



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

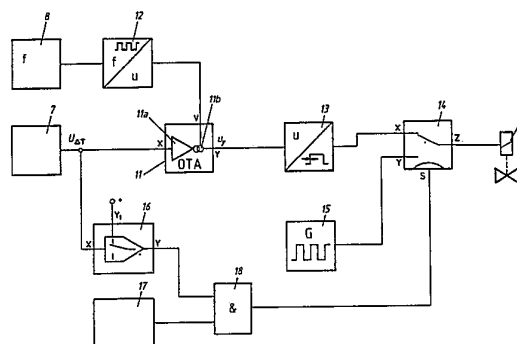
(12) PATENTSCHRIFT A5

- | | | | | |
|----|----------------------------------|-----------------------|----|--|
| ②① | Gesuchsnummer: | 5195/84 | ⑦③ | Inhaber:
Berthold Hermle KG, Gosheim (DE) |
| ②② | Anmeldungsdatum: | 31.10.1984 | | |
| ③⑩ | Priorität(en): | 01.12.1983 DE 3343516 | ⑦② | Erfinder:
Kroiss, Wolfgang, Wehingen (DE)
Bernlöhr, Paul, Spaichingen (DE)
Ulber, Hans-Christoph, Wehingen (DE) |
| ②④ | Patent erteilt: | 15.01.1988 | | |
| ④⑤ | Patentschrift
veröffentlicht: | 15.01.1988 | ⑦④ | Vertreter:
Dipl.-Ing. H.R. Werffeli, Zollikerberg |

(54) Kühlzentrifuge mit auswechselbaren Rotoren.

(57) Diese Kühlzentrifuge ist mit auswechselbaren Rotoren unterschiedlichen Wärmeentwicklungsvermögens sowie einer mit Hilfe einer Regelschaltung regulierbaren Kühleinrichtung versehen. Die Regelschaltung weist ein die Isttemperatur feststellenden Temperaturfühler (7), einen Vergleicher (7), welcher durch Vergleich der Isttemperatur mit einer Solltemperatur eine Regelgrösse ($U \Delta T$) erzeugt, sowie einen Verstärker (11) zur Erzeugung einer der Regelgrösse entsprechenden Stellgrösse (U_Y), welche ein Stellglied (6) der Kühleinrichtung steuert, auf.

Zur Verbesserung des Regelverhaltens ist eine Detektoreinrichtung (8) vorgesehen, welche bei Umlauf des Rotors verzögerungsfrei ein für die momentane Drehzahl und das Wärmeentwicklungsvermögen des jeweiligen Rotors charakteristisches Steuersignal erzeugt. Mit letzterem wird der Verstärkungsgrad des Verstärkers (11) in Abhängigkeit vom Wärmeentwicklungsvermögen verändert.



PATENTANSPRÜCHE

1. Kühlzentrifuge mit auswechselbaren Rotoren unterschiedlichen Wärmeentwicklungsvermögens, einer regelbaren Kühleinrichtung sowie einer Regelschaltung, bestehend aus einem die Isttemperatur feststellenden Temperaturfühler, einem Vergleich, welcher durch Vergleich der Isttemperatur mit einer Solltemperatur eine Regelgrösse erzeugt, einem Verstärker zur Erzeugung einer der Regelgrösse entsprechenden Stellgrösse, welche ein Stellglied der Kühleinrichtung steuert, gekennzeichnet durch eine Detektoreinrichtung, bestehend aus einem im Bereich des Rotors (2) angeordneten Empfänger (8) sowie am Rotor (2) vorgesehenen Kennelementen (9), welche verzögerungsfrei bei Umlauf des Rotors (2) ein für die momentane Drehzahl und das Wärmeentwicklungsvermögen des jeweiligen Rotors (2) charakteristisches Steuersignal erzeugt, mit welchem der Verstärkungsgrad des Verstärkers (11) in Abhängigkeit von Wärmeentwicklungsvermögen verändert wird.

2. Kühlzentrifuge nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Detektoreinrichtung (8, 9) derart ausgebildet ist, dass als Steuersignal eine Impulsfolge mit einer der momentanen Drehzahl proportionalen Frequenz erzeugt wird, wobei die Zahl und/oder Anordnung der Kennelemente (9) dem Wärmeentwicklungsvermögen des Rotors (2) zugeordnet ist und die vom Empfänger (8) erzeugte Impulsfolge mittels eines Digital/Analogwandlers (12) in die analoge Steuergrösse umgewandelt wird.

3. Kühlzentrifuge nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kennelemente (9) Reflektoren sind, welche eine von einer Signalquelle erzeugte Strahlung in Form von Signalimpulsen auf einen mit dem Empfängereingang verbundenen Signalwandler reflektieren.

4. Kühlzentrifuge nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kennelemente (9) Permanentmagnete sind und dass im Empfängereingang ein den Permanentmagneten zugeordnetes Wandlerelement, insbesondere eine Induktionsschleife oder ein Feldplattenfühler angeordnet ist.

5. Kühlzentrifuge nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass dem Verstärker (11) ein Pulsbreitenmodulator (13) nachgeschaltet ist, welcher das analoge Ausgangssignal des Verstärkers (11) in eine pulsbreitenmodulierte Impulsfolge umwandelt und dass der Ausgang des Modulators (13) ein Magnetventil (6) steuert, über welches pulsartig Kühlmittel in die im Bereich der Rotorkammer (4) vorgesehene Kühlschlangen (5a) injiziert wird.

6. Kühlzentrifuge nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch eine Begrenzerschaltung, welche entsprechend der jeweiligen für jeden Rotor charakteristischen Anordnung der Kennelemente (9) die zulässige Maximaldrehzahl des Rotorantriebes (3) begrenzt.

7. Kühlzentrifuge nach Anspruch 5 und 6, gekennzeichnet durch einen Impulsgeber (15), welcher Steuerimpulse konstanter Breite und Frequenz zur Ansteuerung des Magnetventiles (6) bei Rotorstillstand erzeugt und dessen Ausgang mit dem Steuereingang des Magnetventiles (6) bei Abweichen der Rotorkammertemperatur von der Solltemperatur verbunden wird.

8. Kühlzentrifuge nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Magnetventil (6) über einen Umschalter (14) ansteuerbar ist, dessen erster Eingang (X) mit dem Ausgang des Pulsbreitenmodulators (13), dessen zweiter Eingang (Y) mit dem Ausgang des Impulsgebers (15) und dessen Steuereingang (S) mit dem Ausgang eines UND-Gliedes (18) verbunden ist, dessen erster Eingang mit dem Ausgang des Temperaturkomparators (16) und dessen zweiter Eingang mit einem vom Rotor (2) gesteuerten Signalgeber (17) zur Stillstandserkennung verbunden ist.

