



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 287 267 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1
Patentgesetz der DDR
vom 27. 10. 1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) C 12 M 1/36

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	DD C 12 M / 332 131 4	(22)	28.08.89	(44)	21.02.91
(71)	VEB Chemieanlagenbaukombinat Leipzig – Grimma – Stammbetrieb, HA Biotechnologie, PSF 674, O - 7010 Leipzig, DE				
(72)	Bierl, Peter, Dr.-Ing. Dipl.-Ing.; Burza, Horst, Dipl.-Ing.; Wagner, Manfred, Dr.-Ing. Dipl.-Ing.; Thieme, Rainer, Dr.-Ing. Dipl.-Ing.; Bienert, Manfred, Dipl.-Phys.; Kuban, Siegfried, Dipl.-Math.; Zimmermann, Heinz; Klieber, Gunter, Chem.-Ing.; Heinrich, Jürgen, Dipl.-Ing., DE				
(73)	VEB Chemieanlagenbaukombinat Leipzig – Grimma, O - 7010 Leipzig; VEB Zellstoffwerk Pirna-Heidenau, O - 8312 Heidenau, DE				
(74)	VEB Chemieanlagenbaukombinat Leipzig – Grimma, PSF 674, O - 7010 Leipzig, DE				
(54)	Schaltungsanordnung zur Steuerung von Bioreaktoren				

(55) Bioreaktor; Extremwertkalkulator; Genauigkeit; Produktivität; Prozeßsimulator; Regelung; Schaltungsanordnung; Stabilität; Steuerung; Eingangssubstratkonzentrat; Lufteintrittsmenge; Substratmenge

(57) Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur Steuerung von Bioreaktoren. Aufgabe der Erfindung ist die Schaffung einer Schaltungsanordnung, die eine hohe Genauigkeit und gute Stabilität der Steuerung gewährleistet, so daß ein hohes Niveau der Produktivität gesichert wird. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß ein Extremwertkalkulator, dessen Eingänge mit den Meßfühlern für Eingangssubstratkonzentration und Lufteintrittsmenge gekoppelt sind, ausgangsseitig mit einem aktuellen Prozeßsimulator für die Biomassekonzentration, die Substratkonzentration und das Wachstum der Biomasse gekoppelt ist. Ein vorlaufender Prozeßsimulator ist ebenfalls mit den Meßwerten des Bioreaktors, dem Extremwertkalkulatorausgang und den Ausgängen des ersten Prozeßsimulators gekoppelt. Die Ausgänge beider Prozeßsimulatoren sind mit einem Cross-Connector verbunden, der den aktuellen Sollwert für die Substratmenge berechnet und über eine separate Verbindung dem Regler für die Substratmenge übergibt. Dieser ist wiederum über eine Substratdosiervorrichtung mit dem Bioreaktor verbunden.

Patentansprüche:

1. Schaltungsanordnung zur Steuerung von Bioreaktoren, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Bioreaktor (1), Beobachter für den Substratdosierstrom (5), die Eingangssubstratkonzentration (2) und die Lufteintrittsmenge (3), ein Extremwertkalkulator (4), ein vorlaufender und ein aktueller Prozeßsimulator (7; 8), ein Regler (10) und eine Substratdosiervorrichtung (11) miteinander verbunden sind, wobei an dem Bioreaktor (1) der Beobachter für die Eingangssubstratkonzentration (2) und der Beobachter für die Lufteintrittsmenge (3) angeschlossen sind, deren Ausgänge an den Extremwertkalkulator (4), (12-34) angeschlossen sind, die Ausgänge der Beobachter für die Lufteintrittsmenge (3) und die zum Zeitpunkt $(T + T_n)$ zu erwartende Eingangssubstratkonzentration (6) mit dem ersten Prozeßsimulator (7), (35-51) verbunden sind, wobei der Ausgang A1 des Extremwertkalkulators (4), der Ausgang des Beobachters für die Eingangssubstratkonzentration (2), der Ausgang des Beobachters für die Lufteintrittsmenge (3) und der Ausgang des Beobachters für den Substratdosierstrom (5) mit den Eingängen des zweiten Prozeßsimulators (8) und der Ausgang A2 des Extremwertkalkulators (4) mit einem Eingang eines Cross-Connectors (9) verbunden sind, dessen zwei Eingänge an die beiden Ausgänge der Prozeßsimulatoren (7; 8) gekoppelt sind, der Ausgang des Cross-Connectors (9) mit dem Sollwerteingang des Reglers (10) und der Istwerteingang des Reglers (10) mit dem Ausgang des Beobachters für den Substratdosierstrom (5) und der Ausgang des Reglers (10) über die Substratdosiervorrichtung (11) mit dem Bioreaktor (1) verbunden ist.
2. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Extremwertkalkulator (4) so verschaltet ist, daß der Ausgang eines Multiplizierers (12) mit einem Eingang eines Dividierers (14) verbunden ist, der über seinen zweiten Eingang an einen Festwertgeber (13) und mit seinem Ausgang an einen Subtrahierer (15) und einen Multiplizierer (20) gekoppelt ist, der zweite Eingang des Subtrahierers (15) mit einem Einheitsfestwertgeber (16) und sein Ausgang mit einem Multiplizierer (17) verbunden ist, der zweite Eingang dieses Multiplizierers (17) an einen Addierer (24) gekoppelt ist, dessen erster Eingang mit einem Festwertgeber (23) verbunden und sein zweiter Eingang an den Ausgang eines Schalters (22) gekoppelt ist, der Ausgang des Multiplizierers (17) mit einem Eingang eines Dividierers (19) und dessen zweiter Eingang mit dem Ausgang eines Festwertgebers (18) verbunden ist, der Ausgang des Dividierers (19) mit einem Eingang des Multiplizierers (20) und sein zweiter Eingang mit dem Ausgang des Dividierers (14) verbunden ist, der Ausgang des Multiplizierers (20) mit einem Addierer (26) verbunden ist, der sein zweites Eingangssignal von einem Einheitsfestwertgeber (25) erhält und ausgangsseitig mit einem Radizierer (27) verbunden ist, dessen Ausgang zu einem Subtrahierer (28) führt, der über seinen zweiten Eingang ebenfalls mit dem Einheitsfestwertgeber (25) verbunden ist, die Ausgänge des Subtrahierers (28) und des Multiplizierers (17) an einen Dividierer (29) gekoppelt sind, der ausgangsseitig mit einem Absolutsubtrahierer (30), dem Schalter für den Durchsatzanfangswert (22) und einem Schalter für den optimalen Durchsatz (32) verbunden ist, der zweite Eingang des Schalters (22) an einen Durchsatzfestwertgeber (21) gekoppelt ist, der Ausgang des Absolutsubtrahierers (30) mit einem Schwellwertschalter (31) verbunden ist, dessen Logikausgang den Schalter (32) steuert, der Ausgang dieses Schalters (32) zu einem Speicher (33) führt, der ausgangsseitig an den dritten Eingang des Schalters (32) gekoppelt ist und den Ausgang A2 des Extremwertkalkulators (4) und über eine Arithmetikeinheit (34) den Ausgang A1 des Extremwertkalkulators (4) bildet.
3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß der erste Prozeßsimulator (7) so aufgebaut ist, daß ein Addierer (36) mit seinem ersten Eingang mit dem Ausgang des Beobachters (6) und mit seinem zweiten Eingang mit einem Festwertgeber (35) und mit dem zweiten Eingang eines danach angeordneten Dividierers (37) gekoppelt ist, während dessen zweiter Eingang mit dem Ausgang eines Addierers (36) verbunden ist, der Ausgang des Dividierers (37) zu einem Subtrahierer (39) führt, der über seinen zweiten Eingang mit einem Einheitsfestwertgeber (38) und seinen Ausgang mit einem Radizierer (40) verbunden ist, der Ausgang dieses Radizierers (40) mit einem Subtrahierer (41) verbunden ist, dessen zweiter Eingang von dem Einheitsfestwertgeber (38) gespeist wird und dessen Ausgang zu einem Multiplizierer (43) führt, ein weiterer Eingang des Multiplizierers (43) mit einem Festwertgeber (42) verbunden ist und sein Ausgang zu einem Multiplizierer (46), einem Dividierer (48), dessen zweiter Eingang mit einem Festwertgeber (47) verbunden ist, einem Multiplizierer (49) und dem Sollwerteingang eines Durchsatzreglers (51) führt, ein Dividierer (45) eingangsseitig mit dem Beobachter (6) und einem

