



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 199 33 956 B4 2005.11.10**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **199 33 956.2**  
 (22) Anmeldetag: **20.07.1999**  
 (43) Offenlegungstag: **17.02.2000**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **10.11.2005**

(51) Int Cl.7: **H01H 37/32**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(66) Innere Priorität:  
**198 36 354.0 11.08.1998**

(73) Patentinhaber:  
**Siemens AG, 80333 München, DE**

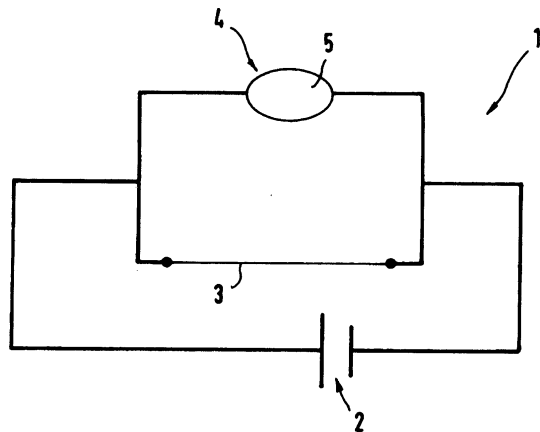
(72) Erfinder:  
**Schröpf, Harald, Dr., 91056 Erlangen, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:  
**DE 195 08 498 C2**  
**DE 35 38 964 C2**  
**DE 30 22 168 A1**  
**DE 88 15 564 U1**  
**WO 98 19 320 A1**  
**JP 01143301 A (abstract). In: Pat. Abstr. of**  
**Japan, E 815, 1989, Nr. 167;**  
**JP 09231891 A (abstract). In: Pat. of Abstracts**  
**[CD-ROM];**

(54) Bezeichnung: **Elektrische Schaltungsanordnung mit Temperaturkompensation für ein Formgedächtnis-Metall**

(57) Hauptanspruch: Elektrische Schaltungsanordnung (1), umfassend

- ein Formgedächtnis-Metall (3), über welches zur Erwärmung und damit zur Formänderung bei einer Umwandlungstemperatur ein Strom führbar ist, wobei der zum Erreichen der Umwandlungstemperatur und damit zum Auslösen der Formänderung notwendige Sollstrom ( $I_{\text{soll}}$ ) mit zunehmender Umgebungstemperatur abnimmt,
- einen parallel zum Formgedächtnis-Metall (3) geschalteten Heißleiter (5), und
- eine Stromquelle (2), die einen konstanten Gesamtstrom ( $I_{\text{ges}}$ ) abgibt, der bei Raumtemperatur der Summe aus dem Sollstrom ( $I_{\text{soll}}$ ) des Formgedächtnis-Metalls (3) und dem Strom ( $I_{\text{Heißleiter}}$ ) des Heißleiters (5) entspricht, wobei zur Kompensation der Abhängigkeit des Sollstroms zum Auslösen der Formänderung von der Umgebungstemperatur die Widerstandscharakteristik des Heißleiters (5) so gewählt ist, dass dieser mit steigender Umgebungstemperatur im Wesentlichen den aufgrund der Temperaturabhängigkeit des Sollstroms überschüssigen Strom aufnehmen kann.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine elektrische Schaltungsanordnung umfassend.

- ein Formgedächtnis-Metall, über welches zur Erwärmung und damit zur Formänderung bei einer Umwandlungstemperatur ein Strom führbar ist,
- und eine Stromquelle zur Bereitstellung des dem Formgedächtnis-Metall zuführbaren Stroms.

