



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Int. Cl.<sup>3</sup>: G 05 B  
// B 28 C

13/00  
7/02

# Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein

Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978



**PATENT**SCHRIFT A5

11

628 164

21 Gesuchsnummer: 7830/77

22 Anmeldungsdatum: 27.06.1977

30 Priorität(en): 20.08.1976 DE 2637620

24 Patent erteilt: 15.02.1982

45 Patentschrift  
veröffentlicht: 15.02.1982

73 Inhaber:  
Siemens Aktiengesellschaft, Berlin und München,  
München 2 (DE)

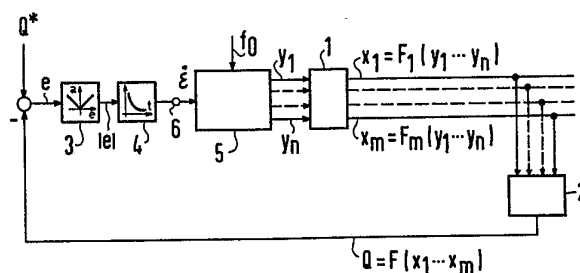
72 Erfinder:  
Dr. Hansjörg Hammer, Erlangen (DE)

74 Vertreter:  
Siemens-Albis Aktiengesellschaft, Zürich

## 54 Verfahren zum Regeln einer von mehreren Stellgrößen abhängigen Grösse.

57 Beginnend mit einer Stellgrösse, z.B.  $y_1$ , wird diese schrittweise in derselben Richtung solange verstellt, bis das Minimum der Regelabweichung  $e$  überlaufen ist. Als Kriterium dafür dient der Vorzeichenwechsel von Minus nach Plus des Betrags des zeitlichen Differentialquotienten  $\dot{e}$  der Regelabweichung. Die Verstellrichtung wird nun umgekehrt und das Minimum wiederum überlaufen. Dies wird solange mit derselben Stellgrösse wiederholt, bis eine vorgegebene Anzahl derartiger Vorzeichenwechsel eingetreten ist. Sodann werden nacheinander in zyklischer Reihenfolge die anderen Stellgrößen  $y_2, y_3, \dots, y_n$  in derselben Art verändert.

Das Verfahren wird vorzugsweise bei der Zementherstellung für die Mischungsregelung einer Rohmaterialmühle verwendet.



## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum Regeln einer von mehreren Stellgrößen abhängigen Grösse unter Minimierung einer Fehlerfunktion, wobei jeweils eine der Stellgrößen schrittweise in derselben Richtung verändert wird, dadurch gekennzeichnet, dass die Veränderung einer Stellgrösse in derselben Richtung in regelmässigen Zeitabständen solange erfolgt, bis sich das Vorzeichen des zeitlichen Differentialquotienten des zu minimierenden Fehlerbetrags ( $|\epsilon|$ ) zwischen einem vorgebbaren Sollwert ( $Q^*$ ) und dem Istwert ( $Q$ ) der zu regelnden Grösse von Minus nach Plus geändert hat, dass hierauf eine schrittweise Veränderung derselben Stellgrösse in der entgegengesetzten Richtung bis zu einem abermaligen Vorzeichenwechsel des zeitlichen Differentialquotienten des zu minimierenden Fehlerbetrags von Minus nach Plus erfolgt und dies mit derselben Stellgrösse solange wiederholt wird, bis eine vorbestimmte Anzahl derartiger Vorzeichenwechsel eingetreten ist, worauf dann die übrigen Stellgrößen jeweils nacheinander in zyklischer Reihenfolge in der gleichen Weise verändert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei Vorgabe von mehreren Sollwerten für mehrere Regelgrößen jeweils gesondert die Beträge der Fehler zwischen diesen Sollwerten und ihren entsprechenden Istwerten ermittelt und dass der Fehlerbetrag aus der Summe der Fehler gebildet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass beim Überschreiten eines vorgebbaren Grenzwertes von einer der Stellgrößen als Änderungskriterium der Vorzeichenwechsel des zeitlichen Differentialquotienten aus der Summe des Fehlerbetrags ( $|\epsilon|$ ) und einer positiven Grösse ( $e_g$ ) verwendet wird, welche von der Differenz zwischen dieser Stellgrösse und dem vorgebbaren Grenzwert derselben abhängig ist.

4. Verfahren nach Anspruch 2 zur Mischungsregelung einer Rohmaterialmühle bei der Zementherstellung, dadurch gekennzeichnet, dass die Istwerte der zu regelnden Größen von einem von den Stellgrößen beaufschlagten schnellen Mühlenmodell simuliert, mit entsprechenden Ausgangsgrößen von überlagerten Modulreglern (29a, 29b, 29c) verglichen werden und die Summe der Beträge dieser Abweichungen gebildet und als Fehlerbetragssumme verwendet ist.

5. Einrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch folgende Merkmale:

a) Die Zählgänge von digitalen Zweirichtungszählern (15, 16, 17), deren Ausgangssignale die Stellgrößen bilden, werden in Abhängigkeit von den Ausgangssignalen eines rückgekoppelten Schieberegisters (10) nacheinander zyklisch mit dem Ausgang eines Taktgenerators (14) verbunden,

b) der Betrag der Differenz zwischen dem vorgegebenen Sollwert ( $Q^*$ ) und dem Istwert ( $Q$ ) der Regelgrösse wird über ein Differenzglied (33) einem Kippverstärker (7) zugeführt, dessen Ausgang mit dem Zählgang eines repetierend von Null bis zu einem bestimmten Wert arbeitenden und danach jeweils rücksetzbaren Zählers (8), sowie mit dem Eingang einer bistabilen Kippstufe (24) verbunden ist,

c) die die Zählrichtung bestimmenden Eingänge der digitalen Zweirichtungszähler sind mit den Ausgängen der bistabilen Kippstufe (24) verbunden,

d) das Schieberegister wird von den Rücksetzimpulsen des repetierend arbeitenden Zählers (8) weiterschaltet.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren gemäss dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

Ein derartiges Verfahren ist bekannt nach der Zeitschrift «Regelungstechnik und Prozess-Datenverarbeitung» 1972,

Heft 5, S. 190–198. Vorgeschlagen ist dort, das Minimierungsverfahren nach Zangwill (Computer-Journal, Vol. 10 (1967), Nr. 3, S. 293–296) anzuwenden, welches im wesentlichen darin besteht, eine den Stellgrößen entsprechende Anzahl von jeweils zueinander senkrechten Suchrichtungen zu bestimmen, von einem Startpunkt aus entlang dieser Suchrichtungen die Fehlerfunktion schrittweise zu minimieren und dann einen neuen Satz von zueinander senkrechten Suchrichtungen zu bestimmen, wobei eine der neuen Richtungen die Richtung des bei der zuvor durchgeführten Minimierung ermittelten «Erfolgsvektors» aufweist. Dieses Verfahren bedingt einen grossen mathematischen Aufwand und erfordert zu seiner praktischen Verwirklichung den Einsatz eines Prozessrechners.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Regelverfahren der eingangs genannten Art aufzuzeigen, welches mathematisch weniger aufwendig ist, nicht den Einsatz eines Prozessrechners erfordert bzw. bei Einsatz eines Rechners wesentlich schneller ablaufen kann. Gelöst wird diese Aufgabe erfindungsgemäss durch die im Patentanspruch 1 angegebenen Merkmale.

Eine einfache Einrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens ergibt sich durch die Merkmale des Patentanspruchs 5.

Nachstehend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Figuren näher erläutert. Es zeigen

Fig. 1 ein allgemeines Blockschaltbild,

Fig. 2 und Fig. 3: Diagramme zum zeitlichen Ablauf des Minimierungsverfahrens 1

Fig. 4: eine gerätetechnische Realisierung des Minimalwertreglers,

Fig. 5: ein Blockschaltbild zur Mischungsregelung an einer Rohmaterialmühle als Anwendungsbeispiel der Erfindung,

Fig. 6: eine Schaltung zur Bildung des zeitlichen Differentialquotienten des Fehlerbetrags bei einer Mischungsregelung entsprechend Fig. 5,

Fig. 7: eine Schaltung zur statischen Nachbildung einer Rohmaterialmühle.

In dem allgemeinen Blockschaltbild der Figur 1 ist mit 1 die Regelstrecke bezeichnet, auf welche  $n$  Stellgrößen  $y_1, \dots, y_n$  wirken. Die  $m$  Ausgangsgrößen der Regelstrecke sind mit  $x_1, \dots, x_m$  bezeichnet, wobei diese beliebige Funktionen  $F_1, \dots, F_m$  der Stellgrößen  $y_1, \dots, y_n$  sein können. Aus den Ausgangsgrößen  $x_1, \dots, x_m$  wird mittels eines Rechengerätes 2 der Istwert der zu regelnden Grösse  $Q$  ermittelt, welche ihrerseits eine Funktion  $F$  der Ausgangsgrößen  $x_1, \dots, x_m$  ist. Das Regelziel besteht nun darin, durch geeignete Wahl der Stellgrößen  $y_1, \dots, y_n$  die Grösse  $Q$  möglichst gut einem vorgebbaren Sollwert  $Q^*$  anzunähern. Hierzu wird die Regelabweichung  $e$  zwischen dem Sollwert  $Q^*$  und dem Istwert  $Q$  einem Betragsbildner 3 zugeführt, dessen Ausgangssignal einem Differenzglied 4 zugeführt wird. Das Ausgangssignal  $\dot{e}$  des Differenzgliedes 4, welches dem zeitlich differenzierten Betrag der Regelabweichung  $e$  zwischen dem Sollwert und dem Istwert der zu regelnden Grösse entspricht, beaufschlagt einen Minimalwertregler 5. Dieser verändert nun fortlaufend seine Ausgangsgrösse, d.h. die Stellgrößen  $y_1, \dots, y_n$ , in der Weise, dass zunächst eine beliebige diese Stellgrößen in regelmässigen, durch die dem Minimalwertregler zugeführte Taktfrequenz  $f_0$  bestimmten Zeitabständen, schrittweise solange in derselben Richtung verändert wird, bis sich die Polarität des an der Eingangs-klemme 6 des Minimalwertreglers 5 anliegenden Signale  $\dot{e}$  von Minus nach Plus geändert hat. Dann wird der Richtungssinn der Stellschrittveränderung dieser Stellgrösse umgekehrt und diese solange schrittweise verändert, bis wiederum ein derartiger Polaritätswechsel aufgetreten ist. Dieser Vorgang setzt sich mit derselben Stellgrösse solange fort, bis eine bestimmte Anzahl von Polaritätswechseln erfolgt ist, woraufhin die nächste Stellgrösse in derselben Art verändert wird. So gelingt es, selbsttätig die

kleinstmögliche Abweichung  $e$  vom vorgegebenen Zielwert  $Q^*$  zu finden und beizubehalten.