Festwertgeber (44) verbunden ist, über seinen Ausgang zum Multiplizierer (46) führt, der wiederum ausgangsseitig mit einem Subtrahierer (50) verbunden ist, dessen zweiter Eingang mit dem Ausgang des Multiplizierers (49) und dessen Ausgang mit dem zweiten Eingang des Durchsatzreglers (51), der dritte Eingang des Durchsatzreglers (51) mit dem Ausgang A3 des Prozeßsimulators (8) und der Durchsatzreglerausgang mit einem Eingang des Cross-Connectors (9) verbunden ist.

4. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite Prozeßsimulator (8) so aufgebaut ist, daß ein Multiplizierer (52) eingangsseitig mit dem Ausgang A5 einer Arithmetikeinheit (56), der auch mit einem Eingang eines Subtrahierers (57) verbunden ist, und dem Ausgang eines Wachstumssimulators (55) und ausgangsseitig mit einem Subtrahierer (54) verbunden ist, der zweite Eingang des Subtrahierers (54) zu einem Einheitsfestwertgeber (53) und sein Ausgang zum Wachstumsstimulator (55) führt, der Ausgang des Beobachters (5) mit dem zweiten Eingang des Subtrahierers (57) und einem Eingang eines Cross-Connectors (63) verbunden ist, der Ausgang des Subtrahierers (57) zu einem Multiplizierer (58) führt, der über einen weiteren Eingang mit dem Ausgang eines Biomassekonzentrationssimulators (59) und seinen Ausgang mit dem Eingang des Biomassekonzentrationssimulators (59) verbunden ist, dessen Ausgang zu einem Produktivitätsmesser (68) führt, der über weitere Eingänge mit dem Ausgang eines Prozeßsimulators für die Substratkonzentration (64) und den Festwertgebern (66) und (67) verbunden ist, der Ausgang des Produktivitätsmessers (68) den Ausgang A3 des Prozeßsimulators (8) bildet, die Ausgänge A5 und A6 der Arithmetikeinheit (56) mit den Eingängen eines Multiplizierers (60) verbunden sind, sein Ausgang zu einem Eingang eines Cross-Connectors (61) führt, dessen weitere Eingänge mit den Ausgängen der internen und externen Substratkonzentrationssimulatoren (62) und (64) und des Biomassekonzentrationssimulators (59) verbunden sind, der Ausgang des internen Substratkonzentrationssimulators (62) zum Cross-Connector (63) und zur Arithmetikeinheit (56) führt, die über einen weiteren Eingang mit dem Beobachter (3) verbunden ist, zwei weitere Eingänge des Cross-Connectors (63) mit dem Ausgang des Beobachters (2) und dem Ausgang des externen Substratkonzentrationssimulators (64) verbunden sind, dessen Eingang mit dem Ausgang des Cross-Connectors (63) gekoppelt ist, der Ausgang des externen Substratkonzentrationssimulators (64) zum Istwerteingang eines Substratkonzentrationsreglers (65) führt, dessen Sollwerteingang mit dem Ausgang A1 des Extremwertkalkulators (4) verbunden ist und dessen Ausgang den Ausgang A4 des Prozeßsimulators (8) bildet.

