



SCHWEIZERISCHE EidGENOSSENSCHAFT
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 690 804 A5
 (51) Int. Cl. 7: H 01 F 006/00
 G 01 R 033/38
 G 01 N 024/08

Erfolgspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT A5**

(21) Gesuchsnr.: 02743/96

(73) Inhaber:
Bruker Analytik GmbH, Silberstreifen,
76287 Rheinstetten (DE)

(22) Anmeldungsdatum: 06.11.1996

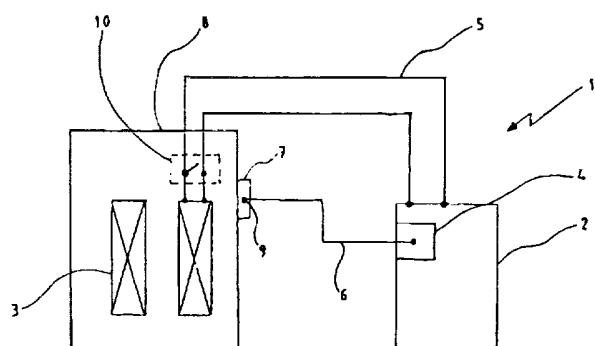
(72) Erfinder:
Gerhard Roth, Am Rain 2c,
76287 Rheinstetten (DE)
Klaus Goebel, Hebelstrasse 1,
76287 Rheinstetten (DE)
René Jeker, Haldenweg 19,
8634 Hombrechtikon (CH)
Markus Jakob, Schwizer Strasse 52,
8610 Uster (CH)

(24) Patent erteilt: 15.01.2001

(74) Vertreter:
Trosesch Scheidegger Werner AG,
Siewertstrasse 95, Postfach, 8050 Zürich (CH)

(54) **Vorrichtung zur Steuerung eines kontrollierten Ladens von supraleitenden Magnetspulen.**

(57) Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (1) zur Steuerung eines kontrollierten Ladens einer supraleitenden Magnetspule (3). Die Vorrichtung (1) ist dadurch gekennzeichnet, dass Kontrollmittel (4) zum Einlesen und Steuern vorgesehen sind, die Daten eines der supraleitenden Magnetspule (3) zugeordneten Speichermediums (7) in ein Netzgerät (2) einlesen, und die anhand der eingelesenen Daten das durch das Netzgerät (2) bewirkte Laden der supraleitenden Magnetspule (3) steuern. Die Vorrichtung (1) ermöglicht ein vollautomatisches, sicheres und schnelles Laden einer supraleitenden Magnetspule (3) und gewährleistet eine bessere Reproduzierbarkeit und einen optimalen Ladevorgang.



Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Steuerung eines kontrollierten Ladens von supraleitenden Magnetspulen mit einem Netzgerät zum Laden einer im Betrieb über einen supraleitenden Schalter kurzgeschlossenen supraleitenden Magnetspule.

Supraleitende Magnetspulen, insbesondere für Kernspinresonanz-Experimente, werden üblicherweise im Dauerstrom-Kurzschluss betrieben. Zur Vorbereitung für den Betrieb eines solchen Magnetsystems wird ein Netzgerät an die Magnetspule angeschlossen, um sie mit Strom zu laden. Danach wird das Netzgerät abgetrennt und entfernt. Der Ladevorgang einer supraleitenden Magnetspule erfordert Sachkenntnis und Erfahrung. Insbesondere muss sehr vorsichtig geladen werden, um ein Quench, d.h. einen Zusammenbruch des supraleitenden Zustands in den normalleitenden Zustand, zu vermeiden. Ein solcher Quench-Vorgang kann zu erheblichen Kühlmittelverlusten führen und kostet Zeit, da diese vor einem neuen Ladevorgang nachgefüllt werden müssen.

