(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) EP 1 361 295 A1

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
12.11.2003 Patentblatt 2003/46

(51) Int Cl.[7]: **C25B 15/02**

(21) Anmeldenummer: **03009108.6**

(22) Anmeldetag: **19.04.2003**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
AL LT LV MK

(30) Priorität: **08.05.2002 DE 10220850**

(71) Anmelder: **FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH**
52425 Jülich (DE)

(72) Erfinder: **Brocke, Wennemar Albert, Dr.**
52349 Düren (DE)

(54) Regeleinrichtung für einen alkalischen Druckelektrolyseur

(57) Die Erfindung bezieht sich auf eine Regeleinrichtung für einen alkalischen Druckelektrolyseur.

Die Regeleinrichtung umfasst Mittel zur unabhängigen Beeinflussung der Regelgrößen Füllstandsdifferenz und Gasdruck.

Als Mittel kann ein Entkopplungsnetzwerk vorgesehen sein, welches Steuer- und Regeleingänge für die unabhängige Beeinflussung der Regelgrößen Füllstandsdifferenz und Gasdruck bereitstellt. Das Entkopplungsnetzwerk sorgt dafür, dass über Handsteuereingänge entkoppelte und daher gefahrlose Handsteuerungen der Regelgrößen Füllstandsdifferenz und Gasdruck durchführbar sind.

EP 1 361 295 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Regeleinrichtung für einen alkalischen Druckelektrolyseur gemäß Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Die Erfindung bezieht sich weiterhin auf ein Verfahren gemäß Oberbegriff nach einem der Ansprüche 8 bis 10.

[0002] Ein Elektrolyseur weist in der Regel eine Vielzahl von hintereinander geschalteten Elektrolysezellen (Zellen) auf, wie der Druckschrift DE 196 07 235 C1 zu entnehmen ist.

[0003] Figur 1 zeigt zur besseren Veranschaulichung des Sachverhalts zunächst den Stand der Technik eines Drukkelektrolyseurs. Der unter Lauge stehende Elektrolyseblock 20 besteht aus einem Stapel von vielen identischen Zellen mit jeweils einer Anode 11, einer Kathode 12 und einem ionendurchlässigen Diaphragma 13. Die gestapelten Zellen sind elektrisch gut leitend und gasdicht miteinander verbunden.

[0004] Ein Betriebsmittel wird einem Elektrolyten zugegeben, den Elektroden zugeführt und in seine Bestandteile (Produktgase) zerlegt. Durch Zuführung von elektrischer Energie (z. B. aus regenerativen Quellen wie Wind oder Sonne) wird der Elektrolyseprozess in Gang gesetzt, wobei unter hohen Drücken an den Kathoden 12 Wasserstoff H_2 und an den Anoden 11 Sauerstoff O_2 freigesetzt wird. Die Gasprodukte H_2 und O_2 aller Elektrolysezellen werden getrennt gesammelt und abgeführt, wobei ein Gemisch aus H_2-Blasen und Lauge über eine Leitung 30 in den Gasabscheider 36 sowie ein Gemisch aus O_2-Blasen und Lauge über die Leitung 31 in den Gasabscheider 37 gelangt. In den Gasabscheidern erfolgt die Trennung der Gase von der Lauge, die durch die Rückflussleitung 35 in den Elektrolyseblock 20 zurückfließt.

[0005] Das oder die produzierten Gase können von den Gasabscheidern an einen Speicher (z. B. Wasserstofftank, Hydridspeicherelement) unter Anwendung von Druck weitergeleitet werden. Das Gas kann von dort über Entnahmestationen in Flaschen abgefüllt werden (nicht dargestellt).

[0006] Der Gasabscheider 36 bildet zusammen mit dem Gasabscheider 37 und der Verbindung 34 ein System aus zwei kommunizierenden Röhren, das bis zu den Füllständen 24 und 25 mit den Laugensäulen 28 und 29 gefüllt ist. Diese Konstruktion trennt den H_2-Gasraum 26 vom O_2-Gasraum 27 und erlaubt wegen der Beweglichkeit der Laugensäulen den Druckausgleich zwischen den Gasräumen 26 und 27, der wegen der Druckempfindlichkeit des Diaphragmas 13 erforderlich ist.

[0007] Regelgrößen zum Betreiben des Elektrolyseurs sind der Gasdruck im gesamten System sowie die Differenz der Füllstände in den Gasabscheidern. An die Qualität der Regelung werden bei instationärem Elektrolysebetrieb erhöhte Anforderungen gestellt.

[0008] Die vom Elektrolyseblock 20 produzierten Gase H_2 und O_2 erhöhen den Druck in den Gasräumen 26 und 27 und beeinflussen je nach der geometrischen Auslegung der Gasabscheider 36 und 37 mehr oder weniger die Füllstände 24 und 25 und damit auch die Füllstandsdifferenz.

[0009] Während der Elektrolyse wird der Füllstand des Elektrolyts in den Gasabscheidern aus betriebs- und sicherheitstechnischen Gründen regelmäßig ermittelt. Die mittlere Füllstandhöhe wird genutzt, um die zu dosierende Betriebsmittelmenge über die Betriebsmittel-Zuleitungen zu steuern. In einem Wasser-Elektrolyseur wird beispielsweise bei einem zu niedrigen KOH-Füllstand Wasser zudosiert. Auch das Notabschaltsystem des Elektrolyseurs kann auf der Messung der Füllstandhöhen beruhen.

[0010] Durch Verstellen des H2-Abblasventils 22 oder des O_2-Abblasventils 23 lassen sich der Gasdruck in 26 und 27 und die Füllstände 24 und 25 steuern. Die Korrektur der Füllstände 24 und 25 muß wegen der Gefahr einer Knallgasexplosion durch Vermischung von H_2 und O_2 bei einer zu großen Füllstandsdifferenz automatisch erfolgen und wird daher von einer geeigneten Regeleinrichtung übernommen, die auch den Gasdruck regelt, wobei die Schwankungen der Gasvolumenflüsse in den Leitungen 30 und 31 als Störgrößen auf die Regelgrößen einwirken.

[0011] Aus Mohr et al. (P. Mohr, V. Peinicke und T. Welfonder, 1996. "Konzeption und Realisierung der Druckregelung eines solar betriebenen Elektrolyseurs". In: Automatisierungstechnische Praxis 38, Heft 9, 42-48) ist hierzu eine Regeleinrichtung für einen Elektrolyseur bekannt (Figur 2).

[0012] Neben den Regelkreisen für den Gasdruck und die Füllstandsdifferenz in Fig. 2, sind aus Fig. 1 das Elektrolyse-Gasabscheidersystem 21, das H_2-Abblasventil 22 und das O_2-Abblasventil 23 in Figur 2 übernommen.