Hierzu 4 Seiten Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft eine Schaltungsanordnung zur Steuerung von Bioreaktoren in der mikrobiologischen Industrie.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Die bekannt gewordenen Vorrichtungen und Schaltungsanordnungen zur genauen Steuerung von Bioreaktoren sind zumeist durch aufwendige Messungen, wie z. B. Zell-, Substrat-, Gelöstsauerstoff-, NADH-, Phosphor- und Stickstoffkonzentration im Medium bzw. Sauerstoff- und Kohlendioxid in der Abluft gekennzeichnet (DD 157346, DD 225720, SU 1382852, DE 3139310) und verwenden eine dieser Größen als Leitgröße zur Rückkopplung (DD 160232, DD 248830) mit dem Ziel der größeren Genauigkeit der Regelung. Nachteil dieser Vorrichtungen und Verfahren ist, daß zum Teil komplizierte und aufwendige Meßapparaturen benötigt werden, die nur teilweise für on-line-Meß- und Regelaufgaben einsetzbar sind, oft einen hohen Wartungs- und Bedienungsaufwand erfordern und für den großtechnischen Produktionsbetrieb nur bedingt einsetzbar sind. Es sind weiterhin Vorrichtungen und Verfahren bekannt, die über eine Nährstoffdosierung die Zell- und Substratkonzentration auf einem konstanten Wert stabilisieren (DD 157346, SU 506611) und eine Vermehrung der Mikroorganismen nahe der maximalen Wachstumsrate sichern. Der Nachteil dieser Verfahren ist, daß sie keine Anpassung des Sollwertes an die aktuelle Prozeßsituation vorsehen, der Sollwert u. U. zwar genau eingestellt wird, aber die Raum-Zeit-Ausbeute nicht den potentiellen Möglichkeiten des Prozesses entspricht. Bekannt sind weiterhin Vorrichtungen und Verfahren, die die aktuelle Störsituation auswerten und den Prozeß rückkoppelnd auf vorgegebenen Sollwerten stabilisieren (DD 159011). Aufgrund der z. T. vorhandenen Totzeit bei der Messung, der relativ großen Zeitkonstante bei Produktionsbioreaktoren (mehrere Stunden) und der nur begrenzt zur Verfügung stehenden Stellenergie (z. B. Substratdosiermenge) lassen sich Störungen durch rückkoppelnde Regelungen nur auf ein bestimmtes Maß reduzieren, auch wenn Zeitpunkt und Störampplitude, wie beispielsweise bei diskontinuierlichem Substratansatz in vorgeschalteten Lagerbehältern, bekannt sind, wodurch die Stabilisierungsqualität der Regelung negativ beeinflußt wird.

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist die Erhöhung der Produktivität von Bioreaktoren durch hohe Genauigkeit und gute Stabilität der Steuerung.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Die Aufgabe der Erfindung ist es, eine Schaltungsanordnung zu entwickeln, die eine Erhöhung der Produktivität von Bioreaktoren durch hohe Genauigkeit und gute Stabilität der Steuerung gewährleistet. Die Schaltungsanordnung soll das unter Verwendung eines Extremwertkalkulators und zweier Prozeßsimulatoren ermöglichen. Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß an dem Bioreaktor ein Beobachter für die Eingangssubstratkonzentration und ein Beobachter für die Luftertrittsmenge angeschlossen sind, deren Ausgänge an den Extremwertkalkulator angeschlossen sind, die Ausgänge der Beobachter für die Luftertrittsmenge und die zum Zeitpunkt $(T + T_n)$ zu erwartende Eingangssubstratkonzentration mit einem ersten Prozeßsimulator verbunden sind, wobei der Ausgang A1 des Extremwertkalkulators, der Ausgang des Beobachters für die Eingangssubstratkonzentration, der Ausgang des Beobachters für die Luftertrittsmenge und der Ausgang des Beobachters für den Substratdosierstrom mit den Eingängen eines zweiten Prozeßsimulators und der Ausgang A2 des Extremwertkalkulators mit einem Eingang eines Cross-Connectors verbunden sind, dessen zwei Eingänge an die beiden Ausgänge der zwei Prozeßsimulatoren gekoppelt sind, der Ausgang des Cross-Connectors mit dem Sollwerteingang des Reglers und der Istwerteingang des Reglers mit dem Ausgang des Beobachters für den Substratdosierstrom verbunden ist, wobei der Ausgang des Reglers über die Substratdosiervorrichtung mit dem Bioreaktor verbunden ist.

Die Ausgänge der Beobachter sind mit einem Multiplizierer verbunden, der wiederum ausgangsseitig mit einem Eingang eines Dividierers verbunden ist. Der andere Eingang des Dividierers ist mit einem Festwertgeber und der Ausgang mit einem Subtraktionsglied und einem Multiplizierer gekoppelt. Der Eingang des Subtraktionsgliedes ist mit einem Einheitsfestwertgeber verbunden und sein Ausgang mit dem Eingang eines Multiplizierers. Der zweite Eingang dieses Multiplizierers ist über einen Addierer mit einem Festwertgeber und dem Ausgang eines Schalters für den Anfangsdurchsatz zur Optimierung verbunden. Der Ausgang des Multiplizierers ist mit einem Eingang eines Dividierers gekoppelt, dessen zweiter Eingang von einem Festwertgeber gespeist wird. Am Ausgang des Dividierers liegt der laufende Durchsatzzwischenwert an, der mit einem Eingang eines Multiplizierers verbunden ist, dessen zweiter Eingang mit dem Ausgang des ersten Dividierers und dessen dritter Eingang mit dem Ausgang des Addierers nach dem Schalter für den Anfangsdurchsatz gekoppelt ist. Der Ausgang des Multiplizierers ist mit dem Eingang eines Addierers verbunden, dessen anderer Eingang an den Einheitsfestwertgeber und dessen Ausgang an einen Radizierer angeschlossen ist. Der Ausgang des Radizierers ist mit einem Eingang eines Subtrahierers verbunden. Der andere Eingang des Subtrahierers ist mit dem Einheitsfestwertgeber gekoppelt und der Ausgang mit einem Dividierer, an dessen zweiten Eingang der laufende Durchsatzzwischenwert anliegt. Der Ausgang des Dividierers mit dem laufenden Durchsatzwert ist mit dem zweiten Eingang des Schalters für den Durchsatzanfangswert, dessen zweiter Eingang an einen Durchsatzfestwertgeber angeschlossen ist, einen Eingang eines Absolutsubtrahierers und dem Neuwerteingang des Schalters für den optimalen Durchsatz gekoppelt. Der zweite Eingang des Absolutsubtrahierers ist mit dem Ausgang des Schalters für den Anfangsdurchsatz verbunden. Der Ausgang des Absolutsubtrahierers ist mit dem Eingang eines Schwellwertschalters verbunden und dessen Ausgang mit dem Logikeingang des Schalters für den optimalen Durchsatz. Der dritte Eingang dieses Schalters ist mit dem Ausgang eines Speichers verbunden, dessen Eingang mit dem Ausgang des Schalters für den optimalen Durchsatz verbunden ist. Der Speicherausgang ist mit dem ersten Ausgang des Extremwertkalkulators und weiterhin mit einem Eingang einer Arithmetikeinheit verbunden, deren zweiter Eingang mit dem Beobachter für die Luftertrittsmenge gekoppelt ist. Der Ausgang der Arithmetikeinheit bildet den zweiten Ausgang des Extremwertkalkulators.