Um einen Quench zu vermeiden, ist es wichtig, einem bestimmten Ladeprogramm zu folgen, um die Spule zuverlässig und dennoch zügig aufzuladen. Zudem sind die Eigenschaften einer bestimmten Spule, beispielsweise ihre Feld-Homogenität und -Stabilität, möglicherweise durch den Ladevorgang beeinflusst. Um die höchstmögliche Homogenität des Feldes einer bestimmten Spule zu erreichen, ist das Laden gemäß einem genau dieser Spule individuell zugeordneten Verfahren durchzuführen. Dies wird üblicherweise anhand eines Ladeprotokolls durchgeführt. Dieses bestimmte Ladeverfahren wird per Hand beispielsweise von einem Techniker durchgeführt. Je nach Erfahrung und Zuverlässigkeit des Technikers ist es möglich, dass das Netzgerät so betrieben wird, dass der Magnet nicht optimal geladen wird bzw. dass das Ladeverfahren erheblich längere Zeit in Anspruch nimmt. Zudem ist die Reproduzierbarkeit des Ladens nicht mit Sicherheit gewährleistet, und ein Quench des Magnetsystems ist durch ein falsches Laden der Spule möglich.

Demzufolge ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung der obengenannten Art derart weiterzubilden, dass die Sicherheit, Qualität und Schnelligkeit beim Laden der Magnetspule verbessert werden.

Diese Aufgabe wird dadurch gelöst, dass Kontrollmittel zum Einlesen und zum Steuern vorgesehen sind, die Daten eines dem supraleitenden Magneten zugeordneten Speichermediums in das Netzgerät einlesen und die anhand der eingelesenen Daten das Laden der supraleitenden Magnetspule durch das Netzgerät steuern.

Auf diese Weise wird die Aufgabe der Erfindung vollständig gelöst. Das jeweils einer bestimmten Magnetspule zugeordnete Speichermedium enthält Magneten zugeordnete Speichermedien in das Netzgerät einlesen und die anhand der eingelesenen Daten das Laden der supraleitenden Magnetspule durch das Netzgerät steuern.

dass jede Spule mit dem für sie optimal geeigneten Aufladeverfahren geladen wird. Auf diese Weise ist ein falsches Laden der Magnetspule unmöglich, und ein optimales Laden kann auch vollautomatisch durchgeführt werden. Der betreuende Techniker ist frei, andere Aufgaben während des Ladevorgangs durchzuführen, und eine sichere und wiederholbare Ladung ist dennoch gewährleistet.

Die supraleitende Magnetspule ist in einem Kryostaten angeordnet, und es ist vorteilhaft, wenn das Speichermedium mindestens einen Anschluss aufweist, der außerhalb des Kryostaten zugänglich angeordnet ist, und der mit dem Netzgerät, beispielsweise über ein Kabel, verbunden werden kann. Diese Massnahme hat den Vorteil, dass das Speichermedium auch permanent außerhalb des Kryostaten angeordnet sein kann, wobei das Speichermedium und der dazugehörige Magnet immer fest miteinander in Verbindung stehen. Dadurch, dass das Speichermedium Anschlüsse, die außerhalb des Kryostaten zugänglich angeordnet sind, aufweist, wird eine einfache Verbindung zwischen dem Netzgerät und dem Magnetsystem, beispielsweise über ein Kabel gewährleistet, wobei die in dem Speichermedium gespeicherten Ladedaten der supraleitenden Magnetspule an das Netzgerät weitergegeben werden können.

Vorteilhafterweise weist das Speichermedium ein EPROM auf. Dies hat den Vorteil eines herkömmlichen und kommerziell zugänglichen Speicherelements.

Ausführungsformen sind auch möglich, bei denen das Speichermedium einen Strichcode aufweist. Dies hat den Vorteil, dass eine optische Auslesung der in dem Speichermedium gespeicherten Informationen mittels bekannter Techniken stattfinden kann. Ein Aufkleber mit Strichcode kann besonders einfach am Kryostaten angebracht werden. Er ist unmagnetisch und kann mit einem Lichtgriffel abgelesen werden. Einige Spektrometer weisen bereits Streifencode-Einrichtungen auf.

Es ist vorteilhaft, wenn das Speichermedium ein Steuerprogramm zum kontrollierten Laden der Magnetspule enthält. Dies hat den Vorteil, dass jede Magnetspule ihren individuell optimalen Ladevorgang gewissermaßen physisch bei sich trägt, wobei nur minimale Informationen im Netzgerät gespeichert werden müssen und die für das Laden einer bestimmten Magnetspule notwendigen Anweisungen auf dem der Magnetspule zugeordneten Speichermedium gespeichert und beispielsweise mechanisch mit dem Kryostaten der Spule verbunden sind.

