



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 10 2004 011 015 A1 2005.09.15

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 10 2004 011 015.8

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: B60R 16/02  
G06N 3/06

(22) Anmeldetag: 02.03.2004

(43) Offenlegungstag: 15.09.2005

(71) Anmelder:

Brose Fahrzeugteile GmbH & Co. KG, Coburg,  
96450 Coburg, DE

(74) Vertreter:

Maikowski & Ninnemann, Pat.-Anw., 10707 Berlin

(72) Erfinder:

Schlesiger, Markus, 96103 Hallstadt, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:

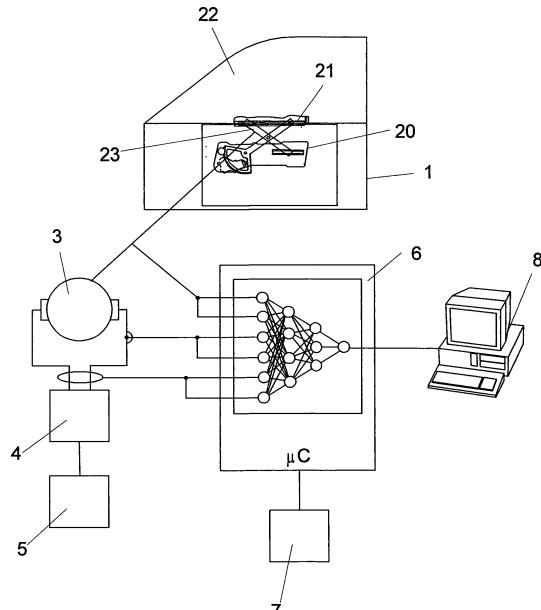
DE 198 40 164 A1  
DE 197 54 703 A1  
DE 195 27 323 A1  
DE 101 96 629 A1  
DE 101 15 045 A1  
DE 44 19 317 A1  
DE 42 09 150 A1  
DE 40 20 351 A1  
EP 06 31 546 B1  
EP 05 21 729 B1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen Bauteils**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils, insbesondere eine Fensterscheibe oder ein Schiebedach in Kraftfahrzeugen, werden mehrere aus der Antriebseinrichtung ableitbare Eingangssignale, die ein Abbremsen der Antriebseinrichtung direkt oder indirekt repräsentieren wie ein Anstieg der Periodendauer und/oder der Stromaufnahme eines Antriebsmotors der Antriebseinrichtung, gleichzeitig an Eingangsneuronen einer Eingangsschicht eines neuronalen Netzes mit mindestens einer verborgene Neuronen aufweisenden verborgenen Schicht eingegeben, das an mindestens einem Ausgangsneuron einer Ausgangsschicht einen der Verstellkraft oder einen eingeklemmten oder nicht eingeklemmten Zustand entsprechenden Ausgangswert abgibt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebs-einrichtung angetriebenen translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils, insbesondere ein Verfahren zum Ermitteln der Kraft, mit der eine Antriebseinrichtung ein Bauteil verstellt oder ein im Verstellweg des Bau-teils befindliches Objekt einklemmt.

### Stand der Technik

**[0002]** Aus der DE 198 40 164 A1 ist ein Verfahren zum Verstellen eines zwischen zwei Stellungen translato-risch bewegbaren Bauteils bekannt, bei dem die momentane Krafteinwirkung auf das translatorisch bewegbare Bauteil aus der Periodendauer eines Antriebsmotors, der Teil einer das translatorisch verstellbare Bauteil ver-stellenden Antriebseinrichtung ist, aus Kraftänderungswerten, die aus Änderungen der Drehzahl des Antriebs-motors berechnet werden, und aus den aufsummierten und über Gleichungssysteme, die anhand eines ma-thematischen Modells der gesamten Verstellvorrichtung einschließlich des Antriebs erstellt wurden, gewichtete Kraftänderungswerte ermittelt werden, die ausschließlich vom Verhalten des Antriebsmotors abhängen. Die momentane Krafteinwirkung auf das translatorisch bewegbare Bauteil wird als Kriterium für das Abschalten oder Reversieren des Antriebsmotors herangezogen, wobei bei der Berechnung der Kraftänderungswerte für jeden Drehzahländerungswert, der einen oberen Schwellwert übersteigt, der Wert dieses oberen Schwellwer-tes anstelle des Drehzahländerungswertes herangezogen wird.