[0013] Der Füllstandsdifferenzregelkreis in Fig. 2 enthält die Füllstandsmesseinrichtung 51, die aus dem Elektrolyse-Gasabscheidersystem 21 die aktuelle Information 52 über den Füllstand 24 in Fig. 1 und die aktuelle Information 53 über den Füllstand 25 in Fig. 1 übernimmt und sie in das entsprechende elektrische Istwertsignal 54 für die Füllstandsdifferenz umwandelt. Dieses wird in der Vergleichstelle 66 mit dem Sollwert 68 für die Füllstandsdifferenz verglichen. Die Regeldifferenz wird dem Regler 64 für die Füllstandsdifferenz zugeleitet, dessen Stellausgang 70 mit dem Stelleingang 58 des H2-Abblasventils 22 über die Schnittstelle 99a verknüpft ist.

[0014] Der Gasdruckregelkreis in Fig. 2 enthält die Druckmesseinrichtung 55, die aus dem Elektrolyse-Gasabscheidersystem 21 die aktuelle Gasdruckinformation 56 übernimmt und sie in das entsprechende elektrische Istwertsignal 57 für den Gasdruck umwandelt. Dieses wird in der Vergleichstelle 67 mit dem Gasdrucksollwert 69 verglichen. Die Regeldifferenz wird dem Regler 65 für den Gasdruck zugeleitet, dessen Stellausgang 71 mit Stelleingang 59 des O_2-

Abblasventils 23 über die Schnittstelle 99b verknüpft ist.

[0015] Die Regler 64 und 65 in Fig. 2 sind gemäß Stand der Technik als konventionelle PID-Regler mit proportionalen, integralen und differentialen Übertragungsanteilen ausgeführt und sollen durch Steuern der Abblasventile 22 und 23 die Abblasflüsse 32 und 33 ständig so beeinflussen, daß die Regelgrößen Gasdruck und Füllstandsdifferenz auch bei instationärem Betrieb des Druckelektrolyseurs ihre vorgegebenen Sollwerte nicht verlassen.

[0016] Nachteilig sind mit dieser Regeleinrichtung in der Praxis nur schlecht gedämpfte Regelergebnisse zu erzielen. Die in 21, Fig. 1 dargestellten Gasdruckräume 26 und 27 stellen die integralen Anteile der Regelstrecken dar, von denen man aus der Regelungstechnik weiß, daß diese bei einem Einsatz von Reglern mit ihrerseits integralen Anteilen meist nur unbefriedigend geregelt werden können, da sie mit ihrer dynamischen Qualität bereits an der Stabilitätsgrenze liegen. Man kann jedoch auf den I-Anteil des PID-Reglers nicht verzichten, wenn die auf die Regelgrößen einwirkenden Störungen, das sind die Schwankungen der Elektrolyseleistung, gut ausgeregelt werden sollen.

[0017] Ein weiterer Nachteil dieser Regeleinrichtung ergibt sich daraus, daß sie den Handbetrieb des Druckelektrolyseurs nicht unterstützt. Der Handbetrieb kann bei der erstmaligen Inbetriebnahme oder bei Wartungsarbeiten erforderlich sein und wird dadurch eingeleitet, daß man die Schnittstellen 99a und 99b auftrennt und die Stelleingänge 58 und 59 mit von Hand einstellbaren Signalen versorgt. Mit diesen Handstellsignalen ist es jedoch schwierig, die Regelgrößen Gasdruck und Füllstandsdifferenz gezielt zu verändern oder konstant zu halten, da beide Stellsignale gleichzeitig beide Regelgrößen beeinflussen. Erschwerend kommt für die Handregelung hinzu, daß es sich hier um Regelstrecken an der Stabilitätsgrenze handelt. Im Sicherheitsinteresse ist daher eine Eins-zu-Eins-Zuordnung von Stellsignalen und Regelgrößen sowie eine Stabilisierung der Regelstrecken zu fordern.

[0018] Aufgabe der Erfindung ist es, eine Regeleinrichtung bereit zu stellen, die ein verbessertes Regelverhalten aufweist und einen sichereren Handbetrieb ermöglicht.

[0019] Die Aufgabe wird gelöst durch eine Regeleinrichtung nach Patentanspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den darauf rückbezogenen Patentansprüchen. Die Aufgabe wird weiterhin gelöst durch ein Verfahren gemäß einer der Patentansprüche 8 bis 10.

[0020] Die erfindungsgemäße Regeleinrichtung umfaßt Mittel zur unabhängigen Beeinflussung der Regelgrößen Füllstandsdifferenz und Gasdruck. Hierdurch wird die Betriebssicherheit des Elektrolyseurs entscheidend verbessert, und die Regelqualität wird erhöht.

[0021] Als Mittel kann ein Entkopplungsnetzwerk, welches Steuer- und Regeleingänge zur unabhängigen Beeinflussung der Regelgrößen Füllstandsdifferenz und Gasdruck aufweist, vorgesehen sein.
Das Entkopplungsnetzwerk sorgt vorteilhaft dafür, dass über Handsteuereingänge entkoppelte und daher gefahrlose Handsteuerungen der Regelgrößen Füllstandsdifferenz und Gasdruck durchführbar sind.

[0022] Um zu erreichen, daß die Regelgrößen Gasdruck und Füllstandsdifferenz unabhängig voneinander gesteuert und geregelt werden können, besteht das Entkopplungsnetzwerk aus Übertragungsblöcken, Summierern und gegebenenfalls aus einer festen Spannungsquelle. Die Übertragungsblöcke stellen die für die Entkopplungswirkung erforderlichen Übertragungsfaktoren bereit. Je zwei Summierer bilden die Eingangssignale und die Ausgangssignale des Entkopplungsnetzwerks. Die Spannungsquelle ist für die Entkopplung von Regelstrecken mit sogenannten gleichprozentigen Abblasventilen erforderlich. Dadurch wird das Entkopplungsnetzwerk auch für gleichprozentige Ventilkennlinien einsetzbar.

[0023] Insbesondere können mindestens vier Summierer und mindestens vier Übertragungsblöcke zusammen mit einer feststehenden Spannungsquelle so eingesetzt werden, dass entkoppelte Handsteuerungen der Füllstandsdifferenz und des Gasdrucks durchführbar sind.

[0024] Als Mittel können auch P-Regler, die die Regelgrößen Füllstandsdifferenz und/oder den Gasdruck stabilisieren, vorgesehen sein.
Hierdurch werden vorteilhaft die Regelgrößen Füllstandsdifferenz und Gasdruck so beeinflusst, dass diese bei Störungen mit einer endlichen Änderung der Istwerte reagieren. Dies bedeutet, dass die mit den P-Reglern ausgerüsteten Regelstrecken der Füllstandsdifferenz und des Gasdrucks proportionales Verhalten aufweisen, und damit weit entfernt von der Stabilitätsgrenze sind.

[0025] Die Regeleinrichtung weist besonders vorteilhaft sowohl ein Entkopplungsnetzwerk als auch P-Regler auf. Das Entkopplungsnetzwerk kann, muß also nicht notwendigerweise zusammen mit einem oder beiden P-Reglern eingesetzt werden. In dem Falle, daß beide Regelungsmechanismen, also Entkopplungsnetzwerk und ein oder beide P-Regler zusammen eingesetzt werden, unterstützen sich die Mittel gegenseitig, d.h. sie beeinflussen die Regelgrößen so, dass sie gemeinsam zur Erhöhung der Betriebssicherheit und der Regelqualität beitragen. Hierdurch werden besonders vorteilhaft auch mit nicht optimal dimensionierten Regelmechanismen brauchbare Regelergebnisse erreicht.