Es ist vorteilhaft, wenn die Kontrollmittel derart ausgebildet sind, dass das Laden erst stattfinden kann, nachdem eine elektrische Verbindung zwischen den Kontrollmitteln und dem Speichermedium besteht. Dies hat den Vorteil, dass unbefugtes oder unkorrektes Laden des Magneten unmöglich ist. Auf diese Weise wird das Netzgerät erst steuerbar, nachdem gewisse auf dem Speichermedium gespeicherte Informationen bzw. Befehle oder Grenzwerte von den Kontrollmitteln erfasst wurden.

Es ist besonders vorteilhaft, wenn das Laden der supraleitenden Magnetspule völlig automatisch er-

folgt. Dies hat den Vorteil, dass ein Techniker den Ladevorgang nicht nachteilig beeinflussen kann. Dies hat auch den Vorteil, dass ein durch menschliches Versehen falsches Laden der Spule nicht möglich ist.

Es ist vorteilhaft, wenn eine elektronische Verriegelung zum Unterbinden des Ladens vorgesehen ist. Dies hat den Vorteil, dass nur ein Laden möglich ist, das durch das Speichermedium bzw. das Kontrollmedium kontrolliert wurde, wobei ein aus Versehen falsches Laden der Spule sicher vermieden wird.

In einem Ausführungsbeispiel der erfindungsgemässen Vorrichtung ist eine Sperre für unzulässige Ladeschritte vorgesehen, die zu einem falschen bzw. schädlichen Laden des Magneten führen könnten.

In einer Weiterbildung dieses Ausführungsbeispiels sind Grenzwerte, beispielsweise für Spannung und/oder Strom vorgesehen. Dies hat den Vorteil, dass dem Benutzer eine gewisse Freiheit gelassen wird, in den Ladevorgang einzutreten. Nur in gewissen Fällen, wo bestimmte Grenzwerte, die möglicherweise für das Laden gefährlich oder negativ sein könnten, überschritten werden, springt das Ladeprogramm ein, um solche Schritte zu verbieten.

Es ist möglich, dass die Kontrollmittel mindestens vorzugsweise eine Reihe von verschiedenen, jeweils zu einem oder mehreren bestimmten Spulen zugeordneten Ladeprogrammen vorgespeichert haben können. Auf diese Weise ist es möglich, für jede Spule ein Speichermedium zu verwenden, das nur eine sehr eingeschränkte Speicherkapazität aufweisen muss. Dadurch ist der erforderliche Speicherplatz auf dem Speichermedium klein, und es ist einfach, das entsprechende Speichermedium dem supraleitenden Magneten permanent zuzuordnen, z.B. am Kryostaten anzubringen.

Es ist vorteilhaft, wenn das Speichermedium permanent mit einem den supraleitenden Magneten enthaltenden Kryostaten verbunden ist. Dies hat den Vorteil, dass das Speichermedium durch eine mechanisch feste Verbindung permanent der bestimmten Magnetspule zugeordnet ist.

Es ist vorteilhaft, wenn ein Ladeprogramm veränderbar gespeichert ist. Dies hat den Vorteil, dass veränderliche Eigenschaften des supraleitenden Magneten berücksichtigt werden können.

Es ist vorteilhaft, wenn das Ladeprogramm durch auf dem Speichermedium gespeicherte Ladeparameter definiert ist. Dies hat den Vorteil, dass die Parameter, die dieses bestimmte Protokoll definieren, einen begrenzten Speicherplatz auf dem Speichermedium benötigen.

In einem Ausführungsbeispiel ist ein Ladeprogramm vorgesehen, das ein Laden mit sich kontinuierlich und weitgehend stufenlos ändernden Parametern ermöglicht. Dies hat den Vorteil, dass ein allmähliches schonendes Laden des Magneten stattfinden kann, ohne dass ein Techniker ständig Schritt für Schritt die Spannung bzw. Stromzufuhr des Netzgerätes einstellen muss.

Es ist vorteilhaft, wenn die erfindungsgemässen Vorrichtung zum Laden des Magneten eines Kern-

resonanzspektrometers verwendet wird. Kernresonanzspektrometer, insbesondere für Hochfeld- bzw. Hochauflösungsanwendungen, benötigen optimale Homogenitäten, wobei das Ladeverfahren besonders sorgfältig durchgeführt werden muss.