### Stand der Technik

**[0002]** In solchen Schaltungsanordnungen können als besondere Bauelemente Schaltelemente oder Aktuatoren verwendet werden, wobei der eigentliche Schaltvorgang, mittels welchem beispielsweise ein Stromkreis geöffnet oder geschlossen wird, mittels der durch vorzugsweise pulsartiges Anlegen eines Stromes erreichbaren Formänderung des Formgedächtnis-Metalls erreicht wird. Solche Metalle, zu meist Legierungen auf Basis eines CuAlNi-Systems oder eines NiTi-Systems werden auch als Memory-Legierungen bezeichnet. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie infolge geeigneter Behandlung aufgrund einer martensitischen Umwandlung ihre Gestalt in Abhängigkeit von der Temperatur ändern. Voraussetzung für das Auftreten des Formgedächtniseffektes ist eine Umwandlung von einer Kristallstruktur in eine martensitische Struktur mit einer bestimmten Stapelfolge. Diese Umwandlung ist reversibel, was darauf zurückzuführen ist, dass bei der Umwandlung des Martensits zum Austenit nur geringe elastische Spannungen entstehen, die praktische keine irreversible Verformung infolge Versetzungsbeziehung bewirken. Bei diesen Formgedächtnis-Metallen wird in der Regel zwischen Einweg- und Zweiwegeeffekt unterschieden. Beim Einwegeffekt wird die ursprüngliche Form nach einer starken, scheinbar plastischen Verformung wieder angenommen, wenn das Metall erwärmt wird. Als Zweiwegeeffekt bezeichnet man die Verformung, bei der das Metall hystereseartig beim Aufheizen und Abkühlen sich in seiner jeweils temperaturbezogene Form ändert, d.h., das Metall nimmt bei Temperaturänderung in einem für jede Legierung charakteristischen Temperaturbereich die jeweils "eintrainierte" Form an.

**[0003]** Wie beschrieben können als gängige Formgedächtnismaterialien vor allem CuAlNi-Legierungen und NiTi-Legierungen genannt werden. Die Größe des Memory-Effektes und die Stabilität der Memory-Eigenschaften von NiTi sind denen von CuAlNi überlegen. Allerdings sind die Umwandlungstemperaturen, also die Temperaturen, bei denen die Verformung beginnt und die auch als "Austenitstart-Temperatur" bezeichnet werden, der NiTi-Legierungen auf maximal 100°C beschränkt. Dagegen weisen Cu-Al-Ni-Legierungen Umwandlungstemperaturen bis ca. 200°C, mitunter auch darüber auf, so dass diese Le-

gierungen auch bei hohen Umgebungstemperaturen (bis ca. 180°C; zum Vergleich: NiTi-Legierungen bis maximal 80°C) eingesetzt werden können. Solche Einsätze sind beispielsweise auf dem Automobilsektor oder im Bereich elektronischer Schaltungstechnik denkbar. Die Stabilität dieser Legierungen gegen Alterung bei erhöhten Temperaturen ist jedoch gering. Infolge der Temperaturbelastung degradieren diese Legierungen, was sich in einem kontinuierlichen Verändern der Umwandlungstemperatur sowie einer geringer werdenden Verformung äußern kann. Um auch bei hohen Schaltzahlen stabile Memory-Eigenschaften zu gewährleisten, muss deshalb eine Überhitzung der Materialien im Betrieb vermieden werden. Solche Überhitzungen treten bei Bauelementen mit einem elektrisch angesteuerten Formgedächtnis-Metall bei erhöhter Umgebungstemperatur auf, da bei der gegenüber der Raumtemperatur deutlich erhöhten Umgebungstemperatur ein gleichbleibender Heizstrompuls über das Formgedächtnis-Metall geführt wird, der zu einer bestimmten Temperaturerhöhung führt, die quasi "additiv" zur ohnehin erhöhten Temperatur hinzutritt, was zur Zerstörung des Bauelements führen kann. Zwar muss zum Schalten die Legierung auf eine bestimmte Temperatur oberhalb der Umwandlungstemperatur erwärmt werden, z.B. 20°–40° höher. Diese "Überhitzung" ist bei den kurzen Schalt- bzw. Erwärmungszyklen auch auf Dauer nicht schädlich. Die Schädigung tritt bei häufiger deutlicher Erwärmung über der Umwandlungstemperatur auf, zu der es bei Einsatz bei erhöhter Umgebungstemperatur aber ohne weiteres kommen kann. Solche erhöhten Umgebungstemperaturen von beispielsweise bis ca. 80°C treten z.B. bei einem Automobil unterhalb der Motorhaube oder aber in Schaltschränken ohne weiteres auf. Ein Einsatz der beschriebenen Bauelemente unter solchen hinsichtlich der Temperatur stark variierenden Bedingungen ist nicht möglich.