Figur 2 dient zur prinzipiellen Erläuterung des erfindungsgemässen Verfahrens. Es sei angenommen, dass bei jeweils zu den Zeitpunkten  $t_1, t_2, t_3, \dots$  schrittweise vorgenommener Veränderung einer Stellgrösse in einer Richtung der Fehler, d.h. die Abweichung der Regelgrösse  $Q$  vom vorgegebenen Sollwert  $Q^*$  den mit  $e$  bezeichneten Verlauf aufweist und im Zeitpunkt  $t_0$  zu Null wird. Der Betrag des Fehlers hat dann den mit  $|e|$  und die zeitliche Ableitung des Fehlerbetrags den mit  $\dot{e}$  beschriebenen

Verlauf, wobei hier  $\dot{e}$  wie folgt definiert ist:  $\dot{e} = \frac{d}{dt} |e|$ . Solange

die Funktion  $\dot{e}$  negative Polarität aufweist, ist die Verstellrichtung der Stellgrösse richtig gewählt, d.h. man bewegt sich in Richtung auf das Minimum zu, während ab dem Augenblick, in welchem sich das Vorzeichen der Funktion  $\dot{e}$  von Minus nach Plus ändert, die ursprünglich gewählte Verstellrichtung vom Fehlerminimum wegführen würde. Es wird daher die Verstellrichtung nach einem von Minus nach Plus erfolgtem Vorzeichenwechsel umgekehrt, so dass man sich wiederum in Richtung einer Fehlerverminderung bewegt. Findet mit dieser geänderten Stellrichtung ein abermaliges Überlaufen des Fehlerminimums statt, dann wird sich wiederum das Vorzeichen der Funktion  $\dot{e}$  von Minus nach Plus ändern und dadurch eine erneute Umkehr der Verstellrichtung veranlasst. Es findet also ein dauerndes Hin- und Herpendeln um das Fehlerminimum, d.h. um den vorgegebenen Sollwert, statt. An der geschilderten Wirkungsweise ändert sich nichts, wenn die Fehlerfunktion  $e$  bei der ursprünglich angenommenen Stellrichtung von positiven Werten gegen das Fehlerminimum strebt.

Meist wird es bei Regelstrecken mit mehreren Stellgrössen aufgrund gegenseitiger Verkopplung gar nicht möglich sein, dass die Fehlerfunktion  $e$  den Wert Null erreichen kann. Dieser Fall ist bei dem Diagramm der Figur 3 zugrunde gelegt. Wiederum ist dort mit  $e$  die Fehlerfunktion, mit  $|e|$  der Absolutbetrag des Fehlers und mit  $\dot{e}$  die zeitliche Ableitung des Fehlerbetrags bezeichnet. Negatives Vorzeichen von  $\dot{e}$  bewirkt, dass die Funktion  $|e|$  kleiner wird und ein Vorzeichenwechsel von  $\dot{e}$  von negativer zu positiver Polarität ist ein Kriterium dafür, dass das Minimum von  $|e|$  überlaufen wurde. Dieses Kriterium kann somit zur Umkehr der Verstellrichtung benutzt werden. Beim dargestellten Beispiel erfolgt dies nach dem zum Zeitpunkt  $t_4$  bewirkten Verstellschritt. Zum Zeitpunkt  $t_5$  wird demnach die Verstellrichtung umgekehrt und diese Verstellrichtung solange beibehalten, bis ein erneutes Überlaufen über das Minimum stattfindet, was dann wiederum eine Änderung der Verstellrichtung veranlasst. An diesen grundsätzlichen Ablauf ändert sich nichts, wenn als Fehlerfunktion die an der t-Achse gespiegelte Funktion  $e$  angenommen wird. In diesem Falle würden zwar die Funktion  $e$  und die Funktion  $|e|$  zusammenfallen, die Funktion  $\dot{e}$  bleibt jedoch unverändert und damit auch das erfindungsgemässe Verfahren.