Ein Verfahren zum Betrieb der erfindungsgemässen Vorrichtung ist gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:

- 10 a) das Netzgerät wird über Stromleitungen mit der supraleitenden Magnetspule verbunden;
- b) vom Speichermedium werden Daten in die Kontrollmittel im Netzgerät eingelesen;
- c) der supraleitende Schalter wird geöffnet;
- 15 d) die supraleitende Magnetspule wird entsprechend der in die Kontrollmittel eingelesenen Daten vom Netzgerät automatisch geladen;
- e) der supraleitende Schalter wird geschlossen und der Ladestrom wird vom Netzgerät auf Null reduziert;
- 20 f) die Stromleitungen werden von der supraleitenden Magnetspule abgezogen.

Das Verfahren hat den Vorteil, dass den Eigenschaften der erfindungsgemässen Vorrichtung auf eine optimale Art und Weise Rechnung getragen wird, um ein sicheres und wiederholbares Laden der Magnetspule zu gewährleisten.

Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter aufgeführten Merkmale erfindungsgemäss jeweils einzeln für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschliessende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

- Es zeigt:
- 40 Fig. 1 eine schematische Darstellung der erfindungsgemässen Vorrichtung;
 - Fig. 2a eine Spannung-gegen-Ladezeit-Kurve für ein Ladeprogramm; und
 - 45 Fig. 2b eine entsprechende Magnetfeldstärke-gegen-Ladezeit-Kurve nach Fig. 2a.

Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemässen Vorrichtung 1. Die Vorrichtung 1 weist ein Netzgerät 2 sowie eine supraleitende Magnetspule 3 auf. Die supraleitende Magnetspule 3 ist in einem Kryostaten 8 angeordnet und über Stromkabel 5 leitend während des Stromaufladevorganges mit dem Netzgerät 2 verbunden. Die Vorrichtung 1 weist ein aussen am Kryostaten 8 fest angebrachtes Speichermedium 7 sowie in das Netzgerät 2 integrierte Kontrollmittel 4 auf. Die Kontrollmittel 4 und das Speichermedium 7 sind über Kontrollkabel 6 elektronisch miteinander verbunden.

Um die Magnetspule 3 zu laden, wird sie an das Netzgerät 2 über das Stromkabel 5 angeschlossen und das Speichermedium 7 mit den Kontrollmitteln 4 über das Kontrollkabel 6 verbunden. Die Kontrollmittel 4 lesen über das Kontrollkabel 6 die auf dem Speichermedium 7 gespeicherten Befehle bzw. Da-

ten. Durch das Auslesen dieser Daten wird von den Kontrollmitteln 4 erfasst, welcher bestimmte Ladevorgang für die dem Speichermedium 7 zugeordnete supraleitende Magnetspule 3 vorzunehmen ist. Auf diese Weise wird ein bestimmtes Ladeprogramm mittels der Kontrollmittel 4 ausgewählt und die Kontrollmittel 4 steuern die Spannungs- bzw. Stromwerte des Netzgerätes 2, um ein Laden der supraleitenden Magnetspule 3 über Stromkabel 5 auf eine gewünschte Art und Weise durchzuführen. Nachdem der Ladevorgang zufriedenstellend abgeschlossen wurde, wird noch vom Ladeprogramm gesteuert, die supraleitende Magnetspule 3 über Schalter 10 kurzgeschlossen, der Ladestrom heruntergefahren und dann vom Techniker auf bekannte Art und Weise das Stromkabel 5 sowie das Kontrollkabel 6 vom Magnetsystem bzw. dem Speichermedium 7 entfernt. Der supraleitende Magnet 3 ist demzufolge mit dem richtigen supraleitenden Strom geladen, und das Netzgerät 2 steht zum Laden anderer supraleitender Magneten zur Verfügung.