**[0004]** Aus der JP 01-143301 A (Abstract) geht ein Aktuator hervor, der ein helixförmig gestaltetes Element aus einer Formgedächtnis-Legierung enthält. Dieses Aktuatorelement ist mittels einer Heizungs-vorrichtung auf eine Umwandlungstemperatur der Legierung aufzuheizen. Um eine temperaturkontrollierte Aufheizung des Aktuatorelementes zu gewährleisten, ist die Heizungs-vorrichtung als ein rohrförmiges, das Aktuatorelement umschließendes Heizelement aus einem PTC-Material gestaltet.

**[0005]** Auch bei dem aus der JP 09-231891 A (Abstract) entnehmbaren Strombegrenzungsunterbrecher ist eine temperaturkontrollierte Aufheizung eines Aktuatorelementes aus einer Formgedächtnis-Legierung vorgesehen. Hierzu ist das Aktuatorelement ebenfalls von einer Heizungs-vorrichtung aus PTC-Material umgeben.

**[0006]** Aus der DE 35 38 964 C2 und der DE 30 22

168 A1 ist es prinzipiell bekannt, temperaturbedingte Schwankungen der elektrischen Messgrößen von Ultraschallwandlern bzw. des Haltestroms von Haftrelais mittels Integration von temperaturabhängigen Widerständen in die Stromkreise dieser Einrichtungen zu eliminieren.

#### Aufgabenstellung

**[0007]** Der Erfindung liegt somit das Problem zugrunde, eine Schaltungsanordnung der eingangs genannten Art anzugeben, deren Formgedächtnis-Metall zumindest innerhalb eines bestimmten Temperaturschwankungsbereichs unter Anwendung eines Heizstroms einsetzbar ist, ohne dass innerhalb dieses Temperaturbereichs betriebsbedingte Überhitzungen zu befürchten sind.

**[0008]** Zur Lösung dieses Problems sollen die in Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen vorgesehen sein.

**[0009]** Bei der Schaltungsanordnung ist also über deren elektrisch ansteuerbares Formgedächtnis-Metall zur Erwärmung und damit zur Formänderung ein Strom, vorzugsweise pulsformig, führbar, wobei eine Strombegrenzung erfolgt, mit der eine unbeabsichtigte Temperaturänderung des Metalls, die in einer Änderung des zum Erreichen einer vorbestimmten Erwärmungstemperatur erforderlichen Stroms resultiert, innerhalb eines unterhalb der Umwandlungstemperatur des Metalls liegenden Temperaturänderungsbereichs zumindest teilweise derart kompensierbar ist, dass bei Anliegen eines unabhängig von der Temperatur konstanten Stroms im wesentlichen lediglich der zum Erreichen der vorbestimmten Erwärmungstemperatur noch erforderliche Strom über das Metall geführt wird.

**[0010]** Mit der erfindungsgemäß vorgesehenen Einrichtung wird vorteilhaft erreicht, dass der überschüssige Stromanteil abgeführt wird und nicht über das Formgedächtnis-Metall fließt, sondern lediglich der Stromanteil, der zur "Resterwärmung" auf die oberhalb der Umwandlungstemperatur liegende "Betriebstemperatur" ausgehend von der erhöhten Temperatur des Metalls noch erforderlich ist. Als "unbeabsichtigte Temperaturänderung" ist dabei eine nicht aktiv bzw. bewusst erzielte Erwärmung des Metalls zu verstehen, die beispielsweise aus einer Erhöhung der Umgebungstemperatur, wie sie z. B. im Motorraum eines Autos beim Betrieb desselben auftritt, vorkommt. Es wird also erreicht, dass über das Metall nur noch der Stromanteil geführt wird, der bei der gegebenen Ist-Temperatur des Metalls erforderlich ist, um es auf die die Verformung herbeiführende Umwandlungstemperatur zu erwärmen. Ein Überhitzen wird hierdurch ausgeschlossen, so dass mit besonderem Vorteil Formgedächtnis-Metalle auch dort einsetzbar sind, wo mit beachtlichen Temperatur-

schwankungen zu rechnen ist, wobei dieser Schwankungsbereich maximal so groß sein kann, wie die Einrichtung im Stande ist zu kompensieren.