Der Ausgang des Prozeßbeobachters für die zum Zeitpunkt $(T + T_n)$ zu erwartende Eingangssubstratkonzentration ist mit einem Eingang eines Addierers verbunden, dessen zweiter Eingang mit einem Festwertgeber gekoppelt ist, der auch auf einen Eingang des danach angeordneten Dividierers geschaltet ist, während dessen zweiter Eingang mit dem Ausgang des Addierers verbunden ist. Der Ausgang des Dividierers ist mit einem Eingang eines Subtrahierers gekoppelt, dessen zweiter Eingang von einem Einheitsfestwertgeber gespeist wird und dessen Ausgang mit dem Eingang eines Radizierers verbunden ist. Der Ausgang des Radizierers ist mit einem Eingang eines Subtrahierers verbunden. Sein zweiter Eingang ist mit einem weiteren Einheitsfestwertgeber und sein Ausgang mit einem Multiplizierer gekoppelt, dessen zweiter Eingang von einem separaten Festwertgeber gespeist wird. Der Ausgang des Multiplizierers bildet den ersten Ausgang des ersten Prozeßsimulators. Intern ist dieser Ausgang mit einem Eingang eines Multiplizierers gekoppelt, dessen zweiter Eingang mit dem Ausgang eines Dividierers verbunden ist, dessen einer Eingang zu dem Ausgang des Prozeßbeobachters für die zum Zeitpunkt $(T + T_n)$ zu erwartende Eingangssubstratkonzentration führt und dessen zweiter Eingang mit dem Ausgang eines einstellbaren Festwertgebers gekoppelt ist. Der zweite Eingang des Multiplizierers ist mit dem ersten Ausgang des ersten Prozeßsimulators verbunden, während sein Ausgang zu einem Eingang eines Subtrahierers führt, dessen Ausgang mit einem zweiten Eingang des ersten Durchsatzreglers gekoppelt ist. Der zweite Eingang des Subtrahierers ist mit dem Ausgang eines Multiplizierers verbunden, zu dessen beiden Eingängen der erste Ausgang des ersten Prozeßsimulators intern rückgeführt ist. Ein dritter Eingang des Multiplizierers ist mit dem Ausgang eines Dividierers gekoppelt, von dem ein Eingang zu dem ersten Ausgang des ersten Prozeßsimulators und ein zweiter Eingang zu einem einstellbaren Festwertgeber führt. Ein zweiter Eingang des ersten Durchsatzreglers ist mit dem ersten Ausgang des ersten Prozeßsimulators verbunden und ein dritter Eingang des ersten Durchsatzreglers führt zum zweiten Ausgang des ersten Prozeßsimulators. Der Ausgang des ersten Durchsatzreglers bildet den zweiten Ausgang des ersten Prozeßsimulators. Der zweite Prozeßsimulator besteht aus einem Wachstums-, einem Biomassekonzentrations- und einem Substratkonzentrationssimulator, einer Arithmetikeinheit und einem Regler mit einem Produktivitätsmesser. Der Eingang des Wachstumssimulators ist mit dem einen Ausgang der Arithmetikeinheit verbunden, deren zweiter Eingang mit dem Prozeßbeobachter für die Luftertrittsmenge und dritter Eingang mit dem Ausgang des Substratkonzentrationssimulators verbunden ist. Der zweite Ausgang der Arithmetikeinheit ist mit dem ersten Eingang des Biomassekonzentrationssimulators verbunden. Der zweite Eingang ist mit dem ersten Ausgang der Arithmetikeinheit und der dritte Eingang mit dem Prozeßbeobachter für den Substratdosierstrom gekoppelt, der auch mit dem zweiten Eingang des

Substratkonzentrationsreglers verbunden ist. Der erste Eingang des Substratkonzentrationsreglers führt zum Ausgang des Biomassekonzentrationsreglers und der dritte Eingang zum Prozeßbeobachter für die Eingangssubstratkonzentration, dessen Ausgang mit dem ersten Eingang des Produktivitätsmessers gekoppelt ist. Der zweite Eingang des Produktivitätsmessers ist mit dem Ausgang des Prozeßsimulators für die Biomassekonzentration verbunden und mit seinem Ausgang an den Ausgang A3 des zweiten Prozeßsimulators angeschlossen. Der Ausgang des Substratkonzentrationsreglers ist mit dem Istwerteingang des Substratkonzentrationsreglers verbunden und dessen Sollwerteingang mit dem Ausgang A1 des Extremwertkalkulators. Ein Eingang eines nachgeschalteten Cross-Connectors ist mit dem Ausgang des Substratkonzentrationsreglers verbunden, ein zweiter Eingang mit dem Ausgang des Durchsatzreglers und ein dritter Eingang mit dem Ausgang A2 des Extremwertkalkulators. Der Ausgang des Cross-Connectors führt zu einer Substratdosiervorrichtung, die über ihren Stellausgang mit dem Bioreaktor verbunden ist.