In Fig. 2a ist eine typische Ladekurve gezeigt. Die Spannungswerte U werden über die Ladezeit auf eine kontrollierte Art und Weise geändert. Gemäß dem Stand der Technik werden manuell üblicherweise bestimmte Ladestufen 20 in der Spannung-gegen-Ladezeit-Kurve eingefügt. Mit dem erfundungsgemäßen Ladesystems ist ein quasi-kontinuierliches Laden des Magneten nach Kurve 21 möglich. Dies kann auch dadurch erfolgen, dass Stützpunkte 22 beispielsweise im Speichermedium 7 gespeichert werden, und dass die Kontrollmittel 4 eine Interpolation zwischen diesen Stützpunkten 22 durchführen. Typische Spannungswerte betragen 3 Volt oder weniger, und typische Ladezeiten können 1–4 Stunden betragen.

Fig. 2b zeigt eine typische Änderung des magnetischen Feldes eines supraleitenden Magneten 3 gegen die Ladezeit, die beispielsweise nach Fig. 2a zustande kommen kann. Nachdem die gewünschte B-Feldstärke erreicht ist, wird der Ladevorgang abgeschlossen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Steuerung eines kontrollierten Ladens von supraleitenden Magnetspulen mit einem Netzgerät zum Laden einer im Betrieb über einen supraleitenden Schalter kurzgeschlossenen supraleitenden Magnetspule, dadurch gekennzeichnet, dass im Netzgerät (2) Kontrollmittel (4) vorgesehen sind, die Daten eines der supraleitenden Magnetspule (3) zugeordneten Speichermediums (7) einzulesen, und die anhand der eingelesenen Daten das durch das Netzgerät (2) bewirkte Laden der supraleitenden Magnetspule (3) steuern.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die supraleitende Magnetspule (3) in einem Kryostaten (8) angeordnet ist, und dass das Speichermedium (7) mindestens einen Anschluss (9) aufweist, der ausserhalb des Kryostaten (8) zugänglich angeordnet ist, und der beispielsweise über ein Kabel (6) mit dem Netzgerät (2) verbindbar ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch

gekennzeichnet, dass das Speichermedium (7) ein EPROM aufweist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Speichermedium (7) einen Strichcode aufweist.

5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Speichermedium (7) ein Steuerprogramm zum kontrollierten Laden der Magnetspule (3) enthält.

10. 6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontrollmittel (4) derart ausgebildet sind, dass das Laden erst gestartet werden kann, nachdem die Daten in die Kontrollmittel (4) eingelesen wurden.

15. 7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1, 2, 3, 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Laden nur möglich ist, solange eine elektrische Verbindung zwischen den Kontrollmitteln (4) und dem Speichermedium (7) besteht.

20. 8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Laden der supraleitenden Magnetspule (3) völlig automatisch erfolgen kann.

25. 9. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Netzgerät (2) eine elektrische Verriegelung zum Unterbinden des Ladens vorgesehen ist.

30. 10. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Netzgerät (2) eine Sperre für unzulässige Ladeschritte vorgesehen ist.

35. 11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass im Netzgerät (2) Grenzwerte für Spannung und/oder Strom vorgesehen sind.

12. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontrollmittel (4) mindestens ein vollständig vorgespeichertes Ladeprogramm enthalten.

40. 13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die supraleitende Magnetspule (3) in einem Kryostaten (8) angeordnet ist, und dass das Speichermedium (7) permanent an der Aussenseite des Kryostaten (8) angebracht ist.

45. 14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Speichermedium (7) beschreibbar ist.

15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ladeprogramm durch auf dem Speichermedium (7) gespeicherte Ladeparameter definiert ist.

50. 16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Ladeprogramm gespeichert ist, das ein Laden mit einem kontinuierlichen, weitgehend stufenlosen Verlauf der Ladespannung ermöglicht.

55. 17. Kernresonanzspektrometer mit einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16.

18. Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, gekennzeichnet durch die folgenden Verfahrensschritte:

a) das Netzgerät (2) wird über Stromleitungen (5) mit der supraleitenden Magnetspule (3) verbunden;

b) vom Speichermedium (7) werden Daten in die Kontrollmittel (4) im Netzgerät (2) eingelesen;

- c) der supraleitende Schalter (10) wird geöffnet;
- d) die supraleitende Magnetspule (3) wird entsprechend der in die Kontrollmittel (4) eingelesenen Daten vom Netzgerät (2) automatisch geladen;
- e) der supraleitende Schalter (10) wird geschlossen und der Ladestrom wird vom Netzgerät (2) auf Null reduziert;
- f) die Stromleitungen (5) werden von der supraleitenden Magnetspule (3) abgezogen.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