**[0011]** Zu einer Strombegrenzung soll erfindungsgemäß ein zum Formgedächtnis-Metall parallel geschalteter Heißleiter vorgesehen sein. Der parallel geschaltete Heißleiter zeichnet sich dadurch aus, dass sein elektrischer Widerstand mit zunehmender Temperatur sinkt und damit der Anteil des Stroms, der über den Heißleiter abfließt, zunimmt. Dieser Leiter wird abhängig von der thermischen Stromkennlinie des Formgedächtnis-Metalls gewählt, d.h., es wird zunächst bestimmt, welcher Strom bei einer bestimmten Ausgangstemperatur des Metalls noch erforderlich ist, um die Resterwärmung bei jeweils konstanter Strompulszeit zu erreichen. Ausgehend von dem hierdurch ermittelbaren Verhalten kann dann der entsprechende Leiter gewählt werden, dessen Widerstandsverhalten eine Kompensation des überschüssigen Stromanteils des bei jeder Temperatur konstant anliegenden Stroms ermöglicht. Dabei sollte zweckmäßigerweise eine Temperaturänderung bis wenigstens 60°C, insbesondere bis wenigstens 80°C – ausgehend von der Raumtemperatur – kompensierbar sein, wobei dies letztlich abhängig vom jeweils verwendeten Formgedächtnis-Metall und den spezifischen Umwandlungstemperaturen ist. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass natürlich auch Ausgestaltungen derart möglich sind, dass bei Verwendung einer CuAlNi-Legierung mit einer Umwandlungstemperatur von ca. 180°C und einem beabsichtigten Einsatztemperaturbereich von z. B. 100–150°C eine Kompensation nur in diesem Temperaturbereich ausreichend ist, da andere, niedrigere Temperaturen im Betriebsfall nicht auftreten und folglich hierfür keine Kompensation vorzusehen ist.

**[0012]** Weitere Vorteile, Merkmale und Einzelheiten der Erfindung ergeben sich aus den im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen sowie anhand der Zeichnungen. Dabei zeigen:

**[0013]** [Fig. 1](#) eine Prinzipskizze einer Schaltungsanordnung eines erfindungsgemäßen Bauelements unter Verwendung eines Heißleiters,

**[0014]** [Fig. 2](#) ein Diagramm zur Darstellung des am Formgedächtnis-Metall anliegenden Soll- und Ist-Stroms bei Verwendung eines Heißleiters bei einer Strompulszeit von 2 Sekunden, und

**[0015]** [Fig. 3](#) ein Diagramm zur Darstellung des am Formgedächtnis-Metall anliegenden Soll- und Ist-Stroms bei Verwendung eines Heißleiters bei einer Strompulszeit von 1 Sekunde.

**[0016]** [Fig. 1](#) zeigt eine prinzipielle Schaltungsanordnung **1** nach der Erfindung mit einem Bauelement, beispielsweise einem Schaltelement oder sonstigen

Aktuator. Die Schaltungsanordnung umfasst eine Stromquelle **2**, mittels welcher ein konstanter Gesamtstrom  $I_{\text{ges}}$  gepulst gebbar ist. Die Schaltungsanordnung umfasst ferner ein Formgedächtnis-Metall **3** in Form eines Drahtes, welcher beispielsweise 10 mm lang und 0,6 mm im Durchmesser sein kann. Über diesen ist zur Erwärmung auf die Umwandlungstemperatur, bei welcher die Formänderung eintritt, ein temperaturabhängiger Soll-Strom  $I_{\text{soll}}$  zu führen, dessen Größe von der Ist-Temperatur des Formgedächtnis-Metalls, die in der Regel von der Umgebungstemperatur vorgegeben ist, abhängig ist. Parallel zu dem Formgedächtnis-Metall **3** ist eine Einrichtung **4** in Form eines Heißleiters **5** geschaltet, über welche der überschüssige Stromanteil ( $I_{\text{Heißleiter}}$ ), welcher nicht zum Erwärmen auf die oberhalb der Umwandlungstemperatur liegende "Betriebstemperatur" erforderlich ist und der in dem Fall, dass er über das Formgedächtnis-Metall fließen würde, zu einer Überhitzung desselben führen würde, geführt wird. Je höher die Ist-Temperatur des Metalls, desto niedriger ist  $I_{\text{soll}}$  und desto höher ist  $I_{\text{Heißleiter}}$ . So wird erreicht, dass unabhängig von der Ist-Temperatur das Metall gerade auf die gewünschte Temperatur erwärmt wird. Die Strombilanz lautet also wie folgt:

$$I_{\text{ges}} = \text{konstant} = I_{\text{soll}} + I_{\text{Heißleiter}}$$

**[0017]** Dabei ist der Heißleiter derart gewählt, dass sich sein Widerstand so ändert, dass mit steigender Temperatur im Wesentlichen der Strom "abgezweigt" wird, der laut  $I_{\text{Heißleiter}} = I_{\text{ges}} - I_{\text{soll}}$  (temperaturabhängig) überschüssig ist.

**[0018]** **Fig. 2** zeigt ein Diagramm, in dem der experimentell ermittelte Soll-Strom  $I_{\text{soll}}$  und der bei Einsatz eines Heißleiters tatsächlich über das Formgedächtnis-Metall fließende Ist-Strom  $I_{\text{ist}}$  aufgetragen sind. Längs der Abszisse ist hier die Temperatur, längs der Ordinate der am Formgedächtnis-Metall anliegende Strom aufgetragen. Verwendet wurde ein Formgedächtnis-Metall aus einer CuAlNi-Legierung mit einer Austenitstart-Temperatur von  $A_s = 160^\circ\text{C}$ . Bei dieser Temperatur beginnt die für die Formänderung verantwortliche Umwandlung des Martensits einen Austenit, die bei der Austenitfinish-Temperatur abgeschlossen ist. Die Temperaturdifferenz beträgt ca. 5 K.

**[0019]** Im Allgemeinen wird die Austenitstart-Temperatur als Umwandlungstemperatur bezeichnet. Die Strompulszeit betrug 2 Sekunden, der anliegende, konstante Gesamtstrom  $I_{\text{ges}}$  betrug 17,26 A. Als Heißleiter wurde ein Heißleiter der Firma Siemens-Matsushita mit der Typenbezeichnung 5464-10M verwendet. Die zum Schalten erforderliche "Betriebstemperatur" liegt bei diesem Beispiel bei ca.  $200^\circ\text{C}$  bei Raumtemperatur.

**[0020]** Wie der Graphik zu entnehmen ist, sinkt der Strombedarf zum Aufheizen des Metalldrahts bei ei-

ner Pulsdauer von 2 Sekunden von 15 A bei  $25^\circ\text{C}$  auf 12,6 A bei  $80^\circ\text{C}$  ( $I_{\text{soll}}$ -Kurve). Solche Schwankungen der Umgebungstemperatur treten zum Beispiel bei Automobilanwendungen ohne weiteres auf. Würde in diesem Fall keine Kompensation erfolgen, würde die Temperatur des Drahtes während des Strompulses bei konstant anliegenden 15 A von ca.  $200^\circ\text{C}$  bei  $25^\circ\text{C}$  auf bis zu  $300^\circ\text{C}$  bei  $80^\circ\text{C}$  steigen. Der Draht würde also stark überhitzt, was zur Degradation bis hin zur Zerstörung führen kann. Bei Verwendung des Heißleiters jedoch zeigt sich, dass der tatsächlich über den Draht fließende Ist-Strom  $I_{\text{ist}}$  annähernd dem Soll-Strom  $I_{\text{soll}}$  entspricht. Wie beschrieben liegt bei jedem Messpunkt ein konstanter Gesamtstrom von 17,26 A an. Infolge der Temperaturänderung ändert sich der Widerstand des Heißleiters, so dass der über diesen fließende Heißleiterstrom  $I_{\text{Heißleiter}}$  steigt, der Ist-Stromanteil nimmt dagegen ab, wie der Figur deutlich zu entnehmen ist. Das Beispiel zeigt, dass in diesem Fall eine hinreichende Kompensation im Temperaturbereich  $25^\circ\text{C}$ – $80^\circ\text{C}$  erreicht wurde. Für den Einsatz bedeutet dies, dass ein solches Bauelement ohne weiteres im Temperaturbereich  $25^\circ\text{C}$ – $80^\circ\text{C}$  eingesetzt werden kann, da bedingt durch die Kompensationswirkung des Heißleiters erreicht wird, dass zumindest in diesem Temperaturbereich an dem Memorymetall nur der zum Erwärmen auf die vorbestimmte Temperatur tatsächlich erforderliche Stromanteil anliegt.