9. Kühlzentrifuge nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Impulsgeber (15) derart ausgebildet ist, dass die Periodendauer der von ihm erzeugten Impulsfolge grösser als diejenige der vom Pulsbreitenmodulator (13) erzeugten Impulsfolge ist.

10. Kühlzentrifuge nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Impulsgeber (15) derart ausgebildet ist, dass die Periodendauer der von ihm erzeugten Impulsfolge fünfmal grösser als diejenige der bei Rotorlauf erzeugten Impulsfolge ist.

BESCHREIBUNG

Die Erfindung bezieht sich auf eine Kühlzentrifuge mit auswechselbaren Rotoren unterschiedlichen Wärmeentwicklungsvermögens der im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegebenen Art.

Derartige Zentrifugen werden in medizinischen und ähnlichen Laboratorien zum Trennen von natürlichem oder im Labor hergestelltem Zentrifugiergut aus Anteilen verschiedener Dichte mit dem Ziel verwendet, bei unterschiedlichen Temperaturen Anteile des Zentrifugiergutes möglichst weitgehend von Begleitsubstanzen abzutrennen bzw. eine der beteiligten Phasen quantitativ zu erfassen (vergl. DIN 58 970, Teil 1/Ziff.1).

Bei Hochgeschwindigkeitskühlzentrifugen, welche mit Drehzahlen bis ca. 25 000 Umdrehungen/Minute betrieben werden, muss das Zentrifugiergut nach DIN-Vorschriften (vergl. DIN 58 970, Teil 3) im Bereich von 0 bis 25 °C bei einer Umgebungstemperatur von 15 bis 32 °C eine Genauigkeit von ± 1 °C einhalten.

Zu diesem Zweck sind wirksame und rasch reagierende Kühleinrichtungen notwendig, da insbesondere bei hohen Drehzahlen im atmosphärischen Druck nicht unerhebliche Reibungswärme entsteht, die, um die vorgeschriebene Temperatur einzuhalten, rasch abgeführt werden muss. Hierbei müssen die Kühleinrichtungen und deren Regelungen so ausgelegt sein, dass die vorgeschriebene Temperatur auch bei Rotoren unterschiedlicher Abmessung, also Rotoren unterschiedlichen Wärmeentwicklungsvermögens eingehalten wird.

Auf der anderen Seite soll die Temperatur auch bei niedrigen Drehzahlen, also auch im Bereich von 200 bis 2000 Umdrehungen/Minute und sogar bei Stillstand eingehalten werden. Für diese Arbeitssituation ist nur etwa ein Hundertstel der maximal notwendigen Kühlleistung erforderlich, da nur geringe oder keine Reibungswärme auftritt. Auch ist der Wärmeaustausch zwischen der gekühlten Rotorkammer und dem Rotor wegen der fehlenden Luftströmung verringert, wobei nachteiligerweise ferner der Temperaturfühler wegen der fehlenden Luftbewegung die Isttemperatur mit einer grösseren zeitlichen Verzögerung erfasst. Diese Umstände können dazu führen, dass eine zu starke Kühlung bei geringen Drehzahlen oder bei Rotorstillstand erfolgt und das häufig sehr wertvolle Zentrifugiergut durch Einfrieren unbrauchbar wird. Im anderen Extremfall stellt der Fühler die Erwärmung des Rotors bei geringen Drehzahlen oder bei Rotorstillstand zu spät fest, so dass die Rotorkammertemperatur sich in zu starkem Masse erhöht.

Zur Herabsetzung der Reibungswärme werden Kühlzentrifugen verwendet, bei welchem hochtourige Rotoren im Teilvakuum laufen. Wegen der geringeren Wärmeerzeugung können derartige Kühlzentrifugen mit schwächeren Kühlaggregaten ausgerüstet sein. Auch hier hängt das Wärmeentwicklungsvermögen von der Dimensionierung der austauschbaren Rotoren und der jeweiligen Drehzahl der Roto-

ren ab. Ausserdem kann bei im Teilvakuum arbeitenden Kühlzentrifugen wegen der geringeren Luftdichte die Erfassung der Lufttemperatur mit einem in der Rotorkammer angeordneten Temperaturfühler mit grösserer Verzögerung erfolgen.

Deshalb werden insbesondere bei mit sehr hohen Drehzahlen, nämlich mit Drehzahlen in der Grössenordnung von 20 000 bis 80 000 Umdrehung/Minute, arbeitenden Ultrazentrifugen Temperaturmesseinrichtungen eingesetzt, welche die Rotortemperatur nicht mittelbar durch die Lufttemperatur sondern unmittelbar durch Wärmestrahlung erfassen. Wegen der insbesondere bei tiefen Temperaturen geringen Strahlungsenergie sind solche Einrichtungen aufwendig, empfindlich und schliesslich auch sehr kostspielig, so dass sie für Laborzentrifugen der eingangs erwähnten Art nicht in Betracht kommen.

Zur Verbesserung der Wärmeabfuhr insbesondere bei Kammerzentrifugen für Blut wurde schon eine Flüssigkeitsabdichtung vorgeschlagen, welche die sich im Laufe des Zentrifugiervorganges in der sich drehenden Trommel bildende Wärme auf einen feststehenden Kopf übertragen soll (vergl. DE-GM 7 540 083). Nachdem die entstehende Wärme je nach Drehzahl und Rotordimensionierung zwischen dem Faktor 1 und 100 schwankt, wird diese Massnahme bei universell einsetzbaren Kühlzentrifugen nicht ausreichen.

Das gleiche gilt für den aus der DE-OS 2 611 679 hervorgehenden Vorschlag, nach welchem das Gehäuse mit je nach dem verwendeten Rotor veränderten Luftdurchlässen versehen ist, so dass die Wärmeableitung besser den unterschiedlich dimensionierten Rotoren angepasst ist.

Eine bessere Anpassung des Regelverhaltens an die unterschiedlichen Ausgangssituationen kann nur durch unmittelbare Beeinflussung der Kühleinrichtung erfolgen. So ist es bereits bekannt, das Kühlmittel über ein gesteuertes Dreiwegemagnetventil zu führen, mit welchem nach verzögerter Erfassung der Isttemperatur durch den Temperaturfühler das Kühlmedium, wenn die Solltemperatur erreicht ist, in einem Bypass an der Kühlkammer vorbei und wieder in den Kühlkreislauf geführt wird. Eine derart gesteuerte Kühleinrichtung kann zwar besser an unterschiedliche Kühsituationen angepasst werden, sie ist jedoch dennoch mit den vorstehend beschriebenen Mängeln behaftet.