Die Schaltungsanordnung zur Steuerung von Bioreaktoren arbeitet wie folgt:

Ein Extremwertkalkulator ermittelt periodisch die günstigsten Werte der Substratkonzentration im Bioreaktor in Abhängigkeit von der aktuellen Eingangssubstratkonzentration und der Lufterintrittsmenge. Die Bestimmung erfolgt in jeder Periode durch eine Folge von Iterationsschritten. Die Periodendauer wird vorzugsweise durch die kleinste dominierende Zeitkonstante der Prozeß- und Störgrößendynamik bestimmt. Ein Festwertgeber stellt einen Durchsatzanfangswert zur Verfügung, der über einen Schalter zu Beginn jeder Iteration in die Iterationsschleife eingespeist wird. Die einzelnen Blöcke ermitteln einen laufenden Durchsatzzwischenwert, der als Startwert für den nächsten Iterationsschritt verwendet wird. Sobald die absolute Differenz zwischen zwei Iterationsschritten eine Grenze unterschreitet, signalisiert ein Schwellwertschalter das Iterationsende, wobei er kurzzeitig über den Logikeingang einen Schalter umschaltet, so daß der ermittelte günstigste Durchsatz in einen Speicher übernommen wird. Dort steht er bis zur nächsten Iteration der Prozeßführung zur Verfügung.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Zeichnungen an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert. In den Zeichnungen zeigen

- Fig. 1: das Blockschaltbild der Schaltungsanordnung,
- Fig. 2: die innere Struktur des Extremwertkalkulators,
- Fig. 3: den Aufbau des ersten Prozeßsimulators,
- Fig. 4: den Aufbau des zweiten Prozeßsimulators.

Die Schaltungsanordnung besteht entsprechend Figur 1 aus einem Bioreaktor 1, in dem sich der zu kultivierende Mikroorganismenstamm befindet und mit diesem verbundenen Beobachtern für die Substrateingangskonzentration 2, die Lufterintrittsmenge 3 und den Substratdosierstrom 5. Die Ausgänge der Beobachter 2 und 3 liegen an den beiden Eingängen des Extremwertkalkulators 4 an, der an seinen Ausgängen A1 und A2 Signale für die statisch günstigste Substratkonzentration und den statisch optimalen Durchsatz bereitstellt. Die Ausgänge des Beobachters für die Lufterintrittsmenge 3 und die zum Zeitpunkt $(T + T_n)$ zu erwartende Eingangssubstratkonzentration 6 sind mit den Eingängen des Prozeßsimulators 7 verbunden, der an einem weiteren Eingang ein Signal der aktuellen Produktivität über den Ausgang A3 des Prozeßsimulators 8 empfängt und ein Korrektursignal für den Substratdosierstrom ausgibt, das zu erkennenden Störungen der Eingangssubstratkonzentration prädictiv entgegenwirkt. Der Prozeßsimulator 8 ist eingangsseitig mit den Ausgängen der Beobachter für die Eingangssubstratkonzentration 2, die Lufterintrittsmenge 3, den Substratdosierstrom 5 und dem Ausgang A1 des Extremwertkalkulators 4 verbunden. Das Ausgangssignal A4 des Prozeßsimulators 8 stellt den Korrekturwert für den Substratdosierstrom bei aktuell anliegenden Störungen dar und ist zusammen mit dem Ausgang A2 des Extremwertkalkulators 4 und dem Ausgang des Prozeßsimulators 7 mit dem Eingang des Cross-Connectors 9 verbunden, der die Signale überlagert und den Sollwert für den Substratdosierstrom an den Regler 10 übergibt, der den Istwert des Substratdosierstroms vom Beobachter 5 übernimmt. Der Stellausgang des Reglers 10 ist mit dem Eingang der Substratdosiervorrichtung 11 verbunden, die den Substratdosierstrom in den Bioreaktor 1 einstellt.

Figur 2 zeigt die innere Struktur des Extremwertkalkulators 4. Die von den Beobachtern für die Lufterintrittsmenge 3 und den Substratdosierstrom 2 kommenden Signale sind mit dem Multiplizierer 12 verbunden, dessen Ausgang mit einem Eingang des Dividierers 14 verbunden ist, der über seinen zweiten Eingang an den Festwertgeber 13 und mit seinem Ausgang an den Subtrahierer 15 und den Multiplizierer 20 gekoppelt ist. Der zweite Eingang des Subtrahierers 15 ist mit dem Einheitsfestwertgeber 16 verbunden und sein Ausgang mit dem Multiplizierer 17. Der zweite Eingang des Multiplizierers 17 ist an den Addierer 24 gekoppelt, dessen erster Eingang mit dem Festwertgeber 23 verbunden ist und dessen zweiter Eingang an den Ausgang des Schalters 22 gekoppelt ist. Der Ausgang des Multiplizierers 17 ist mit einem Eingang des Dividierers 19 verbunden, an dessen zweitem Eingang das Ausgangssignal des Festwertgebers 18 anliegt. Der Ausgang des Dividierers 19 ist mit dem einen Eingang des Multiplizierers 20 verbunden und sein zweiter Eingang mit dem Ausgang des Dividierers 14. Der Ausgang des Multiplizierers 20 ist mit dem Addierer 26 verbunden, der sein zweites Eingangssignal von dem Einheitsfestwertgeber 25 erhält und ausgangssseitig mit dem Radizierer 27 verbunden ist. Dessen Ausgang führt zu dem Subtrahierer 28, der über seinen zweiten Eingang ebenfalls mit dem Einheitsfestwertgeber 25 verbunden ist. Die Ausgänge des Subtrahierers 28 und des Multiplizierers 17 sind an den Dividierer 29 gekoppelt, der ausgangssseitig mit dem Absolutsubtrahierer 30, dem Schalter für den Durchsatzanfangswert 22 und dem Schalter für den optimalen Durchsatz 32 verbunden ist.