Figur 4 zeigt ein Beispiel für eine einfache gerätetechnische Realisierung des in Figur 1 mit 5 bezeichneten Minimalwertreglers mit drei Ausgangsgrössen  $y_1, y_2, y_3$ . Seiner Eingangsklemme 6 wird eine Spannung zugeführt, welche der zeitlichen Ableitung  $\dot{e}$  des zu minimierenden Fehlerbetrags proportional ist. Ein Kippverstärker 7 dient zu sicheren Erfassung des Vorzeichenwechsels, was insbesondere bei dem in Figur 3 dargestellten Fall wichtig ist. Der Ausgang des Kippverstärkers 7 ist mit dem Zählengang eines 3-Bit-Zählers 8 verbunden, dessen Zählstufenausgänge an die Eingänge eines UND-Gatters 9 angeschlossen sind. Der Ausgang des Kippverstärkers 7 ist ausserdem mit dem dynamischen Eingang einer bistabilen Kippstufe 24 verbunden. Das Ausgangssignal des UND-Gatters 9 setzt einerseits den Zählerstand des Zählers 8 auf den Wert Null zurück und schaltet andererseits ein rückgekoppeltes Schieberegister 10

weiter. Von den drei Stufen des Schieberegisters 10 führt jeweils nur eine ein L-Signal; dies sei im betrachteten Augenblick die schraffiert hervorgehobene Stufe. Ändert sich das Ausgangssignal des Kippverstärkers 7 von negativer zu positiver Polarität, dann entstehen ansteigende Impulsflanken, welche bewirken, dass die bistabile Kippstufe ihre jeweilige Lage ändert und die, gerade ein L-Signal aufweise Schieberegisterstufe, dieses L-Signal an die ihr benachbarte weitergibt und daraufhin selbst wieder ein Nullsignal annimmt. Führt nach zwei solcher Signalwechseln die in Figur 4 zu unterst gezeichnete Schieberegisterstufe ein L-Signal, so wird der nächste solche Signalwechsel infolge der Rückkopplung des Schieberegisters 10 bewirken, dass das L-Signal daraufhin wieder an der obersten Schieberegisterstufe auftritt, während die übrigen Nullsignal aufweisen.

Die Ausgänge  $z_1, z_2, z_3$  der Schieberegisterstufen sind mit den einen Eingängen der UND-Gatter 11, 12 und 13 verbunden, an deren anderen Eingängen der Ausgang eines Taktgenerators 14 angeschlossen ist. Jeweils derjenige Ausgang  $z_1, z_2$  oder  $z_3$ , welcher gerade ein L-Signal aufweist, gibt somit das ihm zugeordnete UND-Gatter für die vom Taktgenerator erzeugten Taktimpulse frei, welche dann auf den Zählengang eines der Zweirichtungszähler 15, 16 oder 17 gelangen. Der Zählerinhalt jedes dieser zwei Richtungszähler wird von ihnen jeweils zugeordneten Digital-Analog-Wandlern 18, 19 und 20 in entsprechende analoge Spannungen  $y_1, y_2, y_3$  umgewandelt, welche dann an den Ausgangsklemmen 21, 22 und 23 als Stellsignale erscheinen. Die Zählrichtung der Zähler 15 bis 17 bestimmt sich jeweils danach, welche der beiden mit R und V bezeichneten Ausgänge der bistabilen Kippstufe 24 ein L-Signal führt. Weist z.B. der Ausgang V ein L-Signal auf, dann würde der Zählerstand des jeweils von den Impulsen des Taktgenerators 14 beaufschlagten Zweirichtungszählers erhöht werden, während er andererseits erniedrigt wird, falls der mit R bezeichnete Ausgang der bistabilen Kippstufe 24 L-Signal führt.

Die Wirkungsweise der in Figur 4 dargestellten Anordnung ist folgende: Im betrachteten Augenblick sei das Eingangssignal an der Klemme 6 von negativer Polarität, und der mit V bezeichnete Ausgang der bistabilen Kippstufe 24 sowie der Ausgang  $z_1$  des Schieberegisters 10 führen je ein L-Signal. Das Gatter 11 ist somit für die Impulse des Taktgenerators 14 durchlässig und der Stand des Zählers 15 wird erhöht. Die Stellgrösse  $y_1$  wird nun schrittweise vergrössert und zwar solange, bis das an der Klemme 6 anliegende Eingangssignal sein Vorzeichen wechselt, das, wie zuvor ausgeführt, als Kriterium für das Überlaufen über das Fehlerminimum dient. Dieser Polaritätswechsel von negativer zu positiver Polarität bewirkt, dass sich der Zählerstand des Zählers 8 um eine Einheit erhöht und dass die bistabile Kippstufe 24 in die Lage versetzt wird, in welcher ihr mit R bezeichneter Ausgang ein L-Signal aufweist. Daraufhin kehrt sich die Zählrichtung des Zählers 15 um und die Stellgrösse  $y_1$  wird nun schrittweise vermindert. Aufgrund dieser Umkehr der Verstellrichtung bewegt man sich wieder auf das Minimum zu und das Ausgangssignal des Kippverstärkers 7 wird sein Vorzeichen von Plus nach Minus ändern. Diese Polaritätsumkehr vermag nun aber weder eine Änderung des Zählerstandes des Zählers 8 noch eine Änderung der Lage der bistabilen Kippstufe 24 zu bewirken, da diese Elemente nur auf ansteigende Impulsflanken reagieren. Die Stellgrösse  $y_1$  wird nun solange schrittweise vermindert, bis wiederum ein Überlaufen über das Minimum erfolgt ist und sich das Ausgangssignal des Kippverstärkers 7 von negative auf positive Polarität ändert. Dadurch wird der Stand des Zählers 8 wiederum um eine Einheit erhöht und die Kippstufe 24 in die Lage gekippt, in welcher der mit V bezeichnete Ausgang ein L-Signal führt und der Zweirichtungszähler 15 von den Impulsen des Taktgenerators 15 in positiver Richtung, d.h. unter Erhöhung seines Zählerstandes weitergezählt wird. Dieser Vorgang wiederholt sich solange, bis ein acht-