**[0003]** Zur Begrenzung der Anzahl der zu erfassenden physikalischen Größen und der Häufigkeit der Abtas-tungen der physikalischen Größen wird die Periodendauer der Umdrehungen des Antriebsmotors mittels eines Magnetrades und zweier Hall-Sensoren erfasst. Aus der erfassten Periodendauer in Verbindung mit verschie-denen, empirisch oder messtechnisch erfassten Parametern wird eine fein gerasterte Überwachung der Ein-klemmschutzkriterien durch Extrapolation der erfassten Periodendauer angestrebt.

**[0004]** Dazu werden zur Bestimmung der momentanen Krafteinwirkung auf das translatorisch bewegbare Bauteil die nur periodenweise zur Verfügung stehenden Messwerte der Periodendauer extrapoliert, wobei die bei der Extrapolationsformel verwendeten Parameter das Gesamtsystem der Antriebsvorrichtung modulieren und durch die Federsteifigkeiten, Dämpfungen und Reibungen des Gesamtsystems bestimmt sind. Dadurch werden spektrale Anteile des Periodenzzeitverlaufs, die von Vibrationen herrühren, schwächer bewertet als sol-che, die von einem Einklemmfall herrühren. Aus den so bestimmten Schätzwerten für die Periodendauer wird dann die Drehzahländerung zu einem Zeitpunkt, bezogen auf den vorhergehenden Zeitpunkt unter Verwen-dung eines Motorspannungsfilters und eines Wegprofilfilters abgeschätzt, um Einflüsse der Motorspannung und der Position des beweglichen Fahrzeugteils auf die Motordrehzahl zu eliminieren.

**[0005]** Die für die Elimination der Motorspannung und Position des translatorisch bewegbaren Bauteils auf die Motordrehzahl verwendeten Größen bilden unter anderem das dynamische Verhalten des Antriebsmotors bei Spannungsänderungen nach. Eine weitere Korrektur wird dadurch vorgenommen, dass die abgeschätzten Drehzahländerungen mit einer festgesetzten, zeitlich konstanten Untergrenze verglichen werden. Soweit die abgeschätzten Drehzahländerungen diese Untergrenze übersteigen, werden sie mit einem Proportionalitäts-faktor multipliziert, der die Steilheit der Motorkennlinie des Antriebsmotors wiedergibt.

**[0006]** Aus der DE 40 20 351 C2 ist ein Verfahren zur Steuerung einer Fensterscheibe eines Kraftfahrzeugs bekannt, bei dem ein Korrekturverfahren angewendet wird, um ein Einklemmschutzkriterium abzuleiten, mit dem ein zu frühes Ansprechen einer Einklemmschutzvorrichtung verhindert werden soll. Zu diesem Zweck ver-sorgt eine erste Sensoreinrichtung eine Steuerelektronik mit ursächlich mit der Fensterscheibe und der die Fensterscheibe bewegenden Antriebseinrichtung zusammenhängenden Signalen wie Bordspannung, Fensterhebergeschwindigkeit, Drehmoment des Antriebs, Scheibengewicht usw., während ein zweites Sensorelement die Steuerelektronik mit ursächlich nicht mit der Fensterscheibe und der Antriebseinrichtung zusammen-hängenden Signalen versorgt, nämlich mit auf die Karosserie einwirkenden Beschleunigungskräften. Um ein fälschliches Abschalten oder Reversieren der Einklemmschutzvorrichtung zu verhindern, werden die Signale des zweiten Sensorelementes als Grundpegel verwendet und die Signale der ersten Sensoreinrichtung unter Sicherheitsaspekten bewertet.

**[0007]** Bei dem bekannten Verfahren wird von einer relativen Erkennung eines Kraftaufbaus durch einen An-stieg der Periodendauer Gebrauch gemacht, das heißt, die Kraftänderungen in aufeinanderfolgenden Zeitab-schnitten werden miteinander verglichen, wodurch der Anlauf des translatorisch bewegbaren Bauteils nur schwer vom Einklemmen eines Objekts im Verstellweg des translatorisch bewegbaren Bauteils unterschieden

werden kann.

**[0008]** Bei Spannungssprüngen im Bordnetz eines Kraftfahrzeugs und beim Befahren von Schlechtwegstrecken erfolgt durch die bekannten Verfahren eine Überkompensation der Störgrößen, was zu hohen Offsets mit sehr hohen Kräften führt, so dass die zulässigen Einklemmkräfte überschritten werden. Ein weiterer Nachteil der bekannten Verfahren besteht darin, dass eine Erkennung der auf das translatorisch bewegbare Bauteil einwirkenden Kraft nur bei einem Anstieg in der Periodendauer möglich ist, was zu hohen Kräften bei einer Degression der Periodendauer führt, das heißt bei einer Abnahme der Periodendauer, beispielsweise infolge einer Leichtgängigkeit des translatorisch bewegbaren Bauteils, was ebenfalls zu erhöhten Einklemmkräften führt.