Der zweite Eingang des Schalters für den Durchsatzanfangswert 22 ist an den Durchsatzfestwertgeber 21 gekoppelt. Der Ausgang des Absolutsubtrahierers 30 ist mit dem Schwellwertschalter 31 verbunden, dessen Logikausgang den Schalter 32 steuert. Der Ausgang des Schalters 32 führt zum Speicher 33, der ausgangsseitig an den dritten Eingang des Schalters 32 gekoppelt ist, den Ausgang A2 des Extremwertkalkulators 4, den statisch günstigsten Durchsatz, und über die Arithmetikeinheit 34 den Ausgang A1 des Extremwertkalkulators 4, die statisch günstigste Substratkonzentration, bildet. Figur 3 zeigt die innere Struktur des ersten Prozeßsimulators. Der Ausgang des Beobachters für die zum Zeitpunkt $(T + T_n)$ zu erwartende Eingangssubstratkonzentration 6 ist mit dem Eingang des Addierers 36 verbunden, dessen zweiter Eingang mit dem Festwertgeber 35 gekoppelt ist, der auch auf den zweiten Eingang des danach angeordneten Dividierers 37 geschaltet ist, während dessen zweiter Eingang mit dem Ausgang des Addierers 36 verbunden ist. Der Ausgang des Dividierers 37 führt zum Subtrahierer 39, der über seinen zweiten Eingang mit dem Einheitsfestwertgeber 38 und seinen Ausgang mit dem Radierer 40 verbunden ist. Der Ausgang des Radierers 40 ist mit dem Subtrahierer 41 verbunden, dessen zweiter Eingang von dem Einheitsfestwertgeber 38 gespeist wird und dessen Ausgang zu dem Multiplizierer 43 führt. Ein weiterer Eingang des Multiplizierers 43 ist mit dem Festwertgeber 42 verbunden und der Ausgang des Multiplizierers 43 führt zum Multiplizierer 46, dem Dividierer 48, dessen zweiter Eingang mit dem Festwertgeber 47 verbunden ist, dem Multiplizierer 49 und dem Sollwerteingang des Durchsatzreglers 51. Der Dividierer 45 ist eingangsseitig mit dem Beobachter für die zum Zeitpunkt $(T + T_n)$ zu erwartende Eingangssubstratkonzentration 6 und dem Festwertgeber 44 verbunden, führt über seinen Ausgang zum Multiplizierer 46, der wiederum ausgangsseitig mit dem Subtrahierer 50 verbunden ist, dessen zweiter Eingang mit dem Ausgang des Multiplizierers 49 und dessen Ausgang mit dem zweiten Eingang des Durchsatzreglers 51 verbunden ist. Der dritte Eingang des Durchsatzreglers 51 ist mit dem Ausgang A3 des Prozeßsimulators 8 verbunden. Der Durchsatzreglerausgang ist mit einem Eingang des Cross-Connectors 8 verbunden. Figur 4 zeigt den inneren Aufbau des zweiten Prozeßsimulators. Der Multiplizierer 52 ist eingangsseitig mit dem Ausgang A5 der Arithmetikeinheit 56, der auch mit einem Eingang des Subtrahierers 57 verbunden ist, und dem Ausgang des Wachstumssimulators 55 und ausgangsseitig mit dem Subtrahierer 54 verbunden. Der zweite Eingang des Subtrahierers 54 führt zum Einheitsfestwertgeber 53 und der Ausgang zum Wachstumssimulator 55. Der Ausgang des Beobachters für den Substratdosierstrom ist mit dem zweiten Eingang des Subtrahierers 57 und einem Eingang des Cross-Connectors 63 verbunden. Der Ausgang des Subtrahierers 57 führt zum Multiplizierer 58, der über einen weiteren Eingang mit dem Ausgang des Biomassekonzentrationssimulators 59 und seinen Ausgang mit dem Eingang des Biomassekonzentrationssimulators 59 verbunden ist. Dessen Ausgang führt zum Produktivitätsmesser 68, der über weitere Eingänge mit dem Ausgang des Prozeßsimulators für die Substratkonzentration 64 und den Festwertgebern 66 und 67 verbunden ist. Der Ausgang des Produktivitätsmessers 68 bildet den Ausgang A3 des Prozeßsimulators 8. Die Ausgänge A5 und A6 der Arithmetikeinheit 56 sind mit den Eingängen des Multiplizierers 60 verbunden, sein Ausgang führt zu einem Eingang des Cross-Connectors 61, dessen weitere Eingänge mit den Ausgängen der internen und externen Substratkonzentrationssimulatoren 62 und 64 und des Biomassekonzentrationssimulators 59 verbunden sind. Der Ausgang des internen Substratkonzentrationssimulators 62 führt zum Cross-Connector 63 und zur Arithmetikeinheit 56, die über einen weiteren Eingang mit dem Beobachter für die Luft Eintrittsmenge 3 verbunden ist. Zwei weitere Eingänge des Cross-Connectors 63 sind mit dem Ausgang des Beobachters für die Eingangssubstratkonzentration 2 und dem Ausgang des externen Substratkonzentrationssimulators 64 verbunden, dessen Eingang mit dem Ausgang des Cross-Connectors 63 gekoppelt ist. Der Ausgang des externen Substratkonzentrationssimulators 64 führt zum Istwerteingang des Substratkonzentrationsreglers 65, dessen Sollwerteingang mit dem Ausgang A1 des Extremwertkalkulators 4 verbunden ist und dessen Ausgang den Ausgang A4 des Prozeßsimulators 8 bildet.