Bei der in der DE-AS 2 327 678 beschriebenen Einrichtung sollen unzulässig hohe Temperaturüberschwinger bei beheiztem Zentrifugenrotor durch folgende Massnahmen verhindert werden:

- a) Verwendung eines Rotors mit einer gegenüber dem Zentrifugiergut wesentlich grösseren Wärmekapazität
- b) Zufuhr von Heissluft über geregelte elektrische Heizelemente bei Berücksichtigung der Änderungsgeschwindigkeit der Regelgrösse
- c) unmittelbare Erfassung der Temperatur des Zentrifugiergutes mit einem Temperaturfühler.

Durch Berücksichtigung der Änderungsgeschwindigkeit der Regelgrösse soll eine Überhitzung der Proben vermieden werden. Dieser Druckschrift sind jedoch keine Massnahmen zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Dimensionierung der Rotoren sowie der unterschiedlichen Drehzahl zu entnehmen.

Der vorliegenden Erfindung liegt insbesondere die Aufgabe zugrunde, eine Kühlzentrifuge mit auswechselbaren Rotoren für einen grossen Arbeitstemperaturbereich in der Grössenordnung von -20 bis 40°C zu schaffen, bei welcher neben der Kammerlufttemperatur auch die Rotorgrösse und die Enddrehzahl und somit das jeweilige Wärmeentwicklungsvermögen verzögerungsfrei derart erfasst wird, dass für die unterschiedlichen Anwendungsfälle die vorgegebene Solltemperatur über einen längeren Zeitraum mit nur

geringen Abweichungen eingehalten wird. Solche Kühlzentrifugen werden vor allem in Laboratorien der Biochemie, der Human- und Tiermedizin sowie für die Genforschung benötigt, wobei die Temperaturregelung in einem Drehzahlbereich von 250 Umdrehungen/Minute bis 25 000 Umdrehungen/Minute bei unterschiedlich bemessenen Rotoren wirksam sein muss, um mit einem einzigen Gerät alle anfallenden Untersuchungen durchführen zu können.

Diese Aufgabe wird bei einer Kühlzentrifuge der eingangs genannten Art erfindungsgemäss durch die kennzeichnenden Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

Durch die Massnahme wird die Kühlung nicht nur in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Ist- und Solltemperatur geregelt, sondern es wird auch das Wärmeentwicklungsvermögen des jeweiligen Rotors dadurch berücksichtigt, dass der Verstärkungsgrad und damit die Empfindlichkeit des Regelkreises beeinflusst wird. Als Wärmeentwicklungsvermögen wird hierbei die Änderung der Lufttemperatur, welche mit dem in der Kammer angeordneten Temperaturfühler festgestellt wird, in einer bestimmten Zeit bei konstanter Bezugsdrehzahl und gleicher Ausgangstemperatur des Rotors verstanden. Dieses rechnerisch schwer erfassbare Wärmeentwicklungsvermögen beeinflusst die im Rotor beim Lauf entstehende Reibungswärme, welche von folgenden Parametern abhängt:

- a. konstruktive Gestaltung des Rotors
- b. Materialbeschaffenheit, insb. Beschaffenheit der Rotoroberfläche
- c. mittlere Umfangsgeschwindigkeit der Rotoroberfläche
- d. Verhältnis von Rotorvolumen zu Kammervolumen, d.h. in der Kammer vorhandene Luftmenge bei eingesetztem Rotor
- e. Verhältnis des Wärmespeichervermögens von Rotor und Rotorkammer.

Die vorgeschlagene Änderung des Regelverhaltens bewirkt, dass bei Rotoren, bei welchen infolge der Gestaltung und der höheren Enddrehzahl eine höhere Erwärmung zu erwarten ist, eine stärkere und damit rascher wirksam werdende Kühlung ausgelöst wird.

Das hat ferner aber auch zur Folge, dass bei einem Absinken der Temperatur unter den vorgeschriebenen Sollwert die Kühlung schneller, also mit geringerer Verzögerung, unterbrochen wird. Auf diese Weise wird verhindert, dass der Rotorkammer zu viel Wärme entzogen wird, was die oben erläuterte gefährliche Unterkühlung der Proben zur Folge haben kann.

In besonders einfacher Weise lässt sich die Erfindung bei Kühlzentrifugen realisieren, welche bereits mit einer Detektoreinrichtung der im Anspruch 1 gekennzeichneten Art versehen sind. Es sind nämlich bereits Kühlzentrifugen auf dem Markt, bei welchen die zulässige Maximaldrehzahl zur Überdrehzahlsicherung mittels einer Detektoreinrichtung und einer Begrenzerschaltung begrenzt ist. Dabei wird von der Tatsache Gebrauch gemacht, dass die zulässige Höchstdrehzahl wie das Wärmeentwicklungsvermögen von der Rotorgestaltung abhängt, so dass in erster Näherung das Wärmeentwicklungsvermögen um so grösser ist, je kleiner die aus der Rotorfestigkeit und -gestaltung resultierende zulässige Höchstdrehzahl ist.

Kühlzentrifugen mit hierfür geeigneten Detektoreinrichtungen werden z. B. unter der Bezeichnung Hermle ZK-400 auf den Markt gebracht.

Bei diesen Kühlzentrifugen ist der Rotor bereits mit Kenn-elementen ausgestattet, welche bei Rotorumlauf in einem Empfänger eine Impulsfolge mit einer der momentanen Drehzahl proportionalen Frequenz erzeugen, wobei die Zahl und/oder Anordnung der Kennelemente der Rotordimensionierung und damit indirekt dem Wärmeentwicklungsvermögen

gen zugeordnet ist. Die vom Empfänger erzeugte Impulsfolge wird auch bei den bekannten Kühlzentrifugen in ein Steuersignal umgewandelt, mit welchem hier jedoch lediglich die Drehzahlbegrenzerschaltung angesteuert wird. Nach dem erfindungsgemässen Vorschlag wird das in ein Analogsignal umgewandelte Steuersignal zur Beeinflussung des Verstärkergrades des im Regelkreis vorgesehenen Verstärkers ausgenutzt.

Kennelemente können hierbei Reflektoren sein, welche eine von einer Signalquelle erzeugte Strahlung in Form von Signalimpulsen auf einen mit dem Empfängereingang verbundenen Signalwandler reflektieren. Die Signalquelle kann hierbei Strahlungen unterschiedlicher Wellenlänge erzeugen. Verwendet man als Signalquelle eine Lichtquelle, so bestehen die Reflektoren zweckmässigerweise aus Spiegeln.

Die Kennelemente können jedoch auch selbst aktive «Strahler», z. B. Permanentmagnete, sein, deren Feld beim Rotorumlauf mit einem im Eingangskreis des Empfängers vorgesehenen Wandlerelement, z. B. einer Induktionsschleife oder einem Feldplattenfühler, detektiert wird.

