widerstand
$\sigma$	mechanische Spannung
$\sigma_0$	Materialkonstante
$\gamma$	Phasenwinkel
$\omega$	Kreisfrequenz

## P a t e n t o r

## 1. Thermoschalter

- a) mit einem den Schaltvorgang auslösenden Schaltelement (18) aus einer Formgedächtnislegierung
- b) mit mindestens einer mit diesem Schaltelement zusammenwirkenden Schalteinrichtung (14, 16; 11, 14, 16),

5

dadurch gekennzeichnet, dass

- c) dieses Schaltelement thermisch mit einer zu überwachenden, zeitabhängigen physikalischen Grösse  $f(t)$  und
- 10 d) mechanisch mit einer einstellbaren Masse (16) gekoppelt ist und dass
- e) der Thermoschalter in Abhängigkeit vom Ueberschreiten eines vorgebbaren Grenzwertes ( $\ddot{x}_G$ ) der durch eine Temperatur- und Formänderung bedingten Beschleunigung ( $\ddot{x}$ ) in dem Schaltelement (18) eine diese Ueberschreitung kennzeichnende Schaltposition ( $y=y_1$ ; Fig. 8b) einnimmt.

15

2. Thermoschalter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,  
20 dass

- a) das Schaltelement (18) in einem Stromkreis eines zu schaltenden, elektrischen Stromes angeordnet.

## 3. Thermoschalter nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass

- 25 a) das Schaltelement (18) mit einer Auslösevorrichtung (23) eines Schalters (50) gekoppelt ist.

- 2 -

4. Thermoschalter nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) das Schaltelement (18) einseitig unbeweglich gelagert ist und
- 5 b) der Thermoschalter in Abhängigkeit vom Ueberschreiten der Zerreissspannung des Schaltelementes eine dieses Ueberschreiten kennzeichnende Schaltposition ( $y=y_1$ ; Fig. 8b) einnimmt.

5. Verfahren zum Auslösen eines Schaltvorganges

- 10 a) in Abhängigkeit von einer Grenzwertüberschreitung einer zeitabhängigen physikalischen Grösse ( $f(t)$ ),
- b) die unter Verwendung eines Thermoschalters in eine weg- und zeitabhängige Grösse ( $\ddot{x}$ ) transformiert ist, dadurch gekennzeichnet, dass
- 15 c) diese physikalische Grösse in eine wärme- und zeitabhängige Grösse eines Schaltelementes (18) transformiert wird,
- d) dass diese wärme- und zeitabhängige Grösse in eine weg- und zeitabhängige Grösse ( $x(t)$ ) transformiert und
- 20 e) einer Beschleunigungsdetektion ( $\ddot{x}$ ) unterzogen wird, dass
- f) der Beschleunigungswert ( $\ddot{x}$ ) mit einem vorgebbaren Beschleunigungsgrenzwert ( $\ddot{x}_G$ ) verglichen und

- 3 -

- g) in Abhängigkeit vom Ueberschreiten dieses Grenzwertes ein Schaltsignal ( $y=y_1$ ) erzeugt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) der Beschleunigungsgrenzwert ( $\ddot{x}_G$ ) mittels einer Masse (16) eingestellt,
- 5 b) die Masse mit dem Schaltelement (18) starr gekoppelt und
- c) ein Schaltelement (18) aus einer Formgedächtnislegierung verwendet wird, dass
- 10 d) das Schaltelement mit einer Spanneinrichtung (14, 16; 11, 14, 16) zusammenwirkt,
- e) deren auf das Schaltelement ausgeübte Spannung zur Erzeugung einer pseudo-plastischen Verformung und damit zur Erzeugung eines Formgedächtniseffektes in diesem Schaltelement ausreicht.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) für das Schaltelement (18) eine Formgedächtnislegierung mit einem Zweiweg-Gedächtniseffekt verwendet wird.

20 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass

- a) das Schaltelement (18) mit einer Auslösevorrichtung (23) eines Schalters (50) gekoppelt und zusätzlich zu mindestens einem Zusatzsicherungselement (9), das auf andere schutztechnisch relevante Parameter als das Schaltelement (18)

- 4 -

anspricht, verwendet wird.

9. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass

- 5 a) die Anfangstemperatur ( $T_{AS}$ ) des Phasenüberganges der Formgedächtnislegierung des Schaltelementes (18) von der Nieder- zur Hochtemperaturphase durch Wahl der Legierungszusammensetzung und/ oder der mechanischen Vorspannung des Schaltelementes eingestellt wird und dass
- 10 b) diese Anfangstemperatur einem Anfangswert der auf eine Grenzwertüberschreitung zu überwachten physikalischen Grösse ( $f(t)$ ) derart zugeordnet wird, dass nur beim Ueberschreiten eines vorgebbaren Anstiegs dieser physikalischen Grösse ein Schaltsignal ( $y=y_1$ ) ausgelöst wird.
- 15

10. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 5 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass

- 20 a) das Schaltelement (18) von einem zu schaltenden elektrischen Strom durchflossen wird und
- b) ein Schaltsignal erzeugt, wenn der Anfangsanstieg eines Ueberstroms einen vorgebbaren Wert überschreitet.

11. Verfahren nach wenigstens einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass

- 25 a) das Schaltelement (18) einseitig unbeweglich gelagert ist,
- b) als Sicherung wirkt und das Ueberschreiten der Zerreissspannung des Schaltelementes als Kriterium

- 5 -

für das Auslösen des Schaltsignals ( $y=y_1$ ) verwendet wird.