**[0009]** Alters- und verschleißbedingte Veränderungen im Verlauf des Verstellwegs des translatorisch bewegbaren Bauteils werden bei dem bekannten Verfahren durch Parameteränderungen kompensiert, was eine Nachführung des Regelalgorithmus und ein entsprechend aufwändiges Regelungsverfahren bedingt.

**[0010]** Schließlich sind die bekannten Verfahren an die Auswahl einer bestimmten Anzahl unterschiedlicher Parameter gebunden, die für das Abschalten bzw. Reversieren des translatorisch bewegbaren Bauteils maßgeblich sind, was bei einer größeren Parameterzahl einen entsprechenden Aufwand an Sensorik und Regelungstechnik mit sich bringt.

**[0011]** Aus der DE 101 96 629 T1 ist die Anwendung eines neuronalen Netzes in einem Sensorsystem für ein angetriebenes Schließsystem und ein Verfahren zum bedarfsweisen Verhindern des Schließens eines angetriebenen Schließsystems bekannt, bei dem das Sensorsystem Gegenstände vor dem Einklemmen durch einen Näherungssensor erkennt. Die bei den vorstehend angegebenen bekannten Verfahren auftretenden Probleme beziehen sich jedoch auf eine Erfassung von Signalen der Antriebseinrichtung, was eine Auswertung und Fehlerkorrektur wegen der wechselseitigen Einflussgrößen besonders schwierig macht.

#### Aufgabenstellung

**[0012]** Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils anzugeben, das die unterschiedlichen Einflussgrößen auf die Verstell-, Einklemm- oder Reversierkraft berücksichtigt, an Veränderungen der Einflussgrößen automatisch anpassbar ist und eine hohe Flexibilität bei der Berücksichtigung der Einflussgrößen auf einen Einklemmschutz aufweist.

**[0013]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Anspruchs 1 gelöst.

**[0014]** Die erfindungsgemäße Lösung stellt ein Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils, insbesondere durch Ermittlung einer Verstell-, Einklemm- oder Reversierkraft, mit einstellbarer Empfindlichkeit zur Verfügung, das die unterschiedlichsten Einflussgrößen auf die Verstell-, Einklemm- oder Reversierkraft berücksichtigt, an Veränderungen der Einflussgrößen automatisch anpassbar ist und eine hohe Flexibilität bei der Berücksichtigung der Einflussgrößen auf einen Einklemmschutz aufweist.

**[0015]** Im einzelnen stellt die erfindungsgemäße Lösung sicher, dass

- die Empfindlichkeit der Kraftermittlung bei niedrigen Federraten einstellbar ist;
- Änderungen der Versorgungsspannung nicht zu hohen Kraftschwankungen und insbesondere Spannungssprünge nicht zu einem Reversieren der Verstellbewegung oder zu einer Überkompensation führen;
- ein großer Spannungsbereich von beispielsweise 8–17 V gewährleistet ist;
- eine Überlagerung eines Kraftaufbaus bei einer Beschleunigung rechtzeitig erkannt wird;
- fortlaufend Veränderungen im Verstellweg des verstellbaren Bauteils erfasst werden;
- die Abschaltkraft des Einklemmschutzes kontinuierlich einstellbar ist;
- die Art der Signalerfassung beliebig ist und
- eine einfache Anpassung an kundenspezifische Forderungen möglich ist.

**[0016]** Die erfindungsgemäße Lösung nutzt die Vorteile eines neuronalen Netzes bei der Ermittlung einer Verstell-, Einklemm- oder Reversierkraft, nämlich

- die Fähigkeit, aus gegebenen Daten selbstständig zu lernen, ohne dafür explizit programmiert werden zu müssen,
- das Erkennen von gespeicherten Mustern auch dann, wenn das Eingabemuster in der Lernphase unvoll-

ständig oder ein Teil davon fehlerhaft ist sowie  
– von gelernten auf nicht gelernte Probleme zu schließen.

**[0017]** Vorzugsweise wird eine Verzögerung der Verstellbewegung der Antriebseinrichtung durch eine Veränderung der Periodendauer und/oder des Motorstroms und/oder der Motorspannung eines Antriebsmotors der Antriebseinrichtung ermittelt.