Die Schaltungsanordnung zur Steuerung von Bioreaktoren arbeitet nach folgendem Schema: Der Extremwertkalkulator 4 ermittelt periodisch die günstigsten Werte für Substratdosierstrom und Substratkonzentration im Bioreaktor 1 in Abhängigkeit von der aktuellen Eingangssubstratkonzentration und der Luft Eintrittsmenge. Die Bestimmung erfolgt in jeder Periode durch eine Folge von Iterationsschritten. Die Periodendauer wird vorzugsweise durch die kleinste dominierende Zeitkonstante der Prozeß- und Stördynamik bestimmt. Der Festwertgeber 21 stellt einen Durchsatzanfangswert zur Verfügung, der über den Schalter 22 zu Beginn jeder Iteration in die Iterationsschleife eingespeist wird. Die Blöcke 12–19 und 23–29 ermitteln einen laufenden Durchsatzzwischenwert, der als Startwert für den nächsten Iterationsschritt verwendet wird. Sobald die absolute Differenz zwischen zwei Iterationsschritten, die Block 30 ermittelt, eine Grenze unterschreitet, signalisiert der Schwellwertschalter 31 das Iterationsende, wobei er kurzzeitig über den Logikeingang den Schalter 32 umschaltet, so daß der ermittelte günstigste Durchsatz vom Ausgang des Blocks 29 in den Speicher 33 übernommen wird. Dort steht er bis zur nächsten Iteration am Ausgang A2 der Prozeßführung zur Verfügung. Die Arithmetikeinheit 34 ermittelt daraus über die Prozeßbilanzgleichung die günstigste Substratkonzentration, die über den Ausgang A1 dem Prozeßsimulator 8 übergeben wird. Der Prozeßsimulator 7 bestimmt anhand der vom Beobachter für die zum Zeitpunkt $(T + T_n)$ zu erwartende Eingangssubstratkonzentration 6 ermittelten Werte über die Substratbilanz Block 35–43 den zum Zeitpunkt $(T + T_n)$ günstigsten Durchsatz und die dem entsprechende Produktivität in den Blöcken 44–50. Der Durchsatzregler 51 berücksichtigt sowohl die Differenz zwischen der aktuellen Produktivität und der zum Zeitpunkt $(T + T_n)$ zu erwartenden Produktivität, als auch die Änderung des Durchsatzes bei sich ändernder Eingangssubstratkonzentration prädiktiv entgegengefahren ohne erst die Auswirkungen auf den Prozeß und die erst dann möglichen rückkoppelnden Regeleinriffe abzuwarten. Aufgrund der begrenzten Stellenergie und der Trägheit des Prozesses kann das Prozeßverhalten über eine Rückkopplung nicht beliebig schnell gemacht werden, so daß dieser prädikative Eingriff eine wesentlich bessere Anpassung an verschiedene Störsituationen ermöglicht. Der Wachstumssimulator, Block 52–56, im Prozeßsimulator 8 führt über die Luft Eintrittsmenge und die interne Substratkonzentration das aktuelle Wachstum nach, das gemeinsam mit dem Substratdurchsatz die Eingangssignale für den Biomassekonzentrationssimulator, Block 57–59, bildet, der wiederum gemeinsam mit dem Wachstumssignal dem Substratdurchsatz und der Eingangssubstratkonzentration den internen und externen Substratkonzentrationssimulator, Block 60–64, speist. Die dort ermittelte Substratkonzentration dient als Istwert für den Substratkonzentrationsregler 65, dessen Sollwert vom Ausgang A1 des Extremwertkalkulators 4 bereitgestellt wird.