[0026] In einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung umfassen die Regeleinrichtungen P-Regler, die neben den Eingängen zum Anschluß der PID-Regler je einen zusätzlichen Sollwerteingang aufweisen. Hierdurch können die Regelvorgänge an den PID-Reglern vorbei beschleunigt werden, falls die integralen Anteile der PID-Regler zu unbefriedigend langsamen Regelergebnissen führen.

[0027] Ein erfindungsgemäßes Verfahren sieht vor, dass der Wasserstoffabblasgasfluss und der Sauerstoffabblas-

gasfluss auf ein Verhältnis von 2:1 geregelt werden. Dies Verhältnis entspricht dem bei der Elektrolyse auftretenden Elektrolysegasflüssen. Damit minimiert sich der Durchgriff auf die Füllstandsdifferenz, so dass diese konstant bleibt.

[0028] Genauso gut kann eine Änderung des Steuersignals für einen als Handsteuereingang bezeichneten Regelmechanismus der Füllstandsdifferenz die Abblasvolumenflüsse der Gase so regeln, dass die Summe der abgeblasenen Gasflussänderungen Null ergibt.

Beispielsweise wird der Wasserstoffabblasvolumenfluss um einen bestimmten Betrag erhöht und dabei gleichzeitig der Sauerstoffabblasvolumenfluss um den gleichen Betrag erniedrigt, bzw. umgekehrt. Durch diesen Verfahrensschritt wird der Gasdruck konstant gehalten.

[0029] Wenn beide Regelungsschritte zusammen angewendet werden, wird erreicht, dass bei gleichzeitig beabsichtigten Verstellungen von Gasdruck und Füllstandsdifferenz die Regelungsschritte entkoppelt werden und sich nicht gegenseitig beeinflussen.

[0030] In dem Falle, daß P-Regler über Summierer des Entkopplungsnetzwerkes betrieben werden, ergibt sich vorteilhaft die Wirkung, daß die Entkopplung der Regelschritte automatisch erfolgt.

[0031] Im weiteren wird die Erfindung an Hand einiger Ausführungsbeispiele näher beschrieben.

[0032] Es zeigen:

Fig. 3: Erfindungsgemäße Regeleinrichtung

Fig. 4: Erfindungsgemäße Regeleinrichtung mit Operationsverstärkern

[0033] Figur 3 zeigt eine Regeleinrichtung 99 mit einem erfindungsgemäßen Entkopplungsnetzwerk, welches aus den Übertragungsblöcken 84, 85, 86 und 87, den Summierern 88, 89, 92 und 93 und der Spannungsquelle 90 besteht. Das Entkopplungsnetzwerk bewirkt bei Einhaltung von zwei sogenannten Entkopplungsbedingungen, dass durch das Ausgangssignal des Summierers 93 ausschließlich der Gasdruck und durch das Ausgangssignal des Summierers 92 ausschließlich die Füllstandsdifferenz geregelt wird.

[0034] Die Übertragungsblöcke, die Summierer und die Spannungsquelle können aus üblichen elektronischen Bauelementen wie Operationsverstärker, Widerständen und Kondensatoren bestehen. Übertragungsblöcke sind durch beliebige Signalübertragungsfaktoren gekennzeichnet, die Summierer durch ihre Summierfunktion mit den Übertragungsfaktoren eins und die Spannungsquelle durch die an ihrem Ausgang bereitgestellte elektrische Spannung.

[0035] Die Entkopplungsvorschrift beispielsweise für den Handsteuereingang 95 für den Gasdruck lautet:
Die Übertragungsblöcke 85 und 87 und die Spannungsquelle 90 sind so zu dimensionieren, dass der H2-Abblasgasfluss 132 und der O_2-Abblasgasflus 133 genau wie die Elektrolysegasflüsse im Verhältnis 2:1 stehen. Damit minimiert sich der Durchgriff vom Handsteuereingang für den Gasdruck 95 auf die Füllstandsdifferenz.

[0036] Die Dimensionierung der Übertragungsblöcke 85 und 87 und der Spannungsquelle 90 hängt von den Kennlinien der Abblasventile 122 und 123 ab, die die funktionalen Zusammenhänge der Gasvolumenflüsse 132 und 133 mit den Steuerspannungen 158 und 159 wiedergeben. Der H_2-Gasvolumenfluss 132 habe das Formelzeichen vf_{132}. Der O_2-Gasvolumenfluss 133 habe das Formelzeichen vf_{133}. Die Ventilsteuerspannung 158 habe das Formelzeichen U_{158}. Die Ventilsteuerspannung 159 habe das Formelzeichen U_{159}. Die Handsteuerspannung 95 habe das Formelzeichen U_{95}. Die Ausgangsspannung der Spannungsquelle 90 habe das Formelzeichen U_{90}. Die an den Ventilen 122 und 123 herrschenden Druckdifferenzen seien p_{122} und p_{123}. In verfahrenstechnischen Anlagen häufig vorkommende Ventilkennlinien sind vom linearen oder vom gleichprozentigen (exponentiellen) Typ.
Für gleichprozentige Ventilkennlinien als Funktionen der Ventilhübe y_{122} bzw. y_{123} können die folgenden Gleichungen angegeben werden:

$$\text{Wasserstoffseite: } vf_{132} = p_{122} \cdot Kv_{122} \cdot \exp\{(y_{122}-1) \cdot \ln(ST_{122})\}$$

$$Y_{122} = f_s \cdot U_{158}$$

$$\text{Sauerstoffseite: } vf_{133} = p_{123} \cdot Kv_{123} \cdot \exp\{(y_{123}-1) \cdot \ln(ST_{123})\}$$

$$Y_{123} = f_s \cdot U_{159}$$

[0037] Die Werte für die Durchflussbeiwerte Kv_{122}, Kv_{123} und die Stellverhältnisse ST_{122}, ST_{123} sowie für die Steuerfaktoren f_s ergeben sich aus den Datenblättern der Ventile 122 und 123. Setzt man für 87 aus Gründen der Verein-

fachung den Übertragungsfaktor eins an, erhält man $U_{158} = U_{95}$. Mit der Entkopplungsvorschrift für 95 $vf_{132}/vf_{133} = 2$ und der Annahme $p_{122} = p_{123}$ ergibt sich eine Beziehung für die Steuerspannung U_{159}:

$$U_{159} = U_{95} \cdot K_{85} + U_{90}$$

$$K_{85} = \ln(ST_{122})/\ln(ST_{123})$$

$$U_{90} = \{1 - K_{85} - \ln(2 \cdot Kv_{123}/Kv_{122})/\ln(ST_{123})\}/f_s$$

[0038] Damit bekommt der Block 85 den Übertragungsfaktor K_{85}, und die Spannungsquelle 90 gibt den konstanten Wert U_{90} ab.