**[0018]** Das erfindungsgemäße Verfahren macht von einer direkten oder indirekten Erkennung eines Einklemmfalles durch ein Ansteigen der Periodendauer oder des Motorstromes unter Berücksichtigung der Motorspannung des Antriebsmotors der Antriebseinrichtung bzw. durch eine Verknüpfung eines Teils oder sämtlicher Signale Gebrauch. Während im Einklemmfall, der vorzugsweise bei verschiedenen Federraten von beispielsweise 2N/mm, 10N/mm, 20N/mm und 65N/mm mit einem 4mm Stab ermittelt wird, das verstellbare Bau teil angehalten oder reversiert wird, führt ein Spannungssprung, ein Einlaufen des verstellbaren Bauteils in eine Dichtung oder eine sonstige, auch witterungsbedingte Schwierigkeit im Verstellweg des verstellbaren Bauteils sowie der Anlauf der Antriebseinrichtung zu einer Fortsetzung der Verstellbewegung.

**[0019]** Während bei vielen der bekannten Verfahren zusätzliche Sensoren wie beispielsweise Näherungssensoren, Beschleunigungssensoren und dergleichen eingesetzt werden, erfolgt bei der erfindungsgemäßen Lösung eine Auswertung der Periodendauer und oder des Motorstroms und/oder der Motorspannung und somit ohne den zusätzlichen Herstellungsaufwand durch die Installation entsprechender Sensoren in Verbindung mit einer Einrichtung zur Auswertung der Sensorsignale mit einem geeigneten Algorithmus, der auf viele Einklemmfälle nicht oder nur ungenügend reagiert.

**[0020]** Die aus der Antriebseinrichtung ableitbaren Eingangssignale können wahlweise parallel, d.h. gleichzeitig, oder seriell, beispielsweise im Multiplexverfahren, an die Eingangsneuronen der Eingangsschicht des neuronalen Netzes abgegeben werden.

**[0021]** Damit das neuronale Netz in der Lage ist, zu lernen, werden die Eingänge der Eingangsschicht, der verborgenen Schicht und der Ausgangsschicht sowie die Verbindungen der Eingangsschicht mit der mindestens einen verborgenen Schicht, die Verbindungen der mehreren verborgenen Schichten untereinander und die Verbindung einer verborgenen Schicht mit der Ausgangsschicht verschieden stark gewichtet, wodurch die Verbindungen zwischen den einzelnen Schichten unterschiedliche Stärke haben.

**[0022]** Weiterhin besitzen die verborgenen Neuronen der mindestens einen verborgenen Schicht und das mindestens eine Neuron der Ausgangsschicht einen konstanten Schwellwert oder Bias, der den Ausgang der Transferfunktionen der Neuronen in einen stetigen Bereich verschiebt. Dabei sind der Bias und die Gewichte Konstanten, die in der Anwendung bzw. einem Serieneinsatz nicht mehr verändert, beziehungsweise nachgelernt werden. Sie werden einmal vor dem Serieneinsatz ermittelt und beispielsweise in einem EEPROM abgelegt. Der Algorithmus kann dann, falls sich Schwachpunkte im Algorithmus aufzeigen, durch eine neue Parametereinstellung, d.h. durch Nachlernen verbessert werden. In der Anwendung jedoch bleiben sowohl die Gewichte als auch der Bias bestehen.

**[0023]** In einer Lernphase werden an die Eingangsneuronen, verborgenen Neuronen und/oder Ausgangsneuronen des neuronalen Netzes zufällige Gewichte vergeben, verschiedene an die Eingangsneuronen angelegte Eingangsmuster vorgegeben und der dazugehörige mindestens eine Ausgangswert berechnet wird und in Abhängigkeit vom Unterschied zwischen dem mindestens einen Ausgangswert und mindestens einem Soll-Ausgangswert die Gewichte und/oder der Schwellenwert verändert. Dabei hängt das Maß der Änderung der Gewichte von der Größe des Unterschieds zwischen dem mindestens einen Ausgangswert und dem mindestens einen Soll-Ausgangswert ab.

**[0024]** Die Messung des Ausgangswertes erfolgt vorzugsweise mit einer Kraftmesszange bei unterschiedlichen Federraten, insbesondere bei 2 N/mm und 20 N/mm, wobei die Kraftmesszange analog zu den Eingangswerten den gemessenen Ausgangswert ausgibt.

**[0025]** Entsprechend der direkten oder indirekten Signalerfassung, mit der das Abbremsen der Antriebseinrichtung durch einen Anstieg der Periodendauer und/oder der Stromaufnahme eines Antriebsmotors der Antriebseinrichtung ermittelt wird, werden den Eingangsneuronen als Eingangssignale die Motorperiode und oder der Motorstrom und/oder die Motorspannung des Antriebsmotors eingegeben.