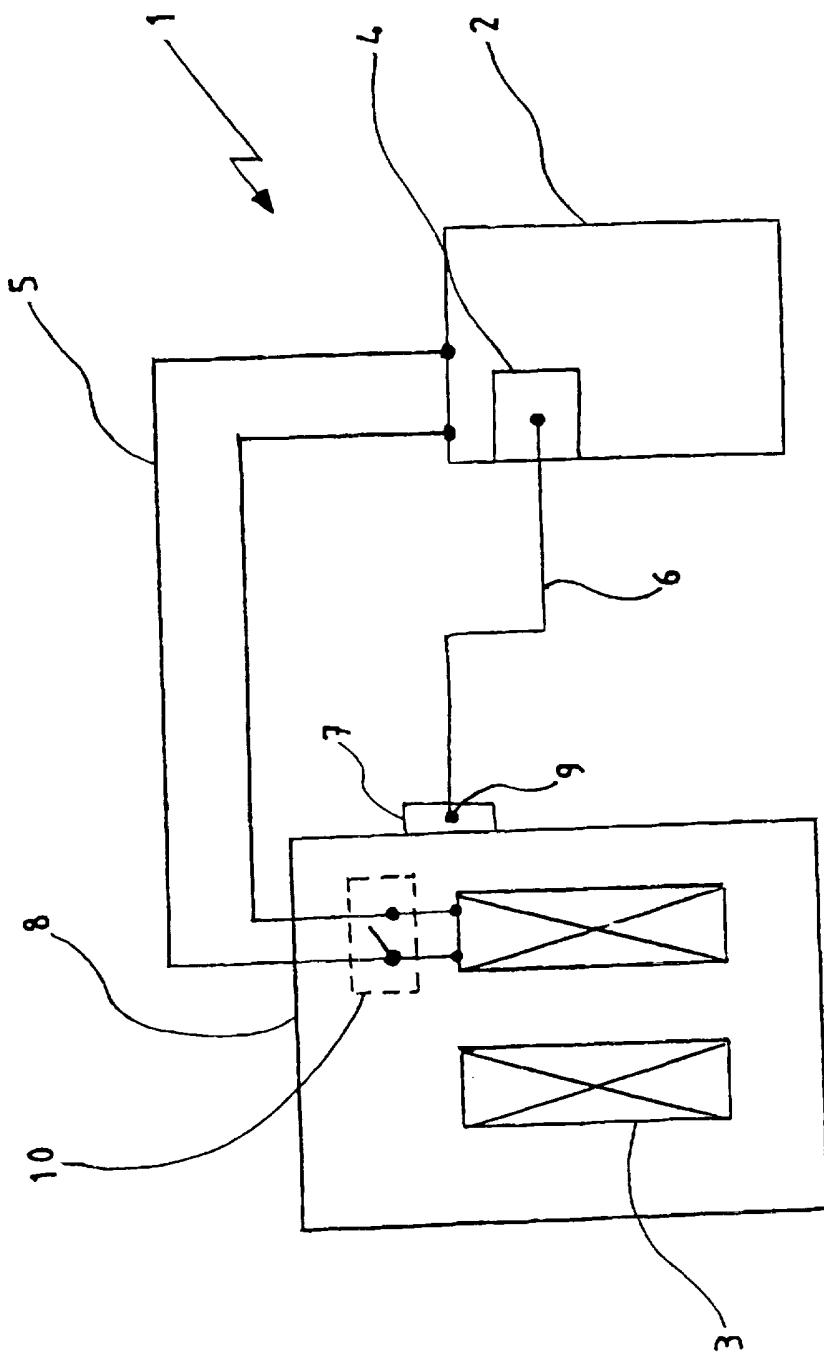


Fig. 1

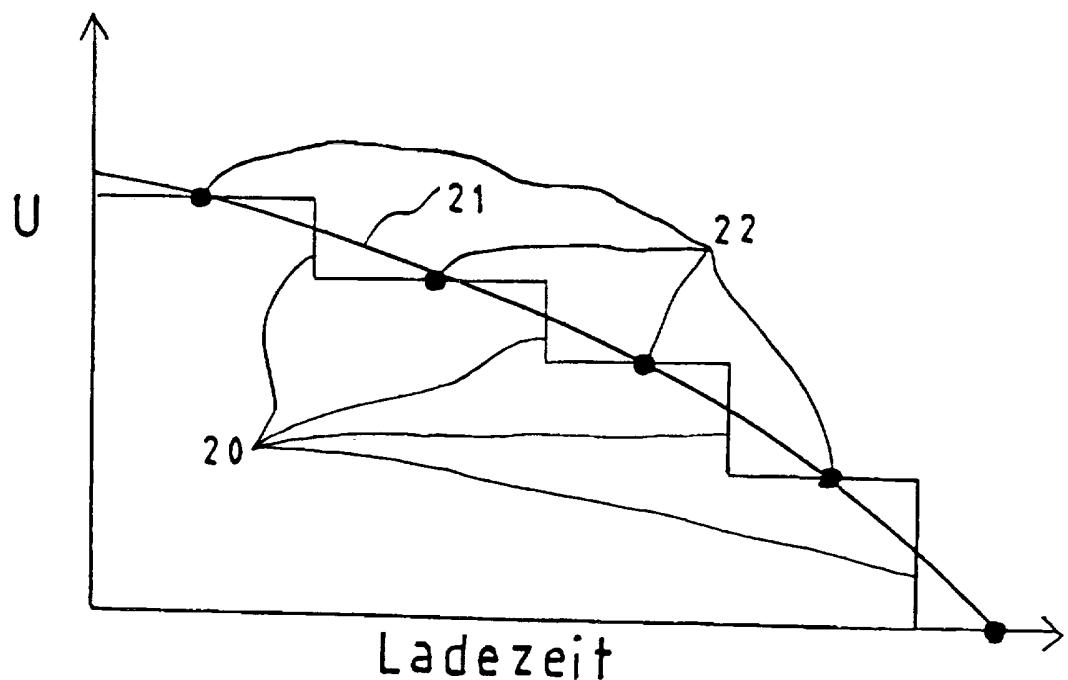