Zur Kühlung eignet sich grundsätzlich jede hinsichtlich ihrer Temperatur steuerbare Kühleinrichtung. Es ist jedoch von Vorteil, eine solche Kühleinrichtung zu verwenden, welche möglichst trägheitsfrei der Regelung folgt. Hierfür eignet sich vorzugsweise eine Kühleinrichtung, in deren der Rotorkammer zugeordnete Kühlschlangen das Kühlmittel pulsartig injiziert wird, da hierbei die Kühlung durch die Dauer des Injektionsimpulses rasch und wirksam beeinflusst werden kann. Auch kann für diesen Zweck ein vergleichsweise einfach aufgebautes handelsübliches und damit preisgünstiges Ventil anstelle eines kostspieligen Ventiles mit analog veränderbarem Durchfluss verwendet werden.

Zur Einspritzung des Kühlmittels ist ein handelsübliches, steuerbares Magnetventil ausreichend, welches von einer pulsweitenmodulierten Impulsfolge angesteuert wird. Letztere wird zweckmässigerweise von einem Pulsbreitenmodulator erzeugt, dessen Modulationsgrad vom Ausgangssignal des Verstärkers bestimmt ist.

Mit den oben geschilderten Massnahmen ist eine sehr variable und nur mit geringer Verzögerung regelbare Kühlung während des Rotorlaufes möglich.

Bei Rotorstillstand wird jedoch von der Detektoreinrichtung kein Signal geliefert. So sind Anwendungsfälle nicht selten, bei welchen die Temperatur in der Rotorkammer auch bei Rotorstillstand über mehrere Stunden konstant gehalten werden muss, um z. B. nach automatischer Beendigung eines Zentrifugiervorganges während der Nacht am anderen Morgen die Proben ohne Schädigung durch Temperatureinwirkung entnehmen zu können.

Um dies zu sichern, ist zweckmässigerweise ein Impulsgeber vorgesehen, der nur bei Rotorstillstand aktiviert wird und das Magnetventil bei Abweichen der Rotorkammertemperatur von der Solltemperatur mit Impulsen konstanter Breite und Frequenz ansteuert. Da bei Rotorstillstand keine Reibungswärme erzeugt wird und folglich nur der Wärmeverlust auszugleichen ist, genügt es, das Magnetventil in grösseren Zeitabständen für eine geringe Impulsdauer zu öffnen, d. h. einen Impulsgeber zu verwenden, der eine Impulsfolge mit grösserer Periodendauer als bei Rotorlauf erzeugt. Die Periodendauer bei Rotorstillstand ist vorzugsweise fünfmal grösser als diejenige bei Rotorlauf, wobei ein Tastverhältnis, also das Verhältnis von Impulsdauer zu Impulsperiode bei 100 liegen kann.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird nachstehend näher erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Kühlzentrifuge mit den für die Erläuterung notwendigen Komponenten;

Fig. 2 ein Blockschema der Regelschaltung, der in Fig. 1 dargestellten Kühlzentrifuge,

Fig. 3 Diagramme zur Darstellung der Drehzahl-, Temperatur- und Impulsänderungen in Abhängigkeit von der Zeit bei hoher Enddrehzahl,

Fig. 4 Diagramme gemäss Fig. 3 bei niedriger Enddrehzahl, nämlich folgende zeitabhängige Werte:

3.1 und 4.1: Rotordrehzahl
3.2 und 4.2: Vom Temperaturfühler gemessene Temperatur in der Rotorkammer
3.3 und 4.3: Ausgangsspannung des geregelten Verstärkers
3.4 und 4.4: Vom Pulsmodulator erzeugte Steuerimpulse
3.5 und 4.5: Rotortemperatur und

Fig. 5 Temperaturverlauf bei Rotorstillstand, nämlich
5.1 Rotorkammertemperatur
5.2 Rotorsolltemperatur
5.3 Rotoristtemperatur
5.4 Vom Impulsgeber erzeugte Impulse.

Der grundsätzliche Aufbau der an sich bekannten Kühlzentrifuge ist in Fig. 1 veranschaulicht.

In einem Gehäuse 1 ist innerhalb der Rotorkammer 4 ein hier als Winkelrotor ausgebildeter Rotor 2 angeordnet. Der Rotor ist austauschbar und durch anders dimensionierte und ausgebildete ersetzbar. Angetrieben wird der Rotor von einem in seiner Drehzahl veränderbaren Antriebsmotor 3. Der Kühlung der Rotorkammer 4 dient ein Kühlaggregat 5. Das von diesem Aggregat 5 gekühlte Mittel wird über ein elektromagnetisch steuerbares Ventil 6 zu den Kühlschlangen 5a geleitet, welche die Kühlkammer 4 umgeben. Mittels eines in der Rotorkammer 4 vorgesehenen Temperaturfühlers 7 wird die Isttemperatur überwacht. Die mittels des Temperaturfühlers 7 festgestellte Kammertemperatur wird in einer Regelschaltung 10 mit einer vorgegebenen Solltemperatur verglichen. Bei Auftreten einer Temperaturdifferenz wird das Magnetventil 6 zur Steuerung der Kältemittelzufuhr angesteuert, d. h. entweder gesperrt oder geöffnet.

Zur Feststellung der Istzahl des Rotors ist eine Detektoreinrichtung vorgesehen, welche aus einem feststehenden Empfänger 8 und am Rotor 2 auf einem Kreisbogen im Abstand voneinander angeordneten Kennelementen 9 besteht. Die mit dem Rotor umlaufenden Kennelemente 9 werden vom Empfänger fotoelektrisch, elektromagnetisch oder elektrostatisch abgetastet. Beispielsweise können die Kennelemente Reflektoren sein, welche das Licht einer nicht dargestellten Lichtquelle zu einem im Eingangskreis des Empfängers angeordneten fotoelektrischen Wandler, z. B. einer Fotozelle oder einem Fototransistor, reflektieren. Auch können aktive Kennelemente in Form von Permanentmagneten verwendet werden, welche in einer im Eingangskreis des Empfängers angeordneten Induktionsschleife, einen Feldplattenfühler oder dgl. bei jeder Umdrehung eine der Rotorgrösse entsprechende Anzahl von Impulsen induzieren. Jeder Rotor besitzt entsprechend seiner Bemessung und Masse eine maximal zulässige Drehzahl. Dieser Maximaldrehzahl entspricht die Anordnung bzw. Anzahl der Kennelemente 9, so dass das im Empfänger erzeugte Signal, welches der Regelschaltung 10 zugeleitet wird, unmittelbar zur Überdrehzahlsicherung des Rotorantriebes genutzt werden kann. Die Anzahl der Kennelemente 9 ist hierbei um so grösser, je niedriger die maximal zulässige Drehzahl ist.