maliges Überlaufen des Minimums stattgefunden hat und daher sämtliche Zählstufen des Zählers 8 ein L-Signal führen. Es erscheint dann am Ausgang des UND-Gatters 9 ein L-Signal, welches den Zähler 8 auf den Wert Null zurücksetzt und das Schieberegister weiterschaltet, so dass nunmehr der Ausgang  $z_2$  des Schieberegisters 10 ein L-Signal führt und das ihm zugeordnete UND-Gatter 12 für die Impulse des Taktgenerators 14 durchlässig macht, welche dann in entsprechender Weise den Stand des Zweirichtungszählers 16 verändern. Es wird dann in analoger Weise die Stellgrösse  $y_2$  schrittweise jeweils in der einen und anderen Richtung solange verändert, bis wiederum ein achtmaliges Überlaufen des Minimums erfolgt ist, woraufhin dann die dritte Stellgrösse  $y_3$ , danach wieder die Stellgrösse u.s.f. verändert werden.

Figur 5 zeigt ein Anwendungsbeispiel der Erfindung bei der Mischungsregelung an einer Rohmaterialmühle bei der Zementherstellung. Vier Rohmaterial-Komponenten – beispielsweise Mergel ( $w_1$ ), Kalk ( $w_2$ ), Ton ( $w_3$ ) und Sand ( $w_4$ ) – unterschiedlicher chemischer Zusammensetzung sollen so dosiert werden, dass die aus diesen Komponenten bestehende und der Rohmühle 25 zugeführte Rohmaterialmischung hinsichtlich Quantität und Qualität bestimmten Gütekriterien genügt. Als derartige Gütekriterien dienen der sogenannte Kalkstandard KS, der Silikatmodul SM und der Tonerdemodul TM. Diese errechnen sich aus den durch Analyse des Rohmehlgemisches  $x$  mittels eines Spektrometers 26 gewonnenen Konzentrationen  $c$ ,  $s$ ,  $a$ ,  $f$  der Oxyde  $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  nach folgender Beziehung:

$$\text{KS} = \frac{100c}{2,8s + 1,1a + 0,7f} \quad (1)$$

$$\text{SM} = \frac{s}{a + f} \quad (2)$$

$$\text{TM} = \frac{a}{f} \quad (3)$$

Diese Berechnung erfolgt in einer Rechenschaltung 27. Die Istwerte der Güteziiffern KS, SM und TM werden je einem Mischglied 28a–28c zugeführt und dort mit entsprechenden Sollwerten  $\text{KS}^*$ ,  $\text{SM}^*$  und  $\text{TM}^*$  in Vergleich gesetzt. Die Ausgänge der Mischglieder 28a–28c sind mit den Eingängen von drei mit 29a, 29b, 29c bezeichneten Modulreglern verbunden, die an das dynamische Verhalten der Mühle angepasst sind und deren Ausgangsgrössen die Zielwerte  $\text{KS}_z$ ,  $\text{SM}_z$  und  $\text{TM}_z$  für den ihnen unterlagerten Minimalwertregler 5 bilden. In drei weiteren Mischgliedern 30a, 30b, 30c wird die Differenz zwischen den Zielwerten  $\text{KS}_z$ ,  $\text{SM}_z$  und  $\text{TM}_z$  und drei Grössen  $\text{KS}'$ ,  $\text{SM}'$  und  $\text{TM}'$  gebildet, welche Nachbildungen der Güteziiffern KS, SM und TM darstellen und am Ausgang einer Rechenschaltung 27' abgenommen werden, welche in ihrem später noch näher zu erläuternden Aufbau der Rechenschaltung 27 entspricht und eingangsseitig von den Grössen  $c'$ ,  $s'$ ,  $a'$  und  $f'$  beaufschlagt wird. Diese werden einer Teilnachbildung 32 der Mühle 25 entnommen, die ihrerseits ebenso wie die Mühle 25 eingangsseitig von vier Grössen beaufschlagt wird, welche proportional den Mengenanteilen  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ ,  $w_4$  der Rohmaterialkomponenten proportional sind. Die Mühle lässt sich modellmässig zerlegen in einen statischen, zeitinvarianten Teil S und einen ihr Zeitverhalten bestimmenden Teil T. Der Block 32 stellt nun eine Nachbildung des statischen Anteils der Regelstrecke 25 dar und liefert in Abhängigkeit von den Stellgrössen die Werte der Ausgangsgrösse im eingeschwungenen Zustand. Der Block 32 kann dem-

nach als ein schnelles Modell der Regelstrecke 25 aufgefasst werden, indem an dessen Ausgang diejenigen Grössen sofort auftreten, welche am Ausgang des Spektrometers 26 erst nach einem durch das Zeitverhalten der Mühle und der Auswerteeinrichtung 27 bestimmten Zeit verfügbar wären.