**[0026]** Als zusätzliches Eingangssignal wird den Eingangsneuronen eine Adoptionsperiode eingegeben, die

die bei einer vorgegebenen Referenzspannung berechnete Periode angibt, die zur Position einer in der Lernphase abgelegten Referenzwegstrecke gehört.

**[0027]** In der Lernphase kann die Adoptionsperiode in einem kleineren als dem in der Anwendung verwendeten neuronalen Netz berechnet werden, wobei die Adoptionsperiode gemittelt wird, indem bei jeder vollen Umdrehung oder in 4 Viertelperioden des Antriebsmotors das neuronale Netz eine neue Adoptionsperiode errechnet, die bei der nächsten Verstellbewegung als Adoptionsperiode zur Verfügung gestellt wird.

**[0028]** In einer bevorzugten Ausführung der Erfindung bestehen die Eingangswerte der Eingangsneuronen aus den Werten eines Adoptionsanlaufs des verstellbaren Bauteils, den Werten einer Adoptionsperiode beim Verstellen des verstellbaren Bauteils, einem Anlaufflag, den Ausgangswerten eines Schieberegisters für Spannungswerte des Antriebsmotors, den Ausgangswerten eines Schieberegisters für Periodenwerte, der Antriebsmotortemperatur, der Außentemperatur, einem Geschwindigkeitssignal, einem Schwingflag und einem vorangegangenen Ausgangswert, während als Ausgangswert eines Ausgangsneurons die neuronal ermittelte Kraft abgegeben wird.

**[0029]** In der Lernphase des neuronalen Netzes werden an die Eingangsneuronen Eingangsmuster angelegt und die von dem mindestens einen Ausgangsneuron abgegebenen Kraftwerte in Abhängigkeit von der gewünschten Empfindlichkeit des Systems bei niedrigen Federraten ausgewählt bzw. vorgegeben. Dabei besteht der Lernanteil in der Lernphase des neuronalen Netzes insbesondere aus der Adoptionsperiode, die nach jedem Lauf neu in der Anwendung ermittelt wird.

**[0030]** Die Lernphase erfolgt nach einem weiteren Merkmal der Erfindung vor der betriebsgemäßen Anwendung in einem Fahrzeug, während bei der betriebsgemäßen Anwendung die in der Lernphase ermittelten Gewichte des neuronalen Netzes festgelegt werden.

#### Ausführungsbeispiel

**[0031]** Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung sollen nachfolgend an den in der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispielen näher erläutert werden. Es zeigen:

**[0032]** [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines Systems zum Ermitteln der Kraft, mit der eine Antriebseinrichtung einen Fensterheber in einer Kraftfahrzeutür zum Verstellen einer Fensterscheibe antreibt;

**[0033]** [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung eines im System gemäß [Fig. 1](#) verwendbaren neuronalen Netzes;

**[0034]** [Fig. 3](#) bis [Fig. 6](#) zeitliche Darstellungen verschiedener Parameter beim Verstellen des Fensterhebersystems gemäß [Fig. 1](#);

**[0035]** [Fig. 7](#) eine schematische Darstellung eines Eingangsmusters eines Backpropagation-Netzwerks;

**[0036]** [Fig. 8](#) eine schematische Darstellung der Vorspannung von Neuronen des Netzwerks gemäß [Fig. 7](#);

**[0037]** [Fig. 9](#) bis [Fig. 11](#) weitere Eingangsmuster des Backpropagation-Netzwerks gemäß [Fig. 7](#) und

**[0038]** [Fig. 12](#) eine zeitliche Darstellung des Lernerfolges bei vorgegebenen Eingangsmustern der Netzwerke gemäß den [Fig. 7](#), [Fig. 9](#), [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) bei zwei unterschiedlichen Spannungen.

**[0039]** [Fig. 1](#) zeigt eine schematische Darstellung eines Steuer- und Regelsystems für einen Antriebsmotorschisch angetriebenen Fensterheber **2** in einer Kraftfahrzeutür **1**. Der Fensterheber **2** weist eine Hebeschiene **21** auf, an der eine Fensterscheibe **22** als verstellbares Bauteil befestigt ist. Die Hebescheine **21** ist mittels einer Hebevorrichtung **23** und eines Antriebsmotors **3**, die Teile einer Antriebseinrichtung sind, beweglich, so dass die Fensterscheibe **22** angehoben und abgesenkt werden kann. Der Antriebsmotor **3** wird aus einer Spannungsquelle **5** über eine Schalteinrichtung **4** gespeist, die sowohl die Drehzahl als auch die Drehrichtung des Antriebsmotors **3** bestimmt.