[0039] Für lineare Ventilkennlinien können die folgenden Gleichungen angegeben werden:

$$\text{Wasserstoffseite: } vf_{132} = p_{122} \cdot Kv_{122} \cdot f_s \cdot U_{158}$$

$$\text{Sauerstoffseite: } vf_{133} = p_{123} \cdot Kv_{123} \cdot f_s \cdot U_{159}$$

[0040] Die Werte für die Durchflussbeiwerte Kv_{122}, Kv_{123} und die Steuerfaktoren f_s ergeben sich aus den Datenblättern der Ventile 122 und 123. Mit der Entkopplungsvorschrift für 95 $vf_{132}/vf_{133} = 2$, der Annahme $p_{122} = p_{123}$ und mit $U_{158} = U_{95}$ ergibt sich eine Beziehung für die Steuerspannung U_{159}:

$$U_{159} = U_{95} \cdot K_{85}$$

$$K_{85} = Kv_{122}/(2 \cdot Kv_{123})$$

[0041] Der Block 87 bekommt wieder den Übertragungsfaktor eins, der Block 85 bekommt den Übertragungsfaktor K_{85}, und für die Spannungsquelle 90 ergibt sich der Spannungswert $U_{90} = 0$.

[0042] Die Entkopplungsvorschrift beispielsweise für den Handsteuereingang 94 für die Füllstandsdifferenz lautet: Die Übertragungsblöcke 84 und 86 sind so zu dimensionieren, dass eine Änderung des Steuersignals 94 den H2-Abblasvolumenfluss 132 um einen bestimmten Betrag erhöht (absenkt) und dabei gleichzeitig den O_2-Abblasvolumenfluss 133 um den gleichen Betrag absenkt (erhöht), d.h. die Summe aus 132 und 133 verändert sich nicht und der Gasdruck bleibt konstant. Die Formel für die Entkopplungsvorschrift für 94 lautet:

$$\Delta vf_{132} + \Delta vf_{133} = 0.$$

[0043] Mit der Annahme, dass auch die Entkopplungsvorschrift $vf_{132}/vf_{133} = 2$ für 95 eingehalten wird, gewinnt man durch Differenzieren der Gleichungen für die Ventilkennlinien nach den Ventilstellsignalen 158 und 159 einen funktionalen Zusammenhang der Steuerspannungsänderungen ΔU_{158} und ΔU_{159}. Setzt man für 86 entsprechend Übertragungsblock 87 z. B. den Übertragungsfaktor eins an, erhält man $\Delta U_{159} = \Delta U_{94}$, wenn ΔU_{94} das Formelzeichen für die Änderung der Handsteuerspannung 94 ist.

[0044] Für gleichprozentige Ventilkennlinien ergibt sich:

$$\Delta U_{158} = \Delta U_{94} \cdot K_{84}$$

$$K_{84} = -0.5 \cdot \ln(ST_{123})/\ln(ST_{122})$$

[0045] Damit bekommt der Block 84 den Übertragungsfaktor K_{84}.

[0046] Für lineare Ventilkennlinien ergibt sich unabhängig von der Entkopplungsvorschrift für 95:

$$\Delta U_{158} = \Delta U_{94} \cdot K_{84}$$

$$K_{84} = -Kv_{123}/Kv_{122}$$

[0047] Der Block 84 bekommt den Übertragungsfaktor K_{84}.

[0048] Mit dem Entkopplungsnetzwerk, bestehend aus den Übertragungsblöcken 84, 85, 86 und 87, den Summierern 88, 89, 92 und 93 und der Spannungsquelle 90 wird erreicht, dass über die Handsteuereingänge 94 und 95 entkoppelte und daher gefahrlose Handsteuerungen von Regelgrößen Füllstandsdifferenz und Gasdruck durchführbar sind. Hierdurch wird auch ein verbessertes Regelverhalten erzielt. Die Regelgrößen Gasdruck und Füllstandsdifferenz werden unabhängig voneinander beeinflusst.

[0049] Darüber hinaus unterstützt das Entkopplungsnetzwerk auch den geregelten Betrieb, wenn die in der Regelungseinrichtung 99 in Fig. 3 enthaltenen Regler 82 und 83 über die Summierer 92 und 93 wirksam sind.

[0050] Der Regler 82 ist für die Stabilisierung der Füllstandsdifferenz zuständig und wird über die Vergleichsstelle 80 von der Abweichung des Istwertes 154 der Füllstandsdifferenz von ihrem Sollwert 168 informiert. Er ist als P-Regler ausgeführt und bewirkt, dass die Füllstandsdifferenz bei Störungen mit einer endlichen Änderung ihres Istwerts reagiert, d.h. die mit dem P-Regler ausgerüstete Regelstrecke der Füllstandsdifferenz hat proportionales Verhalten und ist damit weit weg von der Stabilitätsgrenze.

[0051] Der Regler 83 ist für die Stabilisierung des Gasdrucks zuständig und wird über die Vergleichsstelle 81 von der Abweichung des Istwertes 157 des Gasdrucks von seinem Sollwert 169 informiert. Er ist als P-Regler ausgeführt und bewirkt, dass der Gasdruck bei Störungen mit einer endlichen Änderung seines Istwerts reagiert, d.h. die mit dem P-Regler ausgerüstete Regelstrecke des Gasdrucks hat proportionales Verhalten und ist damit weit weg von der Stabilitätsgrenze.

[0052] Die Bemessung der Proportionalbeiwerte für 82 und 83 ist unproblematisch und erfolgt nach üblichen Methoden der Regelungstechnik.

[0053] Die stabilisierenden Wirkungen der P-Regler unterstützen auch die in Fig. 3 enthaltenen PID-Regler 164 und 165. Deren Aufgabe ist es, die bleibenden Regelabweichungen der P-Regler 82 und 83 zu eliminieren, indem sie den Vergleichsstellen 80 und 81 die Kompensationssignale 170 und 171 zuführen. Aus der Tatsache, dass die PID-Regler in Fig. 3 mit proportionalen Regelstrecken anstatt mit solchen an der Stabilitätsgrenze, wie aus dem Stand der Technik bekannt, zusammen geschaltet sind, resultieren für die Regelgrößen Füllstandsdifferenz und Gasdruck kürzere Ausregelzeiten und kleinere Überschwingweiten.

[0054] Der Füllstandsdifferenzregelkreis in Fig. 3 enthält weiterhin die Füllstandsmesseinrichtung 151, die aus dem Elektrolyse-Gasabscheidersystem 121 die aktuellen Informationen 152 und 153 über die Füllstände im H2- bzw. O_2-Gasraum übernimmt und sie in das entsprechende elektrische Istwertsignal 154 für die Füllstandsdifferenz umwandelt. Dieses wird in der Vergleichstelle 166 mit dem Sollwert 168 für die Füllstandsdifferenz verglichen. Die Regeldifferenz wird dem Regler 164 für die Füllstandsdifferenz zugeleitet, dessen Stellausgang 170 über die Vergleichsstelle 80 des Reglers 82 mit dem Stelleingang 158 des H_2-Abblasventils 122 sowie mit dem Stelleingang 159 des O_2-Abblasventils 123 verknüpft ist.