Diese Überdrehzahlbegrenzung ist bekannt. Neu ist die mit dieser Erfindung vorgeschlagene Beeinflussung des Regerverhaltens der Regelschaltung 10 in Abhängigkeit von Drehzahl und Wärmeentwicklungsvermögen.

Diesem Zweck dient die mit dem Blockschaltbild gemäss Fig. 2 veranschaulichte Regelung.

Mit dem Temperaturfühler 7 wird die in der Rotorkammer 4 herrschende Isttemperatur festgestellt, welche mit einem einstellbaren Temperatursollwert verglichen wird. Bei Abweichung von diesem Sollwert erzeugt der Temperaturfühler 7 eine positive bzw. negative Regelspannung U_{AT} , deren Grösse dem Temperaturunterschied ΔT entspricht. Die Regelspannung U_{AT} wird mittels eines Verstärkers 11 verstärkt, der bei dem Ausführungsbeispiel aus einem Operationsverstärker 11a und einer gesteuerten Stromquelle 11b besteht. Bei dem erläuterten Ausführungsbeispiel liegt der veränderbare Verstärkungsgrad zwischen 10 und 50. Am Ausgang Y des Verstärkers 11 erscheint ein gegenüber dem Signal am Eingang X um den Verstärkungsgrad vergrössertes analoges Ausgangssignal, welches der Primärseite eines als Pulsbreitenmodulator 13 arbeitenden Analog-Digitalwandlers zugeführt wird. Dieser A/D-Wandler gibt an seine Sekundärseite Impulse konstanter Taktzeit, also konstanter Frequenz, jedoch variabler, also modulierbarer Impulsbreite ab. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel wurde eine Taktzeit von 10 Sekunden bei einer Modulationsbreite von 0 bis 100% gewählt. Mit diesen Impulsen wird der Elektromagnet des im Kältemittelkreislauf gelegenen Magnetventiles 6 angesteuert. Zwischen Pulsbreitenmodulator 13 und Magnetventil 6 ist ein Umschalter 14 vorgesehen, der nachstehend erläutert ist. Mittels eines bei laufendem Rotor aus der Istdrehzahl abgeleiteten Signales ist der Verstärker 11 hinsichtlich seines Verstärkungsgrades steuerbar.

Wie oben erläutert, entsteht im Empfänger 8 eine von der Drehzahl und der Zahl der Kannelemente 9 und damit indirekt dem Wärmeentwicklungsvermögen des Rotors abhängige Impulsfolge, welche mittels eines Digital-Analogwandlers 12 in ein analoges Ausgangssignal umgewandelt wird. Dieses Ausgangssignal wird dem Steuereingang V des Verstärkers 11 zugeführt, die Stromquelle 11b wird in ihrem Verstärkungsgrad also in Abhängigkeit von Drehzahl und Wärmeentwicklungsvermögen gesteuert. Bei hoher Drehzahl gibt der Empfänger 8 eine Impulsfolge hoher Frequenz ab, so dass der Verstärkungsgrad des Verstärkers 11 vergrössert wird. Bei einem Rotor mit grosser Masse, dem eine grössere Anzahl von Kannelementen zugeordnet ist, wird der Verstärkungsgrad auch schon bei niedrigeren Frequenzen vergrössert. Das hat in beiden Fällen zur Folge, dass auch bei einer kleinen Differenz zwischen Ist- und Solltemperatur die am Ausgang Y des Verstärkers 11 gebildete Spannung überproportional ansteigt bzw. abfällt, wodurch die zwischen 0 und 100% veränderbare Impulsbreite für die Einschaltzeit des Magnetventiles 6 überproportional vergrössert bzw. vermindert wird.

Die Temperaturverläufe sowie die Wechselwirkungen während des Laufs eines Zentrifugenrotors sind anhand von zeitsynchronen Diagrammen für eine vergleichsweise hohe Drehzahl von 20 000 Umdrehungen pro Minute in Fig. 3 und bei einer niederen Drehzahl von 2000 Umdrehungen pro Minute in Fig. 4 erläutert. In beiden Fällen wird in die Zentrifuge ein auf 4°C vorgekühlter Rotor eingesetzt.

Mit der Kurve 3.1 ist der Hochlauf der Drehzahl von 0 auf 20 000 Umdrehungen/Minute gezeigt, welche nach 66 Sekunden erreicht ist. Wie die Kurve 3.2 deutlich macht, steigt die vom Temperaturfühler 7 festgestellte Kammertemperatur infolge von Reibungswärme von 4 auf 6°C an. Diese Lufttemperatur entspricht wegen der Wärmeträgheit des Rotors natürlich nicht derjenigen des Zentrifugiergutes, das sich in Zentrifugiergefässen des Rotors befindet. Um eine Temperaturerhöhung des Zentrifugiergutes entsprechend dem Temperaturanstieg gemäss Kurve 3.2 zu verhindern, sind Kühlmassnahmen notwendig. Mittels des Magnetventiles 6 wird entsprechend der Temperaturdifferenz ΔT vermehrt Kühlmittel injiziert. Gesteuert wird der Kältemittelzu-

fluss in Abhängigkeit von der bei Y anstehenden Ausgangsspannung des Verstärkers 11, deren Verlauf ohne Einfluss der erfindungsgemäss herangezogenen Korrekturgrösse mit der Kurve 3.31 veranschaulicht ist. Die Kurve 3.31 macht deutlich, dass bei Verwendung dieser Steuerungsgrösse die Steuerung zu unempfindlich wäre, d. h., entweder nicht schnell genug auf Temperaturänderungen reagieren könnte oder der Kältemittelzufluss nicht rasch genug reduziert bzw. unterbrochen wird. In beiden Fällen wäre eine konstante Temperatur des Zentrifugiergutes nicht gewährleistet.

Durch die mit der Erfindung vorgeschlagene Korrekturgrösse, die aus der Istdrehzahl und einer für die Wärmeträgheit charakteristischen Kennung abgeleitet wird, wird der Verstärkungsfaktor des Verstärkers 11 derart vergrössert, dass ein bezüglich der festgestellten Temperaturdifferenz überproportionales Steuersignal am Ausgang Y des Verstärkers 11 erzeugt wird, dessen zeitlicher Verlauf mit der Kurve 3.32 in Fig. 3.3 veranschaulicht ist. Diese Kurve macht deutlich, dass bei hohen Drehzahlen, die zu einer grossen Wärmeentwicklung führen und/oder grossvolumigen Rotoren, die ein hohes Wärmeentwicklungsvermögen besitzen, trotz der sich nur vergleichsweise wenig ändernden Lufttemperatur in der Rotorkammer die erforderliche Regelantwort mit geringerer Verzögerung rechtzeitig erfolgt.

Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel beträgt die Impulsbreite des am Ausgang des Pulsmodulator 13 anstehenden Signals 100% wenn die Spannung u_y den Wert U_{yG} erreicht hat. Dies bewirkt, dass das Magnetventil 6 in der Zeitspanne, in welcher die Steuerspannung U_y oberhalb des Grenzwertes U_{yG} liegt, geöffnet ist, wie das die Öffnungszeiten des Magnetventiles 6 repräsentierende Balkendiagramm gemäss Ziff. 3.4 deutlich macht. Während dieser Zeit wird kontinuierlich Kältemittel zugeführt, während davor und danach das Kältemittel nur impulsweise mit zunehmender bzw. abnehmender Impulsdauer eingespritzt wird.

Das Ergebnis dieser Steuerungsmassnahme, nämlich der zeitliche Temperaturverlauf innerhalb des Zentrifugiergutes, ist mit dem Diagramm gemäss Ziff. 3.5 veranschaulicht. Bei dem erläuterten Ausführungsbeispiel schwankte die Proben-temperatur bei der eingestellten Temperatur von +4°C um ca. 0,3°C.

Entsprechende Vorgänge und Temperaturverhalten sind bei Einsatz desselben Rotors jedoch mit geringerer Maximaldrehzahl, nämlich einer Drehzahl von 2000 Umdrehungen pro Minute, mit den Diagrammen in Fig. 4 veranschaulicht. Wie die Kurve 4.1 zeigt, ist die Enddrehzahl schon nach kurzer Zeit erreicht.

Die Rotorkammertemperatur 4.2, wie sie vom Temperaturfühler 7 festgestellt wird, schwankt gleichfalls unter dem Einfluss der Reibungswärme und der gesteuerten Kühlung etwa um 2°C. Die Wärmeträgheit des Rotors sorgt dafür, dass sich diese Temperaturänderung nicht auf das Zentrifugiergut auswirkt. Seine Temperatur liegt konstant bei etwa 4,5°C und schwankt um etwa 0,3°C, wie das Diagramm 4.5 deutlich macht.

Die geringere Drehzahl des Rotors hat aus den oben erläuterten Gründen einen reduzierten Verstärkungsfaktor des Verstärkers 11 zur Folge, so dass seine mit der Kurve 4.3 veranschaulichte Ausgangsspannung U_y sich in Abhängigkeit von der Rotorkammertemperatur weniger stark verändert. Das Ausgangssignal U_y erreicht hierbei nicht den im Diagramm 3.3 angegebenen Grenzwert, so dass die Impulsbreite der am Ausgang des Pulsmodulators 13 erzeugten Impulsfolge nie 100% erreicht und folglich das Magnetventil 6 nur mit vergleichsweise kurzen Impulsen veränderbarer Breite angesteuert wird, wie dies mit dem Balkendiagramm gemäss 4.4 dargestellt ist.

Bei stillstehendem Rotor erzeugt der Wandler 12 keine Steuergrösse, so dass der Verstärkungsgrad des Verstärkers 11 und 0 würde und dass die Kühlung unterbunden würde. Es genügt jedoch auch nicht, für diese Situation die Verstärkung des Verstärkers 11 auf einen bestimmten Wert zu begrenzen, da aus folgenden Gründen andere Verhältnisse vorliegen.

Wegen der bei stillstehendem Rotor fehlenden Reibungswärme ist nur noch Verlustwärme auszugleichen, wobei diese weitgehend unabhängig von der Rotorgrosse ist. Der Temperaturfühler 7 andererseits reagiert wegen der fehlenden Luftströmung in der Rotorkammer ausserordentlich träge. Würde die Kältemittelzufuhr nur über den Regelkreis, bestehend aus Temperaturfühler 7, Verstärker 11, Pulsmodulator 13, Magnetventil 6, gesteuert werden, wären unzulässige Temperaturschwankungen unvermeidbar.

Aus diesem Grunde erfolgt bei stillstehendem Rotor die Temperaturregelung in anderer Weise.

Bei stillstehendem Rotor wird nämlich über den Umschalter 14 der Impulsgeber 15 mit dem Steuereingang des Magnetventils 6 verbunden. Der Impulsgeber 15 erzeugt, wie mit dem Balkendiagramm 5.4 in Figur 5 veranschaulicht ist, Impulse mit geringerer Impulsfolgefrequenz und konstanter Impulsbreite. So beträgt bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel das Tastverhältnis, nämlich das Verhältnis der Impulsdauer zur Impulsperiode $0,5 \text{ Sekunden} / 50 \text{ Sekunden} = 1:100$. Mit diesen Impulsen wird das Magnetventil 6 so lange angesteuert, bis die vorgegebene Solltemperatur erreicht ist. Zur Realisierung dieser Regelungsbedingung ist der Steuereingang des Umschalters 14 mit dem Ausgang des

UND-Gliedes 18 verbunden. Der erste Eingang des UND-Gliedes 18 wird vom Temperaturkomparator 16 angesteuert, der immer dann ein Signal abgibt, wenn vom Temperaturfühler eine Abweichung der Isttemperatur von der Solltemperatur festgestellt wird.

Der zweite Eingang des UND-Gliedes 18 wird von einem Signalgeber 17 angesteuert, der bei Rotorstillstand ein Signal erzeugt. Bei Koinzidenz von unzulässiger Temperaturabweichung und Rotorstillstand wird folglich der Ausgang des Impulsgebers 15 über den Umschalter 14 mit dem Steuereingang des Magnetventils 6 verbunden. Kältemittel wird während dieser Zeit impulsartig so lange injiziert, bis die Rotorkammertemperatur wieder den Sollwert erreicht hat.

Diese Steuer- und Regelvorgänge sind mit den Diagrammen in Fig. 5 veranschaulicht. Die Kurve 5.1 zeigt die vom Temperaturfühler 7 festgestellten Schwankungen der Rotorkammertemperatur. Die Kurve 5.2 zeigt den Verlauf der Isttemperatur des Zentrifugiergutes, während mit der Linie 5.3 die Solltemperatur des Zentrifugiergutes angegeben ist. Der Temperaturabfall hier von $0,2^\circ\text{C}/\text{Stunde}$ ist in der Regel zulässig, kann jedoch mit entsprechendem Regelaufwand reduziert werden.

Das Balkendiagramm gemäss 5.4 veranschaulicht die am Steuereingang des Magnetventils 6 wirksam werdenden Steuerimpulse.

In dem Blockschaltbild gemäss Fig. 2 sind nur die zur Erläuterung der Erfindung notwendigen Baugruppen veranschaulicht. Diese Baugruppen können selbstverständlich auch durch entsprechend programmierbare Prozessorschaltungen realisiert werden.