**[0040]** Ein als Steuer- und Regelelektronik dienender Mikroprozessor **6** versorgt die Schalteinrichtung **4** mit Steuer- und Regelsignalen und ist mit einer Bedienungseinheit **7**, beispielsweise mit den Tasten oder Schaltern zur Bedienung des Fensterhebers **2**, verbunden. Eine temporäre Verbindung kann mit einem Mikrocomputer

8 zur Durchführung einer oder mehrere Lernphasen des Mikroprozessors **6** hergestellt werden.

**[0041]** Da beim Schließen der durch die Fensterscheibe **22** abdeckbaren Türöffnung durch Anheben der Fensterscheibe **22** die Gefahr eines Einklemmens von Körperteilen oder Gegenständen zwischen dem Rand der Fensterscheibe **22** und dem Türrahmen der Kraftfahrzeugtür **1** besteht, ist bei Antriebsmotorisch angetriebenen Fensterhebern eine Einklemmschutzeinrichtung vorgeschrieben, mit der das Einklemmen eines Objekts erkannt wird und zu einem Anhalten bzw. Reversieren des Antriebsmotors **3** und damit der Bewegungsrichtung des Fensterhebers **2** führt.

**[0042]** Der Einklemmschutz muss gewährleisten, dass die auf ein im Verstellweg der Fensterscheibe **22** befindliches Körperteil bzw. auf einen Gegenstand wirkende Einklemmkraft einen gesetzlich vorgeschriebenen Grenzwert nicht überschreitet. Dabei muss im oberen Dichtungsbereich gewährleistet sein, dass einerseits die Fensterscheibe **22** sicher schließt, wozu zur Überwindung des durch die Fensterdichtung gegebenen Widerstandes eine erhöhte Verstellkraft aufgebracht werden muss, andererseits muss diese Verstellkraft aus Sicherheitsgründen derart dimensioniert sein, dass ein 4 mm-Stab erkannt wird und der Einklemmschutz den Fensterheber **2** abschaltet bzw. reversiert. Das bedingt, dass auch Beschleunigungskräfte, die durch äußere Einflüsse, wie eine Schlechtwegstrecke, mit der dadurch bedingten Beschleunigung des Fahrzeugs senkrecht zur Fahrtrichtung sicher erkannt werden, um Fehlfunktionen des Einklemmschutzes auszuschließen.

**[0043]** Zu diesem Zweck wird der zur translatorischen Verstellung der Fensterscheibe **22** eigentlich nur notwendigen Kraft eine als Reversierkraft bezeichnete Kraft aufgeprägt, deren Größe begrenzt ist. Die Summe beider Kräfte ist gleich der von der Antriebseinrichtung abgegebenen Verstellkraft, die zur Verstellung der Fensterscheibe **22** verwendet wird. Die Reversierkraft stellt daher eine Kraftreserve zur Überwindung zusätzlicher Gegenkräfte dar. Sie kann in den verschiedenen Teilbereichen des Gesamt-Verstellweges der Fensterscheibe **22** eine unterschiedliche Begrenzung aufweisen, die beispielsweise aufgrund des hohen Widerstandes der Fensterdichtung im oberen Bereich des Verstellweges, wo die Fensterscheibe **22** in die Türdichtung einläuft, höher gewählt wird als in dem darunter befindlichen Verstellbereich, so dass ein sicheres Einfahren der Fensterscheibe in den Dichtungsbereich gewährleistet ist.

**[0044]** Erfindungsgemäß erfolgt die Steuerung und Regelung der Schalteinrichtung **4** zum Betrieb des Antriebsmotors **3** der Antriebseinrichtung durch ein mittels des Mikroprozessors **6** ausgeführtes neuronales Netz **9**, dessen Struktur schematisch in der [Fig. 2](#) dargestellt ist.