In drei Betragsbildern 31a, 31b und 31c werden die Beträge der Ausgangsgrössen der ihnen zugeordneten Mischglieder 30a, 30b, 30c gebildet. Diese Beträge werden addiert und vergrössert um ein Fehlergrenzwertsignal  $e_g$  einem Differenzierglied 33 zugeführt. Die Ausgangsspannung  $\dot{e}$  des Differenziergliedes 33 wird der Eingangsklemme 6 des Minimalwertreglers 5 zugeführt, welcher in seinem Aufbau der in Figur 4 dargestellten Anordnung entspricht. Zur Bereitstellung des vierten Mengenanteils  $w_4$  ist eine weitere Hilfsgrösse  $y_4$  vorgesehen, welche sich aus der Differenz zwischen einem konstanten maximalem Wert  $y_m$  und der Summe der übrigen drei Stellgrössen  $y_1$ ,  $y_2$  und  $y_3$  ergibt. Auf diese Weise ist sichergestellt, dass die Mühle 25 stets mit einer konstanten Rohmaterialmenge  $y_m$  beschickt wird.

Figur 6 zeigt die Schaltung zur Ermittlung der Funktion  $\dot{e}$  für das in Figur 5 dargestellte Anwendungsbeispiel im einzelnen. An den Eingangsklemmen 34 bis 36 sind den Zielwerten der Güteziiffern für den Kalkstandard  $\text{KS}_z$ , den Silikatmodul  $\text{SM}_z$  und den Tonerdemodul  $\text{TM}_z$  proportionale Spannungen angeschlossen, welche von den Modulreglern 29a, 29b, 29c geliefert werden. In den Addiervverstärkern 30a, 30b, 30c wird die Differenz gebildet zwischen diesen Güteziiffernzielwerten und den von dem Mühlenmodell 32 simulierten Güteziiffern  $\text{TM}'$ ,  $\text{SM}'$  und  $\text{KM}'$ . Die Gegenkopplungswiderstände der Addiervverstärker 30a, 30b, 30c sind als Potentiometer ausgebildet, so dass die Möglichkeit besteht, die Differenzen zwischen den einzelnen Zielwerten mit unterschiedlichen Faktoren  $\alpha$ ,  $\beta$  und  $\gamma$  zu bewichten. Die Ausgangsspannungen der Addiervverstärker 30a, 30b, 30c beaufschlagen über Betragsbildner 31a, 31b, 31c einen Verstärker 41. Dem Verstärker 41 wird als weitere Fehlerkomponente die Spannung  $e_g$  zugeführt. Diese soll in den Fällen, ausgehend von dem Wert Null, sprunghaft einen positiven Wert annehmen, in welchen einer der Mengenanteile  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ ,  $w_4$  bestimmte vorgebbare Werte über- bzw. unterschreitet. In solchen Fällen soll ein sprunghaftes Anwachsen der Fehlerfunktion in positiver Richtung vorgetäuscht werden und damit eine Umkehr der Stellschrittrichtung bewirkt werden. Es werden daher die an den Eingangsklemmen 37 bis 40 anliegenden, den einzelnen Mengenanteilen  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$ ,  $w_4$  proportionalen Spannungen über Umkehrverstärker 42 bis 45 Addiervverstärkern 46 bis 49 zugeführt, an deren anderen Eingängen jeweils eine Spannung anliegt, welche dem maximal zulässigen Wert des entsprechenden Mengenanteils entspricht ( $w_{1\text{max}}$  bis  $w_{4\text{max}}$ ). Die Ausgänge der Verstärker 46 bis 49 sind über Dioden mit einem Eingangswiderstand des Verstärkers 41 verbunden. Entsprechenderweise wird mittels Addiervverstärkern 50 bis 53 die Differenz zwischen dem jeweiligen Mengenanteil und seinem zulässigen Minimalwert ( $w_{1\text{min}}$  bis  $w_{4\text{min}}$ ) gebildet und über Dioden dem Verstärker 41 zugeführt. Dieser Verstärker weist eine hohe Leerlaufverstärkung auf und ist über einen Integrator 54 mit nachgeschaltetem Umkehrverstärker 55 gegengekoppelt. Ein weiterer Umkehrverstärker 56 dient zur Polaritätsumkehr des Ausgangssignales des Verstärkers 41, so dass am Ausgang des Umkehrverstärkers 55 vorzeichenrichtig eine Spannung  $\dot{e}$  entsteht, welche der zeitlichen Ableitung des Betrags der Fehlerfunktion  $e$  proportional ist.

Selbstverständlich ergibt sich für den Minimalwertregler mit der in Figur 6 dargestellten Schaltung eine äquivalente Wirkungsweise, wenn die Ausgangsspannung des Verstärkers 41 unmittelbar mit der Eingangsklemme 6 des Minimalwertreglers 5 verbunden wird und die dynamischen Eingänge des Zählers 8 sowie der bistabilen Kippstufe 24 so ausgebildet werden, dass sie nur auf abfallende Impulsflanken ansprechen.