1/4

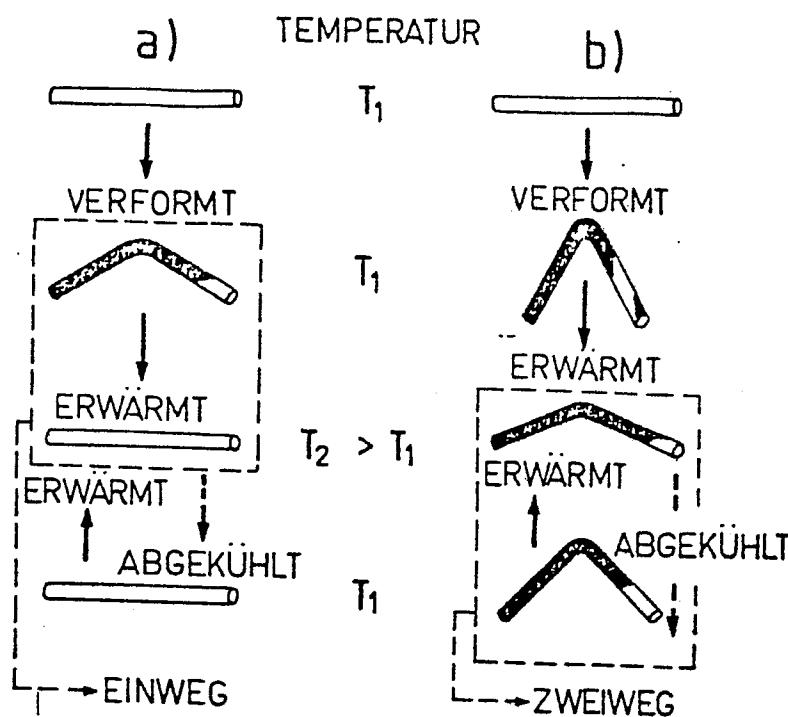


FIG.1

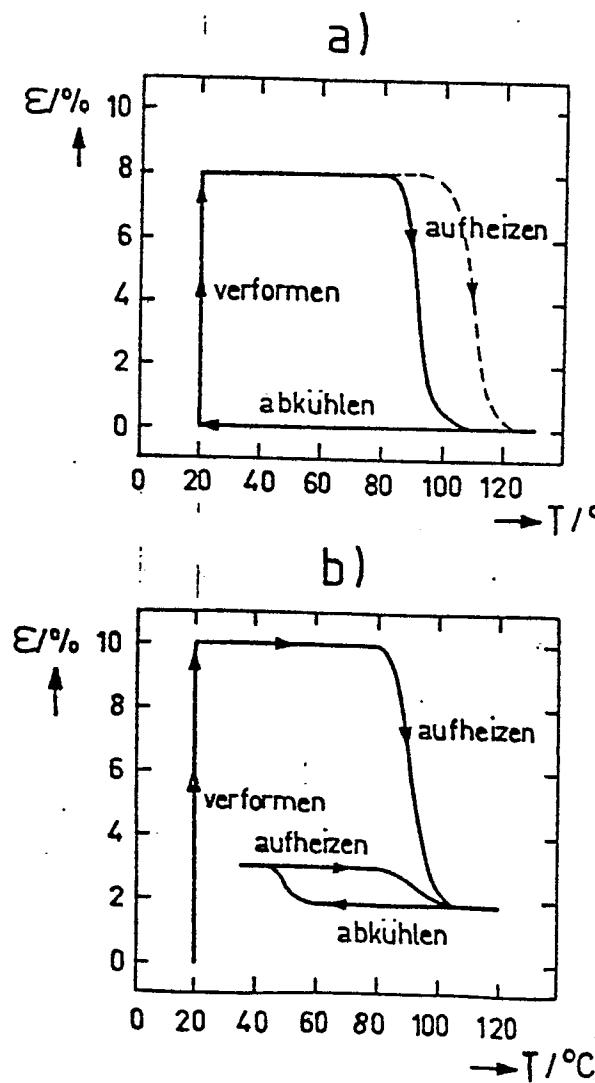


FIG.2

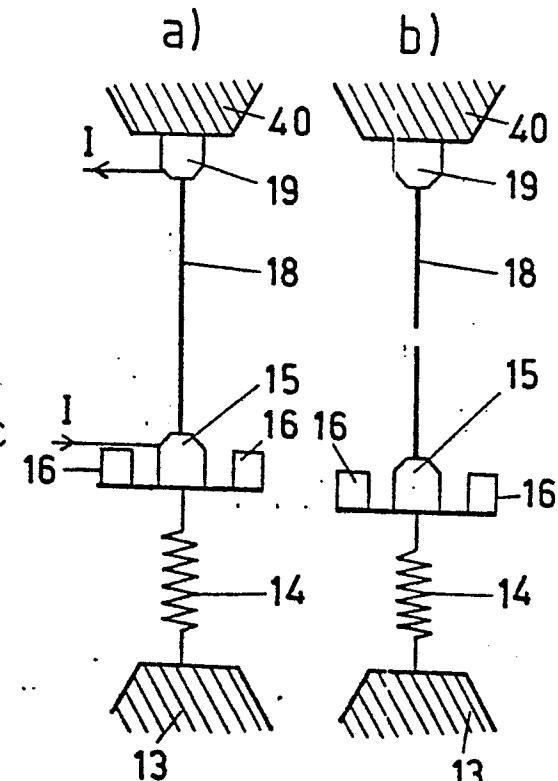


FIG.3

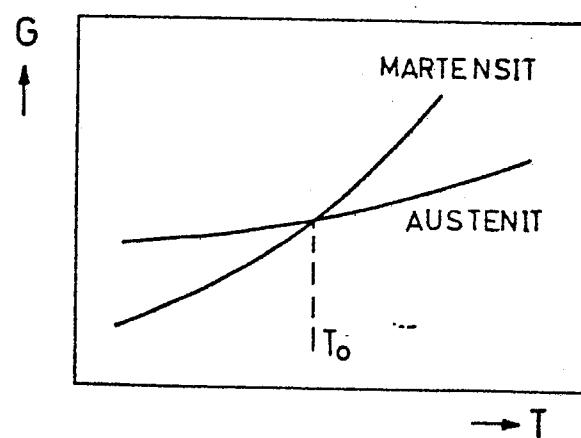