[0055] Der Gasdruckregelkreis in Fig. 3 enthält weiterhin die Druckmesseinrichtung 155, die aus dem Elektrolyse-Gasabscheidersystem 121 die aktuelle Gasdruckinformation 156 übernimmt und sie in das entsprechende elektrische Istwertsignal 157 für den Gasdruck umwandelt. Dieses wird in der Vergleichsstelle 167 mit dem Gasdrucksollwert 169 verglichen. Die Regeldifferenz wird dem Regler 165 für den Gasdruck zugeleitet. Dessen Stellausgang 171 ist über die Vergleichsstelle 81 des Reglers 83 mit dem Stelleingang 159 des O_2-Abblasventils 123 sowie mit dem Stelleingang 158 des H_2-Abblasventils 122 verknüpft. Die Abblasflüsse werden durch die Bezugszeichen 132 und 133 dargestellt.

[0056] In Fig. 4 ist eine Schaltung angegeben, in der die Regeleinrichtung 99 in Fig. 3 mit Operationsverstärkern ausgeführt wird. Die Bezugszahlen der Operationsverstärker, der acht Eingänge und der zwei Ausgänge entsprechen den Bezeichnungen der Komponenten, Eingänge und Ausgänge der Regeleinrichtung 99 in Fig. 3. Es kommen Operationsverstärker vom Typ OP741 zum Einsatz. Mit dem Widerstand R82 wird die Verstärkung des P-Reglers 82 vorgegeben. Mit dem Widerstand R83 wird die Verstärkung des P-Reglers 83 vorgegeben. Mit den Widerständen R84 bis R87 werden die Übertragungsfaktoren 84 bis 87 des Entkopplungsnetzwerks vorgegeben. Mit dem Potentiometer R90 wird die Spannungsquelle 90 eingestellt. Alle nicht gekennzeichneten Widerstände haben konstante Werte von 10 kΩ.

[0057] Ein weiteres Ausführungsbeispiel ergibt sich dadurch, daß man die Schaltung von Fig. 4 als ANSI-C-Code in dem integrierten digitalen Datenakquisitionssystem ADuC812 der Firma Analog Devices implementiert. Dieses System hat acht analoge Eingänge und zwei analoge Ausgänge. Zur komfortablen Generierung des C-Codes wird die Schaltung mit dem für regelungstechnische Entwürfe geeigneten Simulationsprogramm 20-sim 3.1 Pro der Firma Controllab Products B.V. simuliert. Von dem lauffähigen Modell der Schaltung generiert 20-sim 3.1 Pro den ANSI-C-Code.

Dieser wird mit der Entwicklungsumgebung WEdit32 der Firma Raisonance S.A. bearbeitet und kompiliert. Das Kompilat wird mit dem eigenen Ladeprogramm auf das Datenakquisitionssystem ADuC812 übertragen und dort lauffähig gemacht.

Bezugszeichenliste zu Fig. 1 (Stand der Technik):

[0058]

11, 12, 13: Anode, Kathode, Diaphragma

20: Elektrolyseblock

21: Elektrolyse-Gasabscheidersystem

22, 23: H_2-Abblasventil, O_2-Abblasventil

24, 25: Füllstände im H_2-, O_2-Gasabscheider

26, 27: H_2-Gasraum, O_2-Gasraum

28, 29: Laugensäulen im H_2- und O_2-Gasabscheider

30, 31: Leitungen zum H_2- und O_2-Gasabscheider

32, 33: H_2-, O_2-Abblasgasflüsse

34: Verbindung zwischen dem H_2- und O_2-Gasabscheider

35: Rückflussleitung in den Elektrolyseblock

36, 37: H_2-Gasabscheider, O_2-Gasabscheider

Zusätzliche Bezugszeichen zu Fig. 2 (Stand der Technik) :

[0059]

51: Füllstandsmesseinrichtung

52, 53: Information zum Füllstand im H_2-, O_2-Gasraum

54: Istwert-Signal für die Füllstandsdifferenz

55: Druckmesseinrichtung

56: aktuelle Gasdruck-Information

57: Istwert-Signal für den Gasdruck

58, 59: Stelleingang des H_2-, O_2-Abblasventils

64, 65: PID-Regler für Füllstandsdifferenz und Gasdruck

66, 67: Vergleichsstellen (Soll-Wert minus Ist-Wert) für Füllstandsdifferenz und Gasdruck

68, 69: Soll-Werte für Füllstandsdifferenz und Gasdruck

70, 71: Stellausgänge der PID-Regler 64, 65 für Füllstandsdifferenz und Gasdruck

99a: Schnittstelle; verknüpft Stelleingang 58 des H_2-Abblasventils 22 mit Stellausgang 70 des PID-Reglers 64 im Füllstandsdifferenz-Regelkreis

99b: Schnittstelle; verknüpft Stelleingang 59 des O_2-Abblasventils 23 mit Stellausgang 71 des PID-Reglers 65 im Gasdruck-Regelkreis

Bezugszeichen zu Fig. 3 (erfindungsgemäße Regeleinrichtung) :

[0060]

80, 81: Vergleichsstellen

82, 83: P-Regler

84, 85, 86, 87: Übertragungsblöcke

88, 89, 92, 93: Summierer

90: Spannungsquelle

94: Handsteuereingang für die Füllstandsdifferenz

95: Handsteuereingang für den Gasdruck

99: Regeleinrichtung (Punkt-Strich-Linien)

121: Elektrolyse-Gasabscheidersystem

122, 123: H_2-Abblasventil, O_2-Abblasventil

132, 133: H_2-, O_2-Abblasgasflüsse

151: Füllstandsmesseinrichtung

152, 153: Information zum Füllstand im H_2-, O_2-Gasraum

154: Istwert-Signal für die Füllstandsdifferenz

155: Druckmesseinrichtung

156: aktuelle Gasdruck-Information

157: Istwert-Signal für den Gasdruck

158, 159: Stelleingang des H_2-, O_2-Abblasventils

164, 165: PID-Regler für Füllstandsdifferenz und Gasdruck

166, 167: Vergleichsstellen (Soll-Wert minus Ist-Wert) für Füllstandsdifferenz und Gasdruck

168, 169: Soll-Werte für Füllstandsdifferenz und Gasdruck

170, 171: Stellausgänge der PID-Regler 164, 165 für Füllstandsdifferenz und Gasdruck

Zusätzliche Bezugszeichen zu Fig. 4 (erfindungsgemäße Regeleinrichtung mit Operationsverstärkern):

[0061]

R82, R83, R84, R85, R86, R87: Widerstände

R90: Potentiometer

Patentansprüche

1. Regeleinrichtung mit integral wirkenden Reglern für die Regelgrößen Füllstandsdifferenz und Gasdruck für einen alkalischen Druckelektrolyseur, **gekennzeichnet durch**
Mittel zur unabhängigen Beeinflussung der Regelgrößen Füllstandsdifferenz und Gasdruck.