**[0021]** **Fig. 3** zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel mit denselben Versuchskomponenten. Im Gegensatz zum vorbeschriebenen Beispiel betrug hier jedoch die Pulsdauer lediglich 1 Sekunde, der konstant anliegende Gesamtstrom betrug 21 A, war also etwas höher als beim vorbeschriebenen Ausführungsbeispiel, da bedingt durch die wesentlich kürzere Pulszeit mehr Strom zum Erwärmen fließen muss. Bei Betrachtung der Soll-Stromkurve zeigt sich, dass dieser von ca. 20,7 A bei  $25^\circ\text{C}$  auf 16 A bei  $80^\circ\text{C}$  sinkt. Wie der Ist-Stromkurve zu entnehmen ist, wurde auch hier durch Einsatz des Heißleiters, der ebenfalls von der Fa. Siemens-Matsushita stammt, eine hinreichende Strombegrenzung erreicht, die Kurve des Ist-Stroms  $I_{\text{ist}}$  entspricht in guter Näherung der Kurve des Soll-Stroms  $I_{\text{soll}}$ .

### Patentansprüche

1. Elektrische Schaltungsanordnung (1), umfassend
  - ein Formgedächtnis-Metall (3), über welches zur Erwärmung und damit zur Formänderung bei einer Umwandlungstemperatur ein Strom führbar ist, wobei der zum Erreichen der Umwandlungstemperatur und damit zum Auslösen der Formänderung notwendige Sollstrom ( $I_{\text{soll}}$ ) mit zunehmenden Umgebungstemperatur abnimmt,
  - einen parallel zum Formgedächtnis-Metall (3) geschalteten Heißleiter (5), und

– eine Stromquelle (2), die einen konstanten Gesamtstrom ( $I_{\text{ges}}$ ) abgibt, der bei Raumtemperatur der Summe aus dem Sollstrom ( $I_{\text{soll}}$ ) des Formgedächtnis-Metalls (3) und dem Strom ( $I_{\text{Hei\ssleiter}}$ ) des Hei\ssleiters (5) entspricht, wobei zur Kompensation der Abhängigkeit des Sollstroms zum Auslösen der Formänderung von der Umgebungstemperatur die Widerstandscharakteristik des Hei\ssleiters (5) so gewählt ist, dass dieser mit steigender Umgebungstemperatur im Wesentlichen den aufgrund der Temperaturabhängigkeit des Sollstroms überschüssigen Strom aufnehmen kann.

2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Gesamtstrom ( $I_{\text{ges}}$ ) pulsformig zuführbar ist.

3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Temperaturänderungen bis wenigstens  $60^{\circ}\text{C}$ , insbesondere bis wenigstens  $80^{\circ}\text{C}$  kompensierbar ist.

4. Schaltungsanordnung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Formgedächtnis-Metall (3) eine CuAlNi-Legierung oder eine NiTi-Legierung ist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