Figur 7 zeigt ein Ausführungsbeispiel für die Nachbildung 32 des statischen Teils der Mühle 25, d.h. eine Einrichtung, welche es erlaubt, aus den vier den einzelnen Mengenanteilen  $w_1, w_2, w_3$  und  $w_4$  proportionalen Spannungen die Oxydkonzentrationen  $c', s', a'$  und  $f'$  des später anfallenden Rohmehlgemisches zu simulieren; ausserdem ist der Aufbau der Rechenschaltung 27 gezeigt, mit der aus den simulierten Oxydkonzentrationen die Güteziffern  $KS', SM'$  und  $TM'$  berechnet werden. In der Nachbildung 32 sind vier Addierverstärker 57 bis 60 vorgesehen, deren Eingänge jeweils über gleiche Eingangswiderstände  $R$  mit den Abgriffen von Potentiometern verbunden sind, welche von den den einzelnen Mengenanteilen  $w_1, w_2, w_3, w_4$  proportionalen Spannungen gespeist werden. Die Potentiometerabgriffe werden entsprechend den bekannten relativen Oxydkonzentrationen der einzelnen Mengenanteile eingestellt.

Wie ersichtlich, ergeben sich die Ausgangsspannungen der Verstärker 57 bis 60 aus den folgenden Gleichungen:

$$c' = c_1 w_1 + c_2 w_2 + c_3 w_3 + c_4 w_4$$

$$s' = s_1 w_1 + s_2 w_2 + s_3 w_3 + s_4 w_4$$

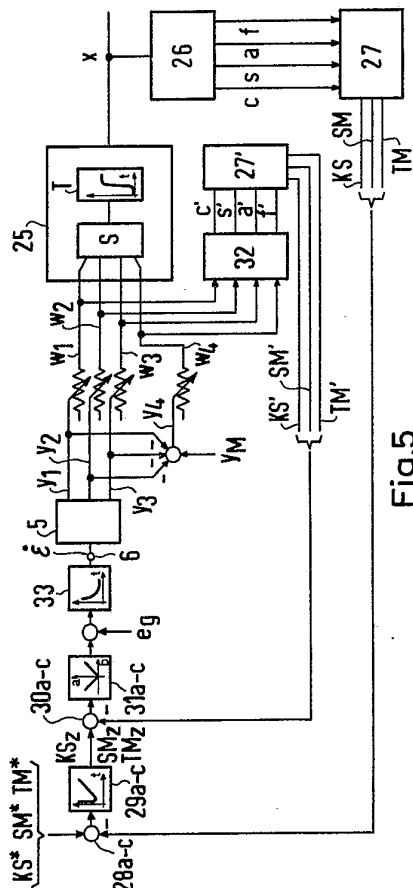
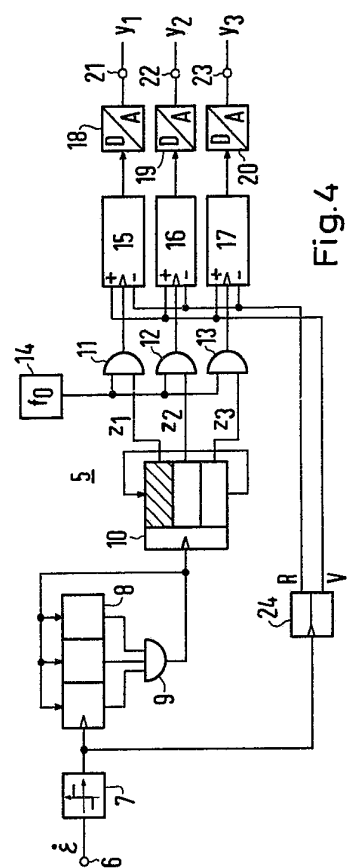
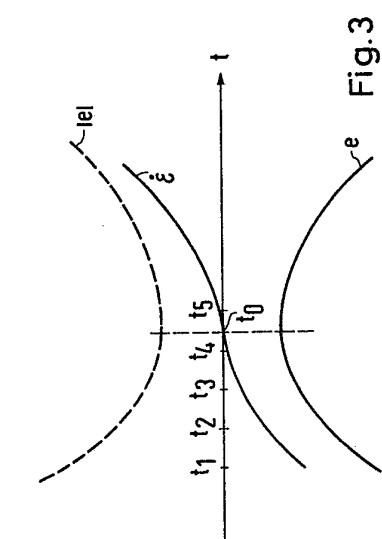
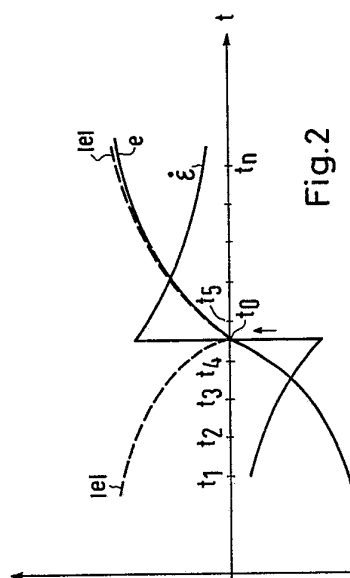
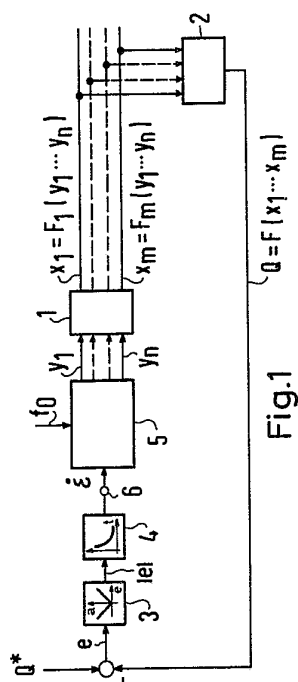
$$a' = a_1 w_1 + a_2 w_2 + a_3 w_3 + a_4 w_4$$