2. Regeleinrichtung nach Anspruch 1,
gekennzeichnet durch
ein Entkopplungsnetzwerk (84, 85, 86, 87, 88, 89, 92, 93) mit Steuer- und Regeleingängen als Mittel zur unabhängigen Beeinflussung der Regelgrößen Füllstandsdifferenz und Gasdruck.

3. Regeleinrichtung nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Entkopplungsnetzwerk (84, 85, 86, 87, 88, 89, 92, 93) vier Übertragungsblöcke (84, 85, 86, 87) mit vier Übertragungsfaktoren zur Darstellung der Entkopplungsfunktion und vier Summierer (88, 89, 92, 93) zur Bildung der Eingangssignale für das Entkopplungsnetzwerk und der Stellsignale für Abblasventile (122, 123) umfasst.

4. Regeleinrichtung nach Anspruch 2 oder 3,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Entkopplungsnetzwerk (84, 85, 86, 87, 88, 89, 92, 93) eine feste Spannungsquelle (90) umfasst.

5. Regeleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **gekennzeichnet durch**
einen P-Regler (82) als Mittel, welcher die Regelgröße Füllstandsdifferenz stabilisiert.

6. Regeleinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **gekennzeichnet durch**
einen P-Regler (83) als Mittel, welcher die Regelgröße Gasdruck stabilisiert.

7. Regeleinrichtung nach einem der Ansprüche 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet, dass
die P-Regler (82, 83) je einen zusätzlichen Sollwerteingang aufweisen.

8. Verfahren zur Regelung eines alkalischen Druckelektrolyseurs, umfassend

   - einen Handsteuereingang (95) und einen integral wirkenden Regler (165) für die Regelgröße Gasdruck,
   - ein Entkopplungsnetzwerk (84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93), welches Steuer- und Regeleingänge für die unabhängige Beeinflussung von Füllstandsdifferenz und Gasdruck bereitstellt,
   - sowie Wasserstoff- und Sauerstoffabblasventile (122, 123),

   dadurch gekennzeichnet, dass
   der Wasserstoffabblasgasfluss und der Sauerstoffabblasgasfluss auf ein Verhältnis von 2:1 geregelt werden.

9. Verfahren zur Regelung eines alkalischen Druckelektrolyseurs, umfassend

   - einen Handsteuereingang (94) und einen integral wirkenden Regler (164) für die Regelgröße Füllstandsdifferenz,
   - sowie ein Entkopplungsnetzwerk (84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93), welches Steuer- und Regeleingänge für die unabhängige Beeinflussung von Füllstandsdifferenz und Gasdruck bereitstellt,
   - sowie Wasserstoff- und Sauerstoffabblasventile (122, 123),

dadurch gekennzeichnet, dass
eine Änderung des Steuersignals für den Handsteuereingang der Füllstandsdifferenz (94) die Abblasvolumenflüsse der Gase so regelt, dass die Summe der abgeblasenen Gasflussänderungen Null ergibt.

10. Verfahren zur Regelung eines alkalischen Druckelektrolyseurs, umfassend

- je einen Handsteuereingang (94, 95) und je einen integral wirkenden Regler (164, 165) für die Regelgrößen Gasdruck und Füllstandsdifferenz,
- ein Entkopplungsnetzwerk (84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 92, 93), welches Steuer- und Regeleingänge für die unabhängige Beeinflussung von Füllstandsdifferenz und Gasdruck bereitstellt,
- sowie Wasserstoff- und Sauerstoffabblasventile (122, 123),

dadurch gekennzeichnet, dass
der Wasserstoffabblasgasfluss und der Sauerstoffabblasgasfluss auf ein Verhältnis von 2:1 geregelt werden, und daß eine Änderung des Steuersignals für den Handsteuereingang der Füllstandsdifferenz die Abblasvolumenflüsse der Gase so regelt, daß die Summe der abgeblasenen Gasflussänderungen Null ergibt, und dass dadurch die Regelgrößen Gasdruck und Füllstandsdifferenz gleichzeitig und voneinander unabhängig beeinflußt werden.