FIG.4

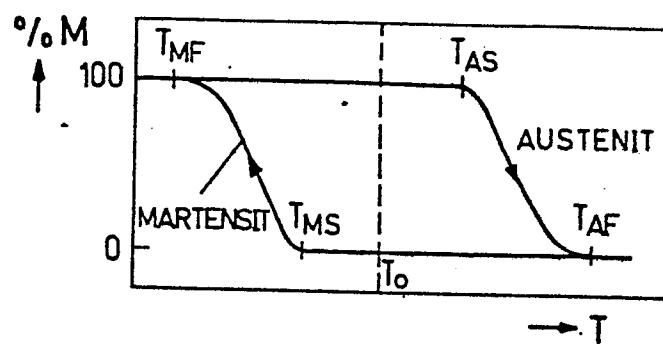


FIG.5

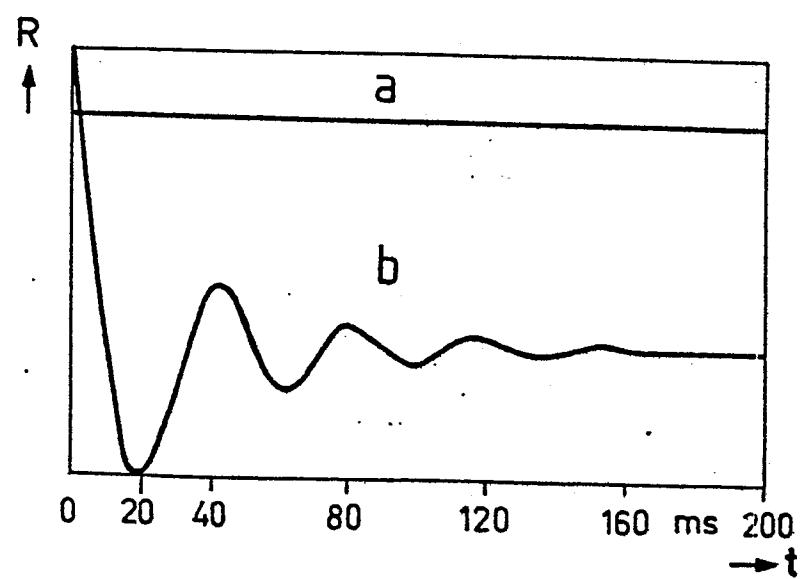


FIG.6

3,13280  
3  
4

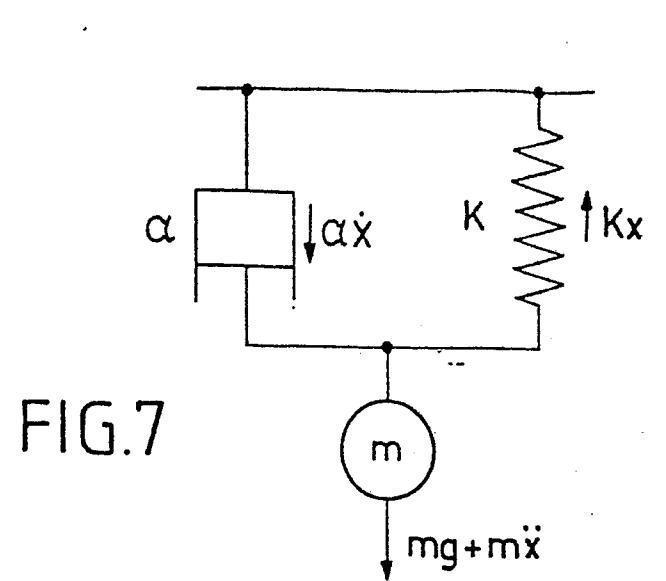


FIG.7