$$f' = f_1 w_1 + f_2 w_2 + f_3 w_3 + f_4 w_4$$

10

Aus den Grössen  $c', s', a'$  und  $f'$  werden wie ebenfalls der in Figur 7 dargestellten Struktur der Rechenschaltung entnehmbar ist, die Güteziffern  $KS', TM'$  und  $SM'$  entsprechend den vorstehend angegebenen Gleichungen (1) bis (3) gebildet.

15



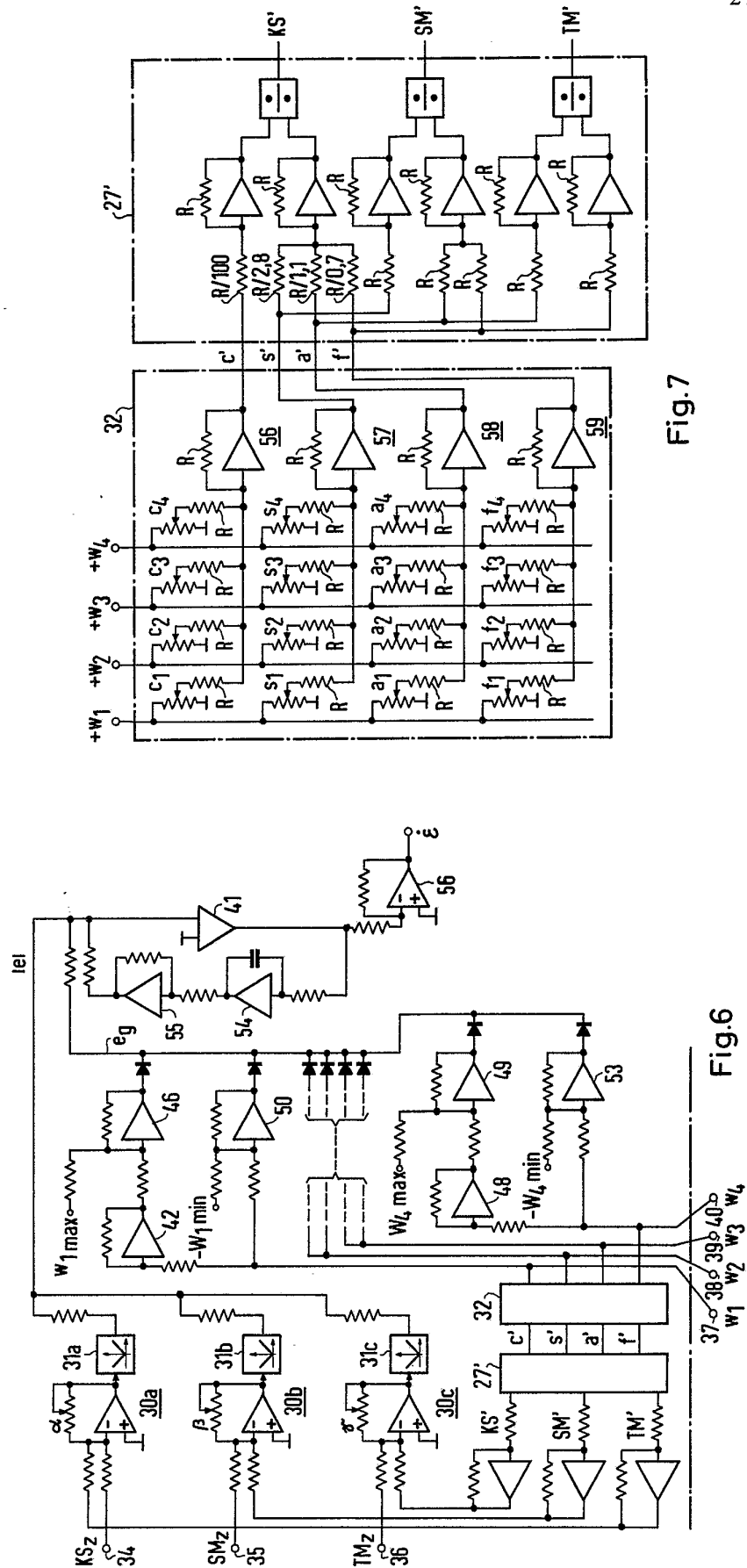


Fig. 7

Fig. 6