Fig. 1

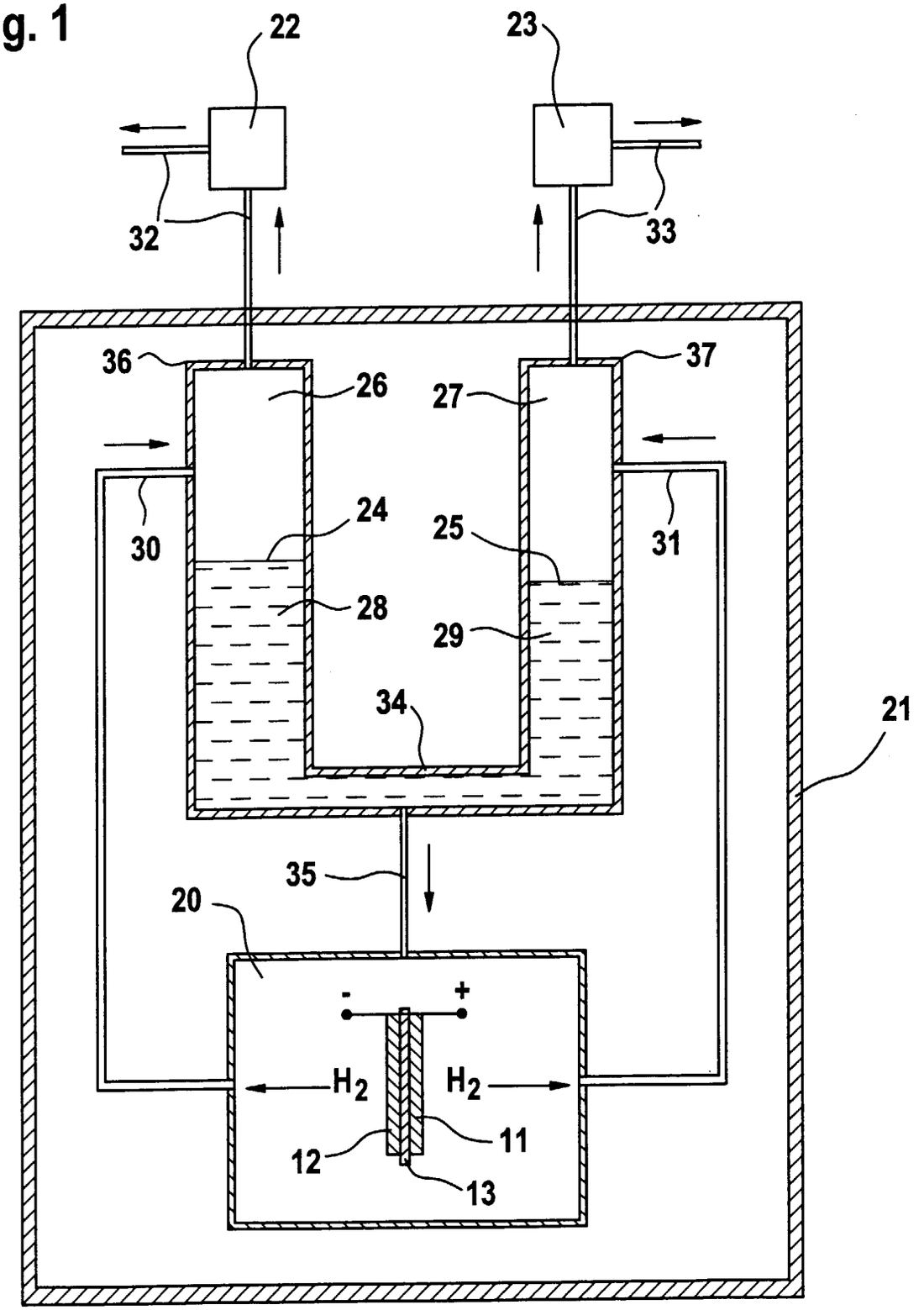


Fig. 2

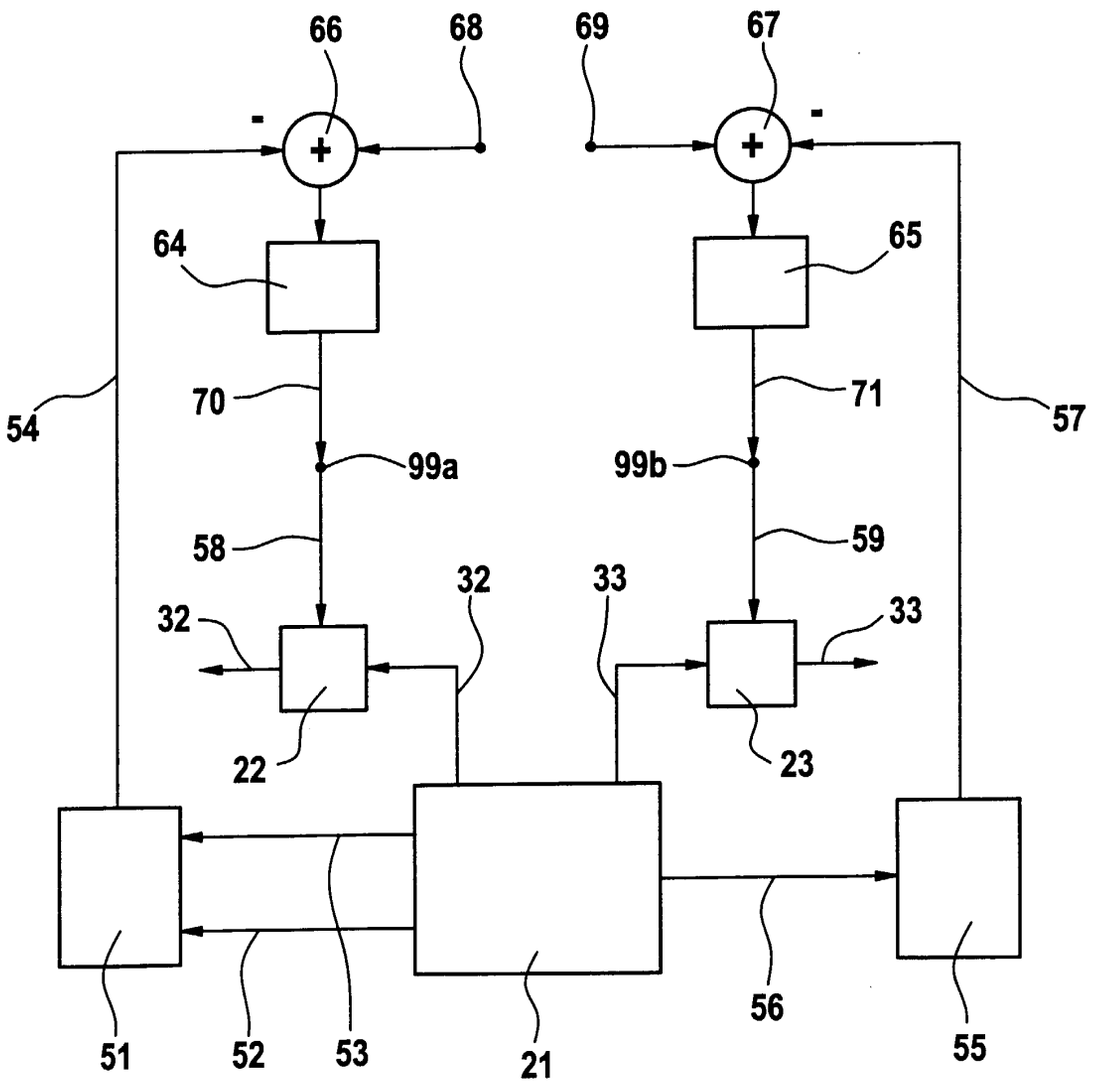
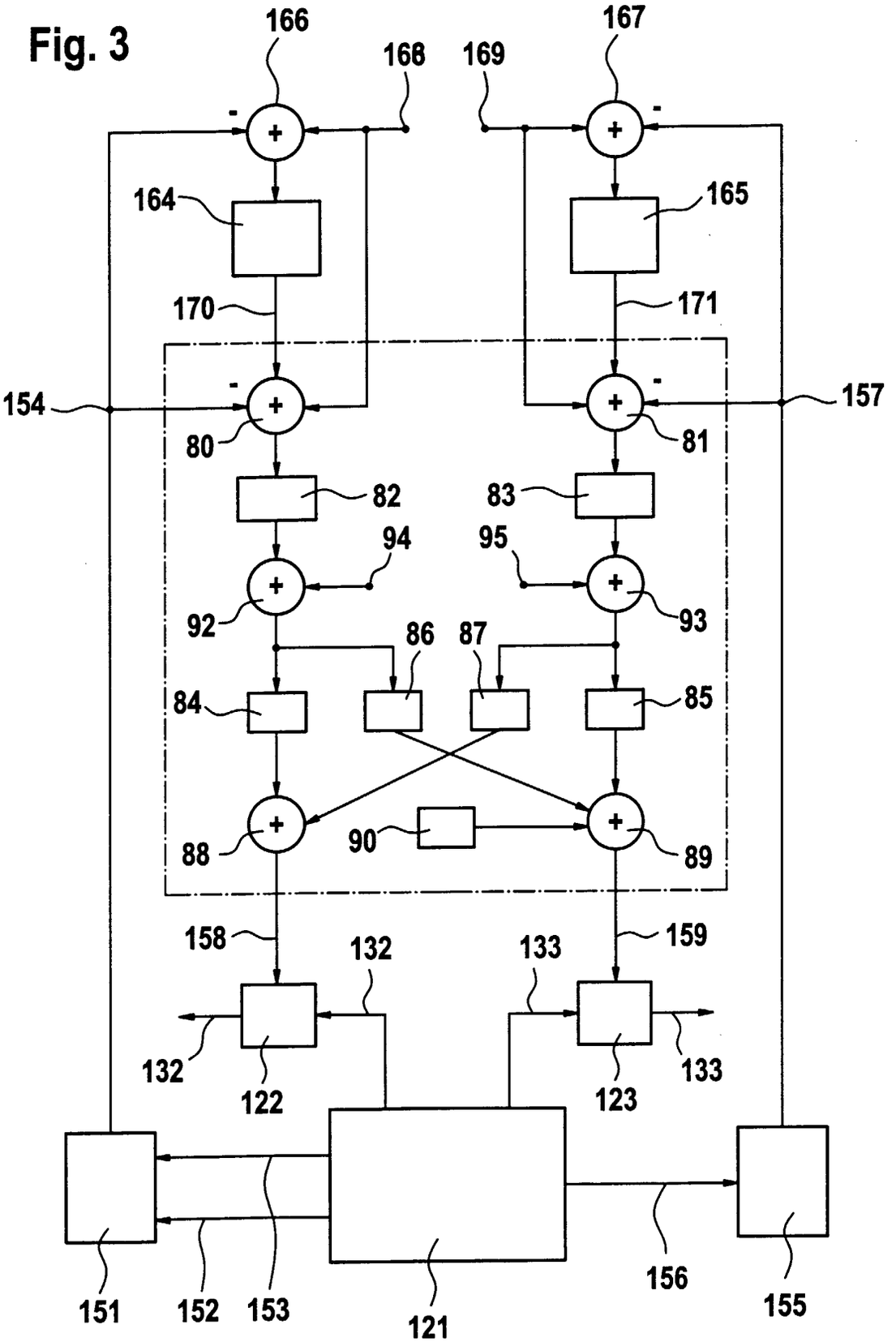