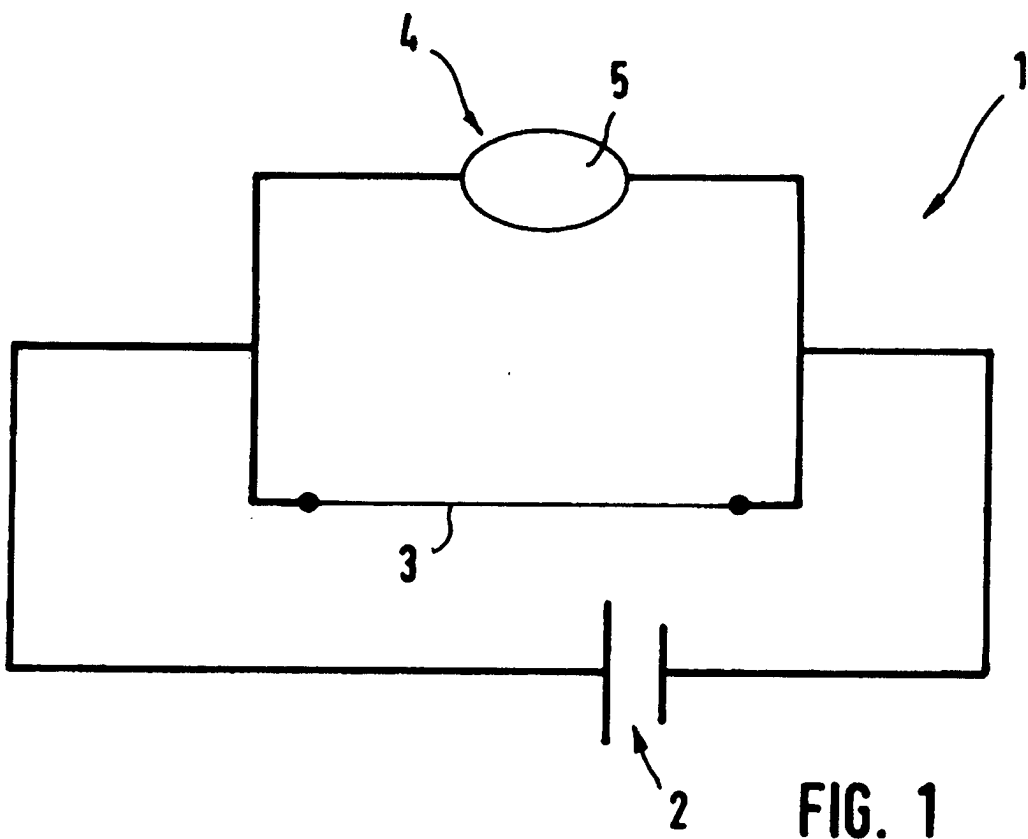


FIG. 1

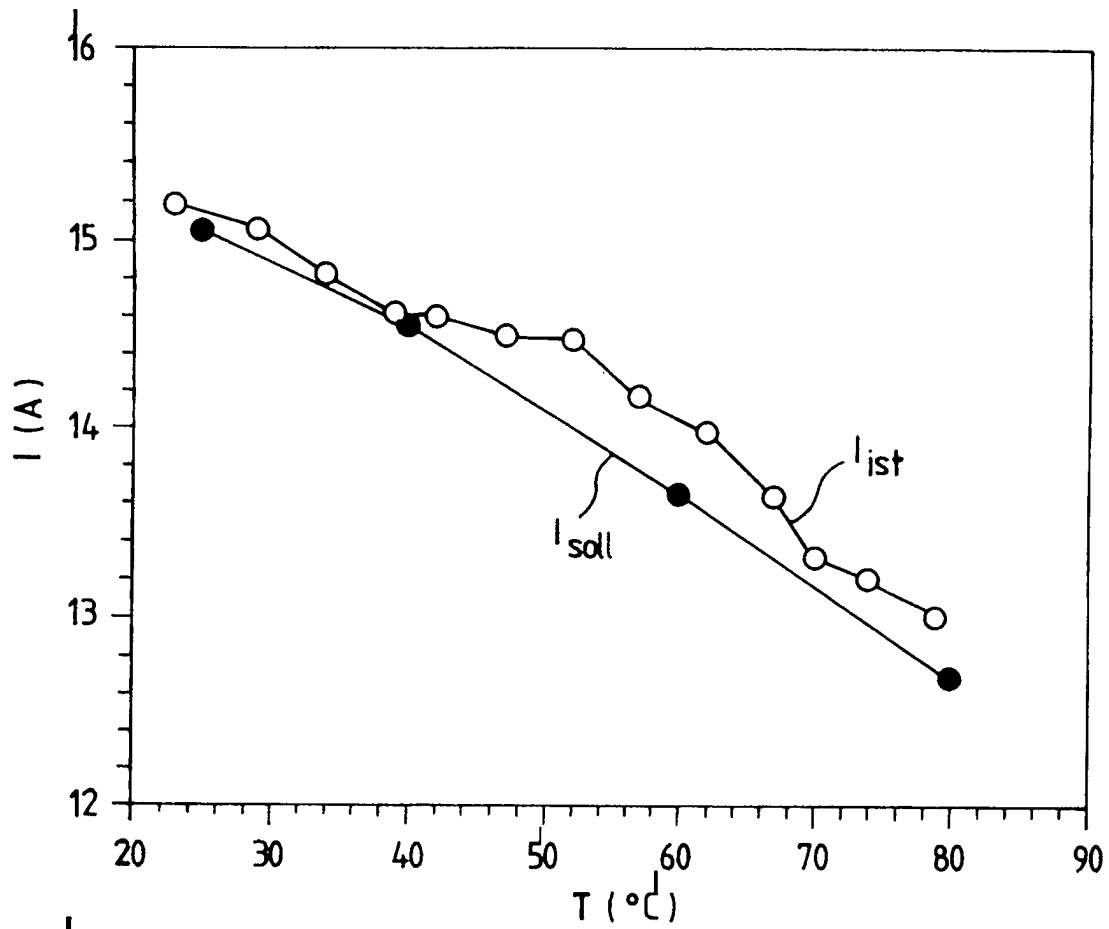