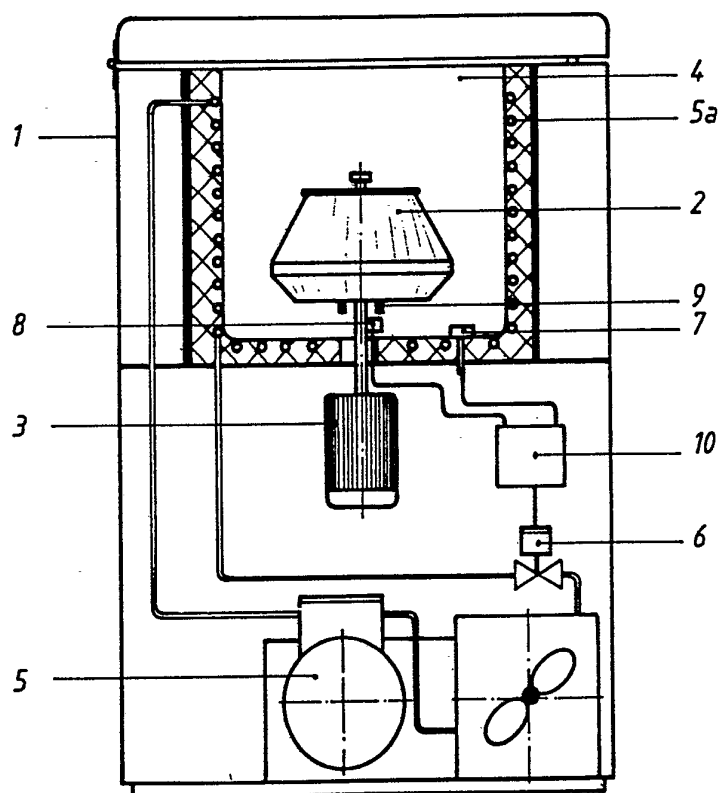
Fig.1

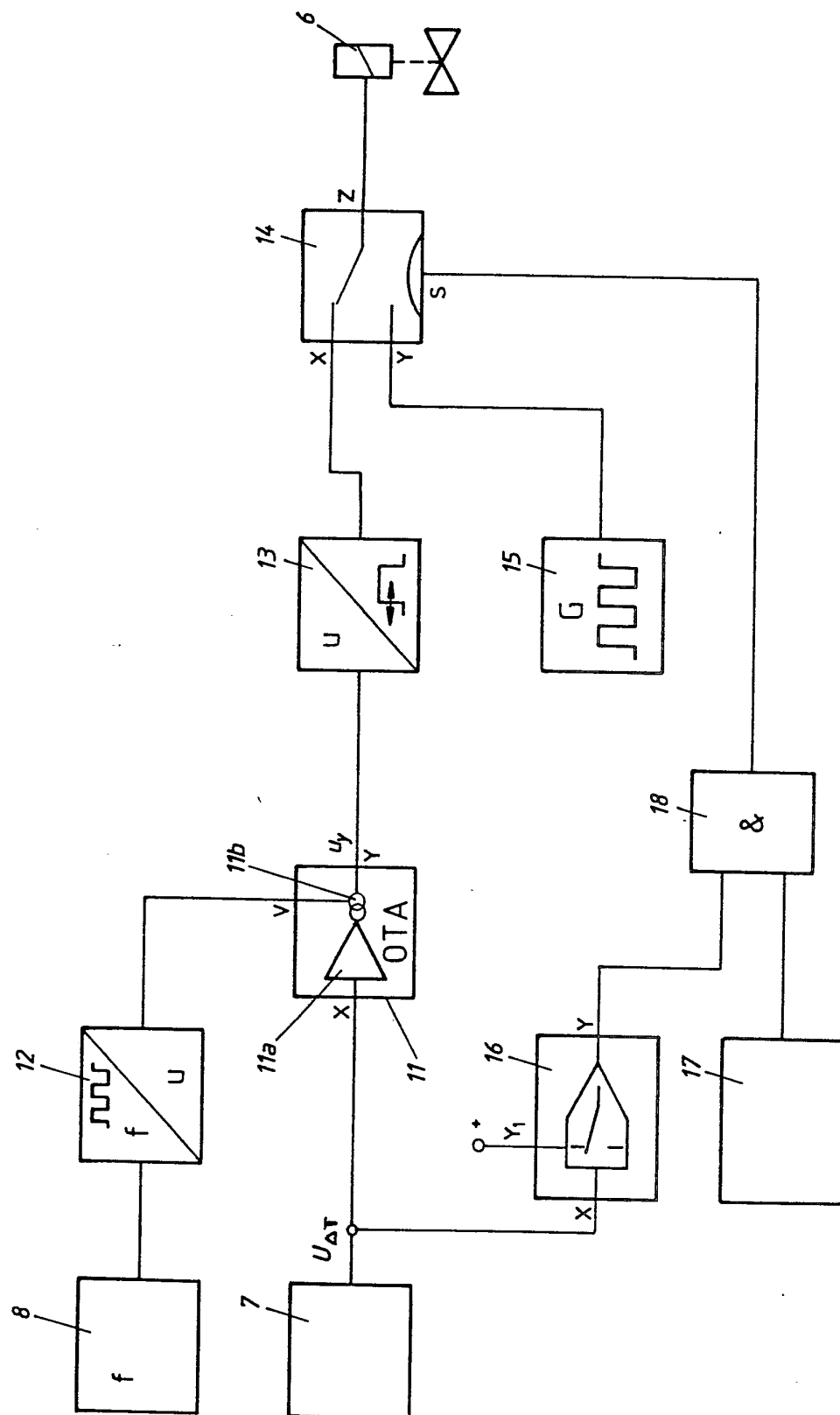
Fig. 2