66
68
69
67
-
+
-
+
64
65
54
70
71
57
99a
99b
58
59
32
33
32
33
22
23
51
52
53
21
56
55

Fig. 3


166
167
168
169
164
165
170
171
154
157
80
81
82
83
94
95
92
93
86
87
84
85
88
90
89
158
159
132
133
122
123
151
152
153
121
156
155

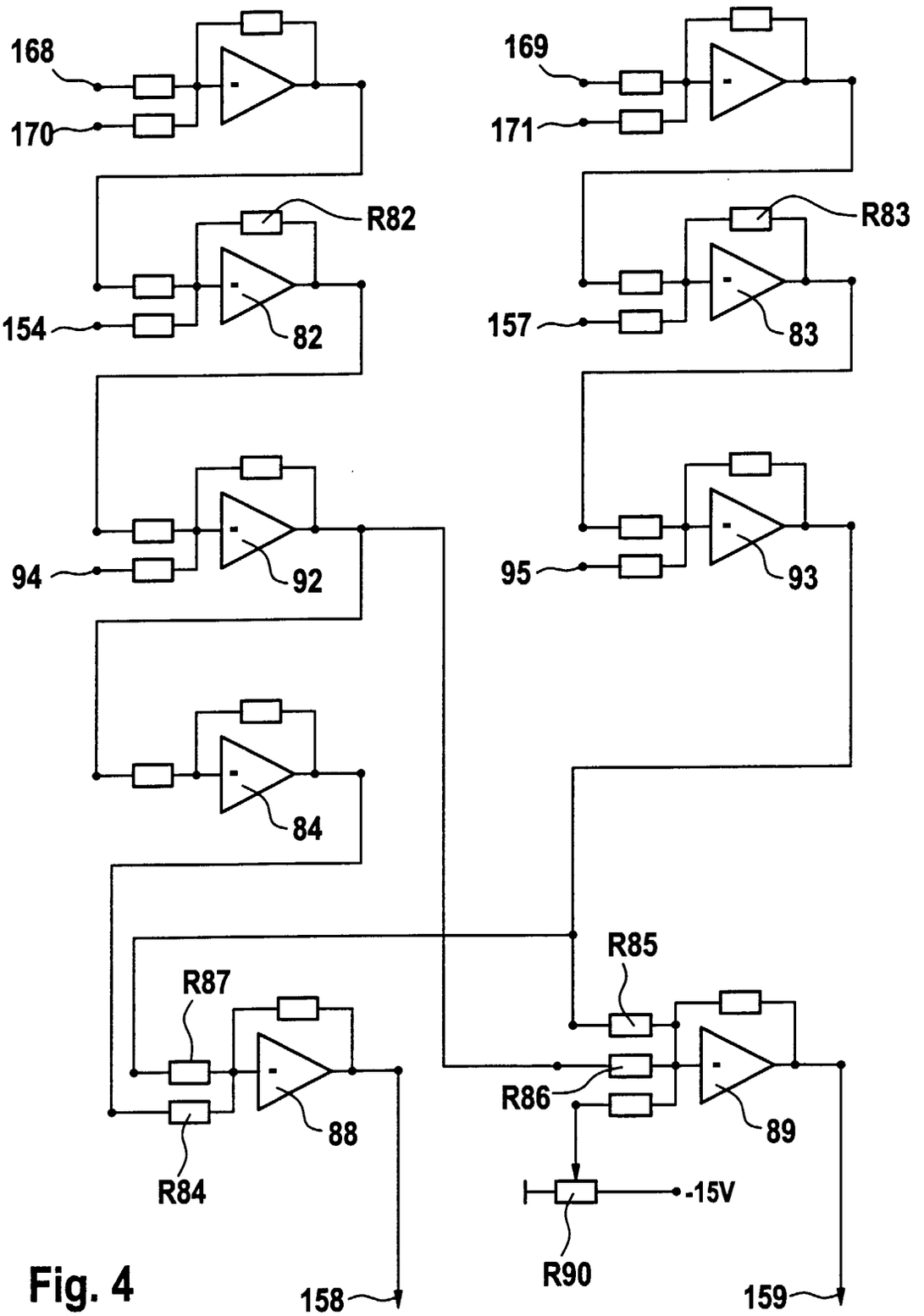

168
170
R82
154
82
169
171
R83
157
83
94
92
95
93
84
R87
88
R84
R85
R86
89
-15V
R90
158
159

Fig. 4

Europäisches Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 03 00 9108

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int.Cl.7)
A	FR 2 547 835 A (CREUSOT-LOIRE) 28. Dezember 1984 (1984-12-28) * Seite 2, Zeile 11 - Zeile 27 * * Seite 4, Zeile 9 - Seite 5, Zeile 11 * * Abbildungen 1,2 * ---	1	C25B15/02
A	US 6 033 549 A (VOLKER PEINECKE) 7. März 2000 (2000-03-07) * Spalte 5, Zeile 32 - Zeile 65 * * Spalte 7, Zeile 16 - Zeile 35 * * Abbildung 1 * ---	1	
A	DE 40 20 722 A (LINDE AG) 2. Januar 1992 (1992-01-02) * Spalte 3, Zeile 30 - Spalte 4, Zeile 8 * * Abbildung 1 * -----	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (Int.Cl.7)
			C25B

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
DEN HAAG	4. September 2003	Groseiller, P

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 03 00 9108

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

04-09-2003

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
FR 2547835 A	28-12-1984	FR 2547835 A1	28-12-1984
US 6033549 A	07-03-2000	DE 19645693 C1	14-05-1998
		NO 975099 A	07-05-1998
DE 4020722 A	02-01-1992	DE 4020722 A1	02-01-1992

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82