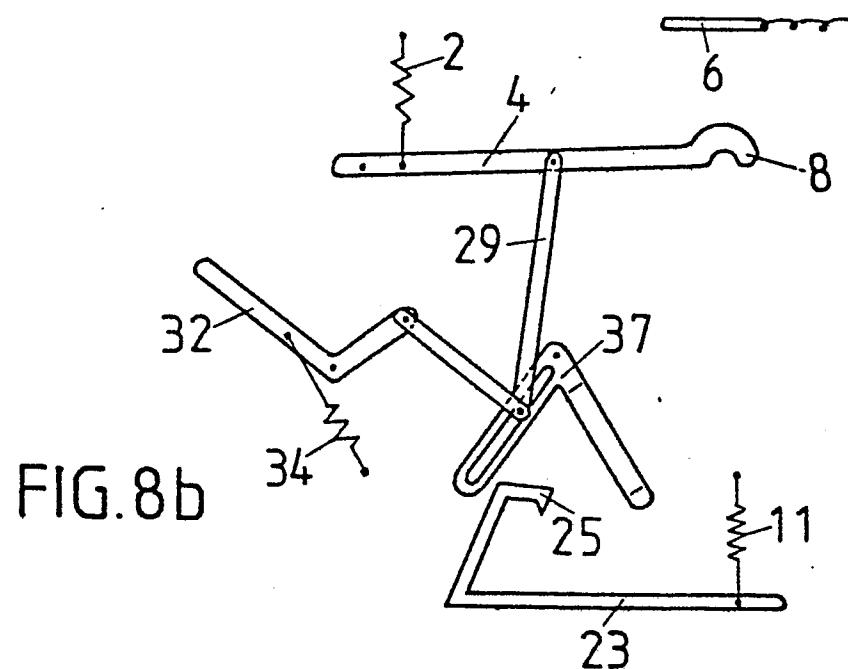


FIG.8b

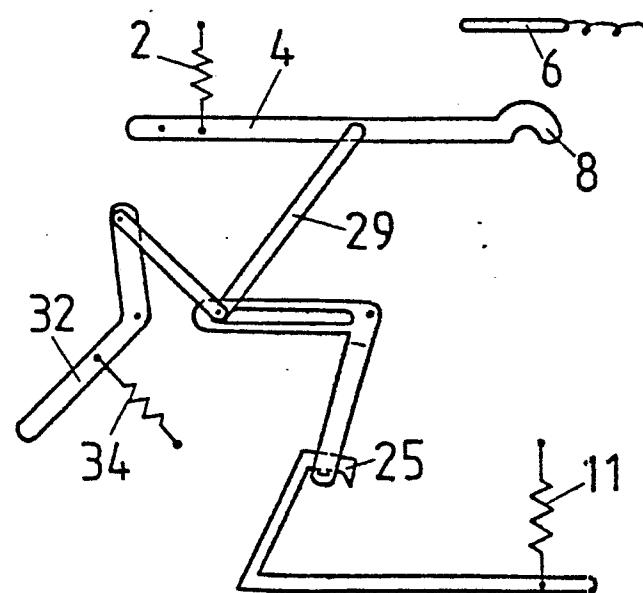


FIG.8c

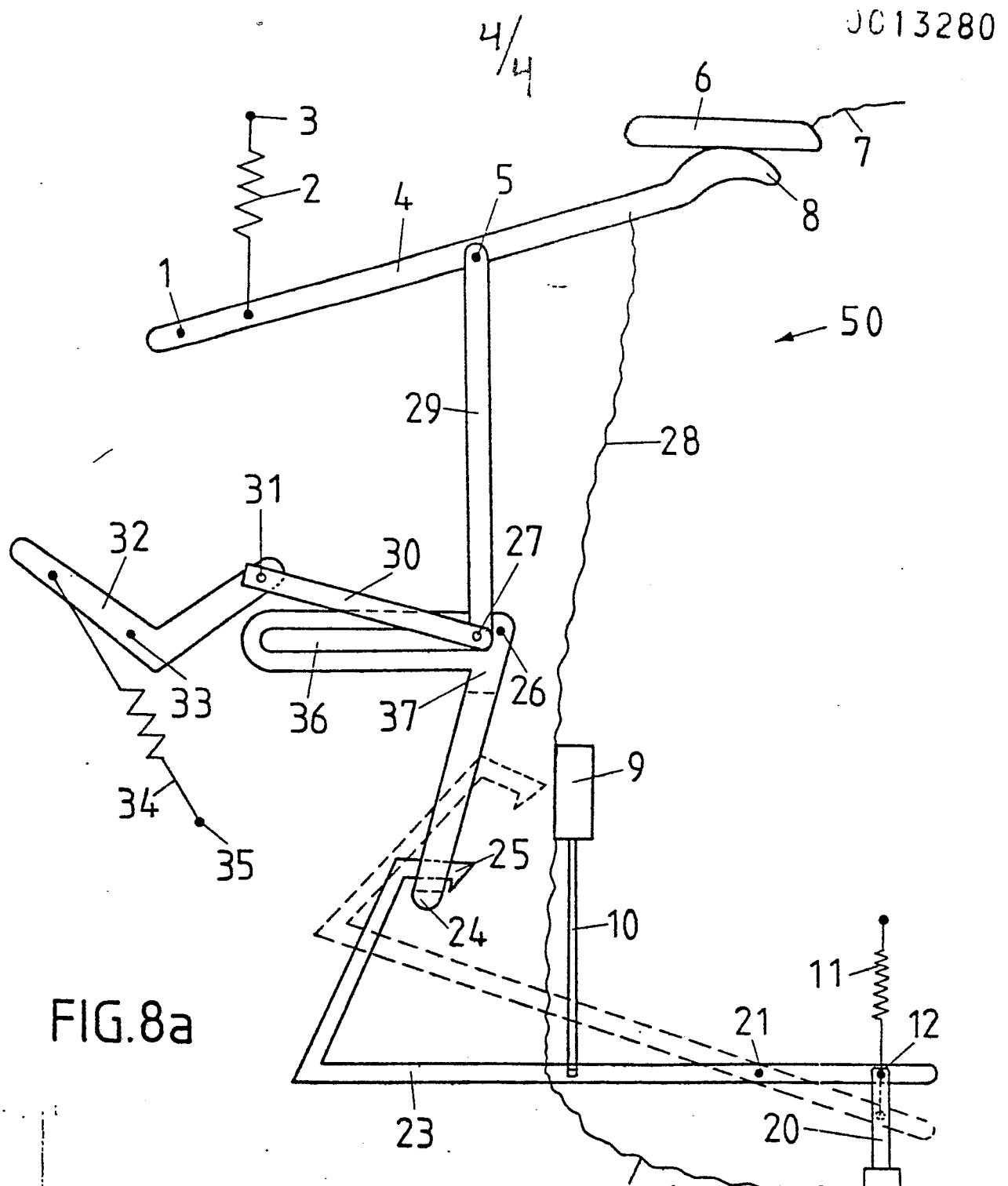
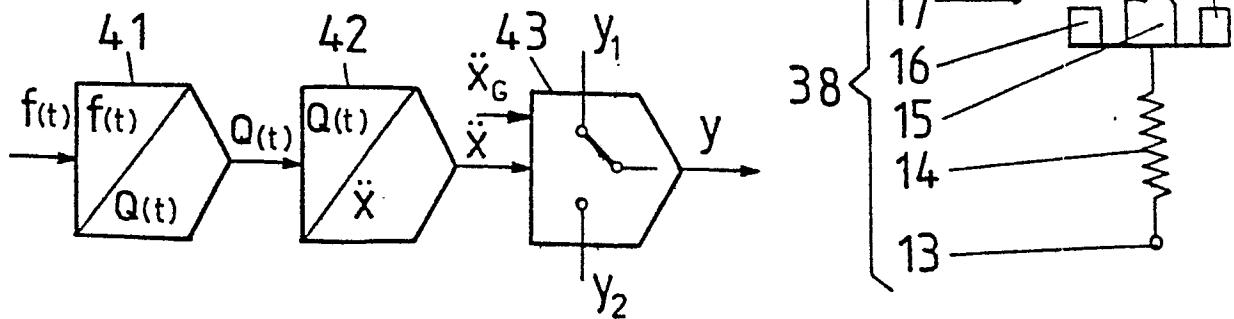