Fig. 2a

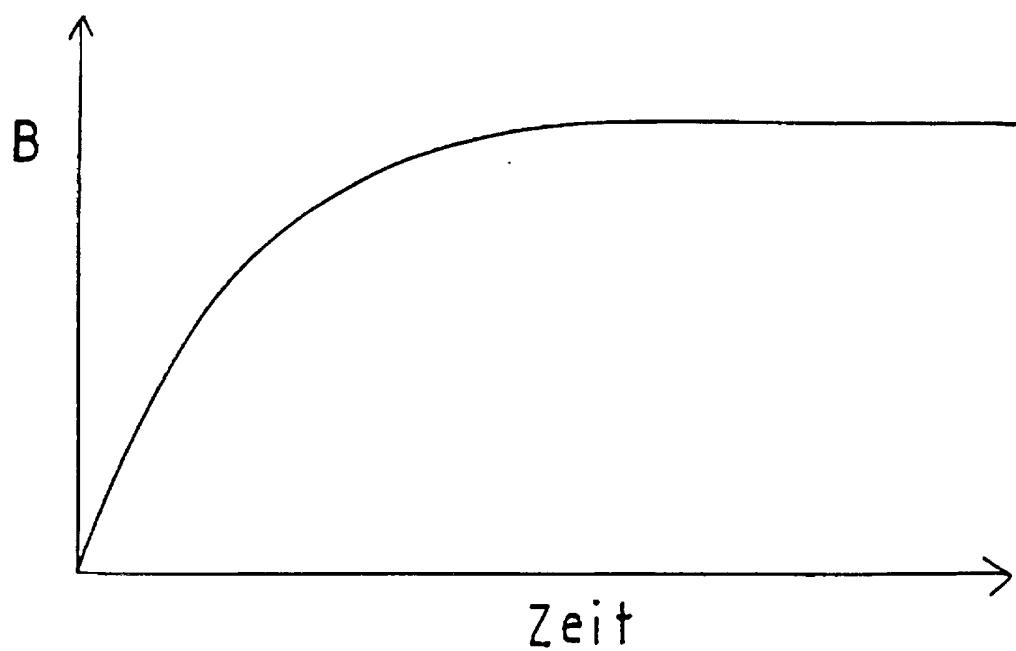


Fig. 2b