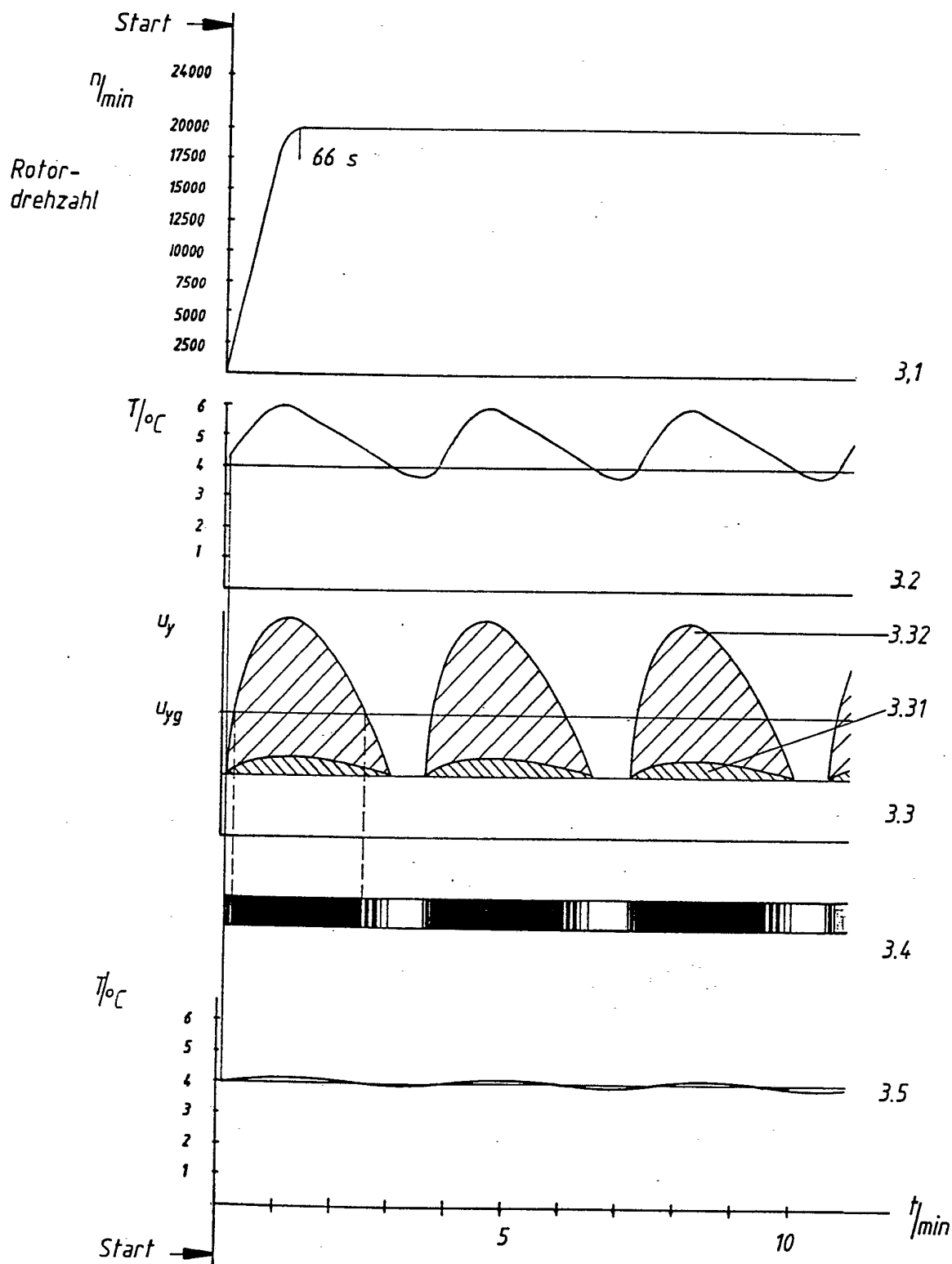
Fig.3

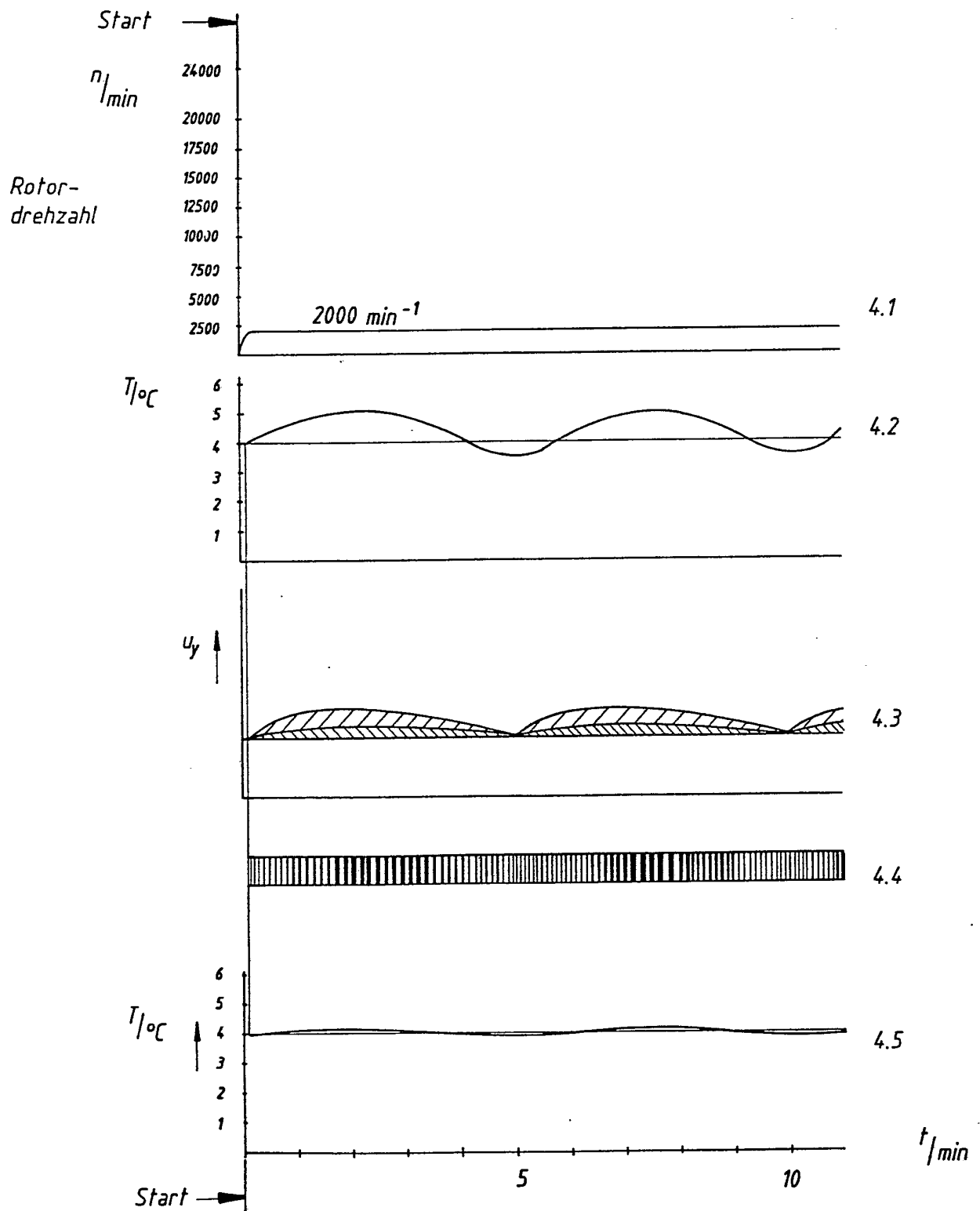
Fig. 4

Fig.5