FIG.8a





EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.3)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	betrifft Anspruch	RECHERCHIERTE SACHGEBiete (Int. Cl.3)
	<p><u>DE - A - 2 724 255</u> (BBC AG BROWN, BOVERI &amp; CIE)</p> <p>* Ansprüche 1, 10; Seite 9, Zeile 19 bis Seite 10, Zeile 24; Fig. 1, 7 *</p> <p>---</p>	1-4	H 01 H 71/14 H 01 H 37/46 H 01 H 71/40
D	<p><u>DE - A - 2 701 884</u> (DELTA MATERIALS RESEARCH)</p> <p>* Ansprüche 1, 2, 4 *</p> <p>---</p>	1,2	
D,A	<p><u>DE - A - 2 644 041</u> (BBC AG BROWN, BOVERI &amp; CIE)</p> <p>* ganzes Dokument *</p> <p>---</p>		C 22 F 1/00 H 01 H 37/00 H 01 H 71/00 H 01 H 73/00
D,A	<p><u>DE - A - 2 139 852</u> (BATTELLE - INSTITUT E.V.)</p> <p>* ganzes Dokument *</p> <p>---</p>		
D,A	<p><u>DE - A - 2 026 629</u> (VEREINIGTE FLUGTECHNISCHE WERKE-FOKKER GMBH)</p> <p>* Seite 3, Absatz 2 bis Seite 4, Absatz 1 *</p> <p>---</p>		KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE
A	<p><u>DE - A - 2 516 749</u> (OSAKA UNIVERSITY)</p> <p>* Seite 12, Absatz 2 bis Seite 13, Absatz 1 *</p> <p>-----</p>		<p>X: von besonderer Bedeutung A: technologischer Hintergrund O: nichtschriftliche Offenbarung P: Zwischenliteratur T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E: kolidierende Anmeldung D: in der Anmeldung angeführtes Dokument L: aus andern Gründen angeführtes Dokument &amp;: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>
	<p> Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.</p>		
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
Berlin	23-08-1979	RUPPERT	