**[0045]** Die Bestandteile des in [Fig. 2](#) dargestellten neuronalen Netzes **9** sind Neuronen **10, 11, 12**, die aus einem Eingabevektor, einem Gewichtsvektor, und einer Transferfunktion mit einer Aktivierungs- und Ausgabefunktion bestehen. Das neuronale Netz **9** besteht somit aus einer Menge von in Schichten **91, 92, 93, 94** angeordneten Neuronen **10, 11, 12** und gewichteten Verbindungen **14, 15, 16** und besitzt die Struktur eines gerichteten Graphen, für den folgende Einschränkungen und Zusätze gelten:

- Die Knoten des neuronalen Netzes werden durch die Neuronen **10, 11, 12** gebildet
- Die Kanten des neuronalen Netzes heißen Verbindungen
- Es gibt gewichtete Verbindungen zwischen den Neuronen einer Schicht **91, 92, 93**
- Es gibt gewichtete Verbindungen zwischen den Neuronen benachbarter Schichten **91, 92, 93, 94**.
- Die Eingangs- oder Eingabeschicht **91** dient zur Aufnahme der Eingangssignale
- Eine oder mehrere verborgene Schichten **92, 93** dienen der Verarbeitung der von den Eingangsneuronen **10** der Eingabeschicht **91** abgegebenen Signale und erlauben die Abbildung komplexer Funktionen
- Die Ausgangs- oder Ausgabeschicht **94** gibt das aus den verarbeiteten Eingangssignalen ermittelte Resultat ab.

**[0046]** Damit das neuronale Netz **9** in der Lage ist, zu lernen, müssen die einzelnen Eingänge eines Neurons **10, 11, 12** verschieden stark gewichtet werden können. Die Gewichtung bewirkt, dass die Verbindungen zwischen den einzelnen Schichten **91, 92, 93, 94** unterschiedliche Stärke haben, so dass die Verbindungen zwischen der Eingangsschicht **91** und der Ausgangsschicht **94** die durch die Eingangssignale eingegebenen Informationen nicht immer optimal übertragen, sondern

- überhaupt nicht, wenn das Gewicht der Verbindung 0 ist, das heißt, keine Verbindung besteht,
- die Verbindung hemmen, wenn das Gewicht negativ ist, und
- die Verbindung anregen, wenn das Gewicht größer Null ist.

**[0047]** Zur Erfassung eines Einklemmzustandes wird das Abbremsen der Antriebseinrichtung durch einen Anstieg der Periodendauer und/oder der Stromaufnahme eines Antriebsmotors der Antriebseinrichtung ermittelt. Wird bei dieser indirekten Erkennung die Stromaufnahme des Antriebsmotors ermittelt, so werden als Ein-

gangswerte beispielsweise die letzten 12 Stromwerte der Motorstromaufnahme, ein Adoptionsstrom, der das Motormoment bei einer Motorspannung von beispielsweise 13 V wiederspiegelt und die letzten 3 Spannungswerte erfasst. Bei einer Periodenauswertung werden beispielsweise die letzten z.B. 12 Periodenwerte, eine Adoptionsperiode, die bei einer Normierspannung von z.B. 13 V gemessen wird, und die letzten 3 Spannungswerte erfasst. In einer Lernphase wird dabei mit einer Kraftmesszange mit Werten von 2 N/mm und 20 N/mm angelernt, die analog zu den Eingangssignalen den gemessenen Ausgangswert von beispielsweise 0 – 160N mit ausgibt, so dass das neuronale Netz in der Anwendung einen Teil der Verschiebekraft mit ausgibt und bei einem Einklemmen die aufgebaute Kraft.

**[0048]** Das in [Fig. 2](#) dargestellte neuronale Netz **9** weist in der Eingangsschicht **91** eine Anzahl von 24 Eingangsneuronen **10** auf, an die mit unterschiedlichem Gewicht verschiedene Eingangssignale wie die Periodendauer und/oder die Stromaufnahme des Antriebsmotors **3** gemäß [Fig. 1](#), Spannungswerte, ein den Anlauf des Antriebsmotors **3** angebendes Anlauf-Flag sowie Adoptionsperioden bestehen, die eine zur jeweiligen Position eines in einer Lernphase durchgeführten und abgelegten Referenzhubs zugehörige Periode bei einer vorgegebenen Referenzspannung bezeichnen. Die Adoptionsperiode wird in einem kleineren als dem in der Anwendung verwendeten neuronalen Netz berechnet und gemittelt, d.h. bei jeder vollen Umdrehung (4 Viertelperioden) des Antriebsmotors errechnet das neuronale Netz eine neue Adoptionsperiode, die im nächsten Fensterheberhub als Adoptionsperiode zur Verfügung gestellt wird. Der Wertebereich wird hauptsächlich durch vor kommende Minimal und Maximal-Werte bestimmt, wobei versucht wird, die Eingangsmuster Inputs möglichst zwischen 0 und 1 zu legen.