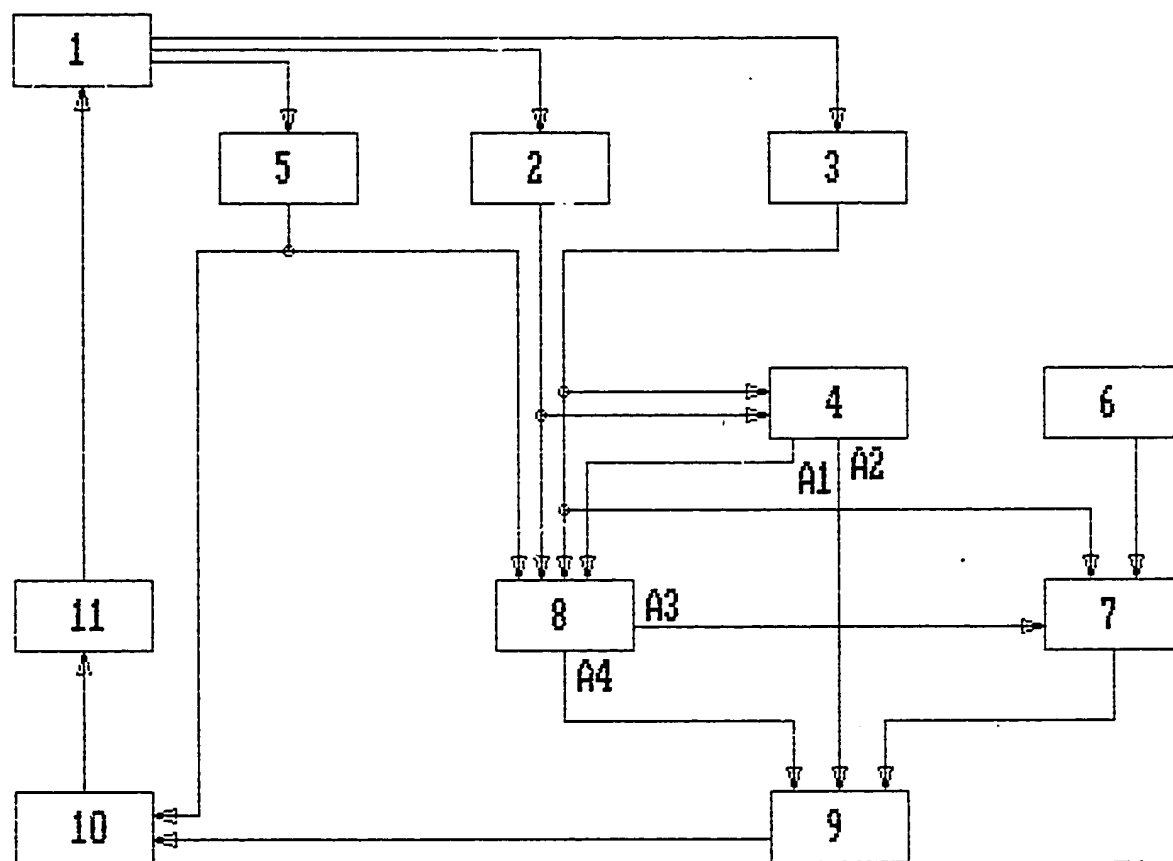


Fig. 1

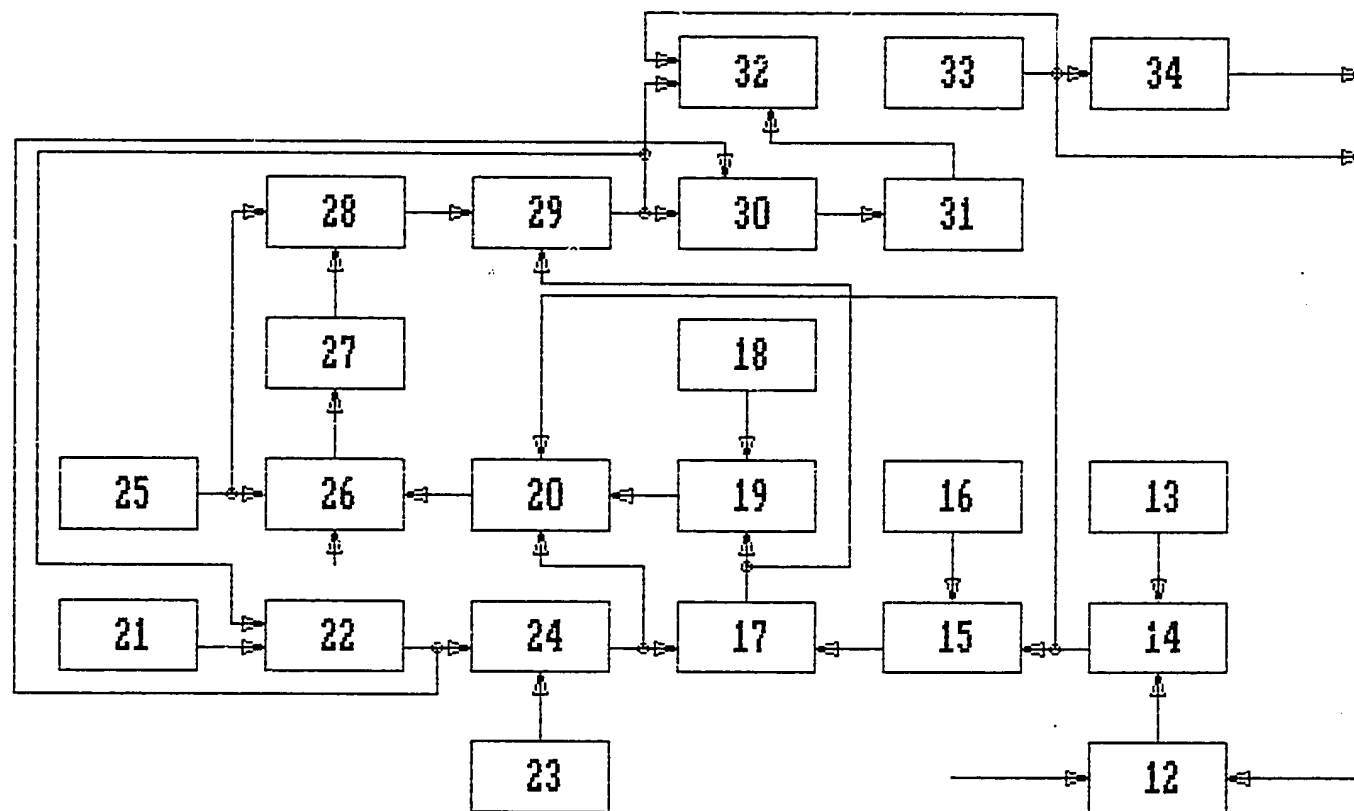


Fig. 2

287267 7

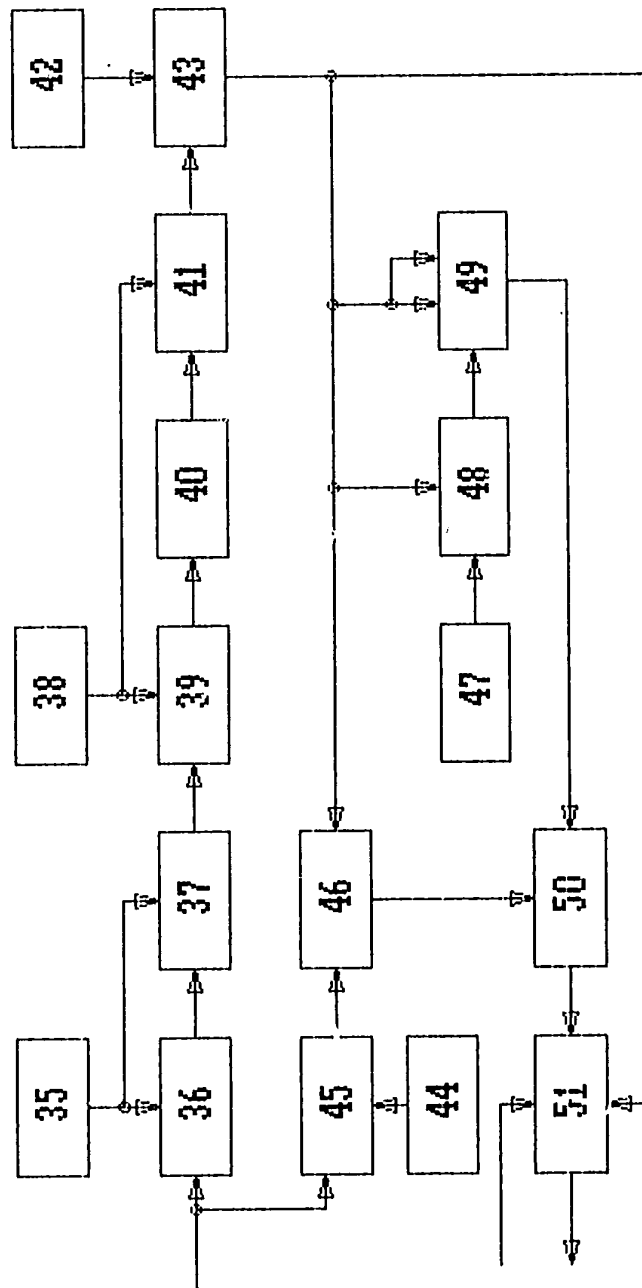


Fig. 3