FIG. 2

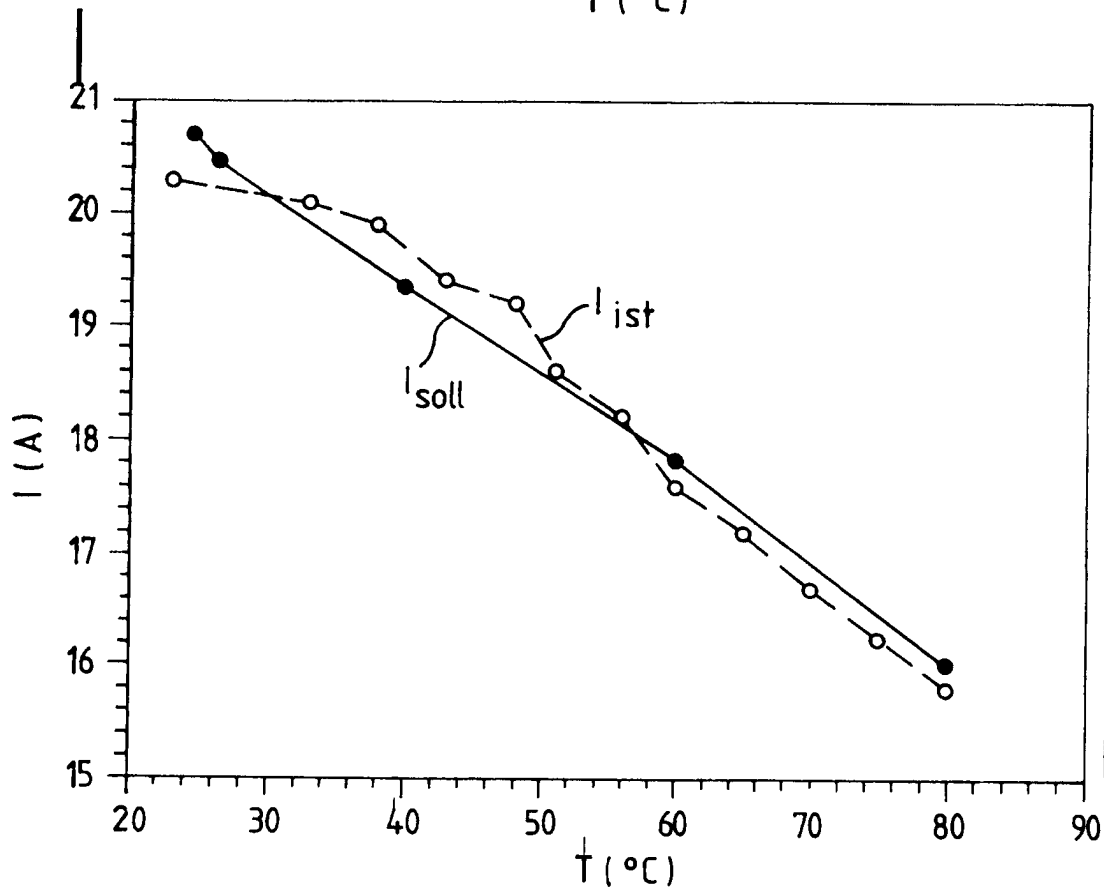


FIG. 3