**[0049]** Jedes Eingangsneuron **10** der Eingangsschicht **91** ist über eine Vielzahl von Verbindungen **14**, denen unterschiedliche positive oder negative Gewichte zugeordnet sind, mit den verborgenen Neuronen **11** einer ersten verborgenen Schicht **92** verbunden. Auch die verborgenen Neuronen **11** der ersten verborgenen Schicht **92** weisen unterschiedliche positive und negative Gewichte auf und sind über mehrere ebenfalls positiv oder negativ gewichtete Verbindungen **15** mit den verborgenen Neuronen **11** einer zweiten verborgenen Schicht **93** verbunden, deren Eingänge ebenfalls unterschiedlich positiv oder negativ gewichtet sind. Schließlich sind die verborgenen Neuronen **11** der zweiten verborgenen Schicht **93** über ebenfalls positiv oder negativ gewichtete Verbindungen **16** mit einem Ausgangsneuron **12** der Ausgangsschicht **94** verbunden, an dem der aus den Eingangswerten ermittelte Ausgangswert ansteht.

**[0050]** Die Gewichtung der Eingänge und Verbindungen der Neuronen des in [Fig. 2](#) dargestellten mehrstufigen neuronalen Netzes **9** erfolgt nach einer ersten empirischen Vorgabe in einer Lernphase, in der neue Verbindungen entwickelt, existierende Verbindungen gelöscht, die Stärken der Verbindungen durch Veränderung der Gewichte modifiziert, Schwellenwerte und Transferfunktionen modifiziert, neue Neuronen entwickelt und bestehende Neuronen gelöscht werden. Von diesen Möglichkeiten des Lernens in der Lernphase wird bei dem erfindungsgemäß verwendeten neuronalen Netz **9** insbesondere von der Modifikation der Stärke der Verbindungen durch Veränderung der Gewichte, der Modifikation des Schwellenwertes sowie der Modifikation der Transferfunktion Gebrauch gemacht.

**[0051]** In der Lernphase werden im ungelerten Zustand zunächst zufällig Gewichte vergeben. Nach dem Prinzip des überwachten Lernens werden anschließend verschiedene Eingangsmuster vorgegeben und der zugehörige Ausgangswert berechnet. Anschließend wird die Differenz zwischen dem berechneten Ausgangswert und einem vorgegebenen Soll-Ausgangswert bestimmt, aus der dann über die Lernregel das neuronale Netz **9** modifiziert wird. Je größer der Unterschied zwischen dem berechneten Ausgangswert und dem vorgegebenen Soll-Ausgangswert ist, desto mehr werden die Gewichte verändert, so dass der Fehler bzw. die Abweichung des berechneten Ausgangswertes vom vorgegebenen Soll-Ausgangswert von der Ausgangsschicht **94** zu den verborgenen Schichten **93**, **92** und dann zur Eingangsschicht **91** zurückgerechnet wird.

**[0052]** Nach Abschluss der Lernphase ist das neuronale Netz **9** in der Lage, aus nicht gelernten, ähnlichen Eingangsmustern den richtigen Ausgangswert zu berechnen. Schwächen in der Funktion des neuronalen Netzes **9** können dabei durch erneutes Lernen bestimmter, vorgegebener Situationen beseitigt werden. Daraus ergeben sich im Vergleich zu bekannten Verfahren zur Ermittlung der Verstellkraft, Einklemmkraft oder Reversierkraft die Vorteile, dass keine Einzelbewertung der Eingangssignale, wie bei der Anwendung des bisherigen Algorithmus, sondern eine Interpretation der Summe aller Eingänge erfolgt. Weiterhin können nichtlineare Zusammenhänge wie das Verhalten des Antriebsmotors **3** gemäß [Fig. 1](#) nachgebildet und mit dem bisherigen Algorithmus nicht oder nur mit Einschränkung auswertbare Signalverläufe korrekt interpretiert bzw. berechnet werden, so dass eine für einen zuverlässigen Einklemmschutz erforderlicher momentaner Kraft-Ausgangswert ermittelt wird. Diese Funktion soll anhand verschiedener in den [Fig. 3](#) bis [Fig. 6](#) dargestellter Signalverläufe näher erläutert werden.

[0053] [Fig. 3](#) zeigt eine vereinfachte Darstellung des Verlaufs der Periodendauer des Antriebsmotors der Antriebseinrichtung über der Zeit t beim Anheben einer Fensterscheibe von ihrer untersten in die oberste Stellung, in der die Fensterscheibe die Türöffnung einer Kraftfahrzeutgür vollständig abdeckt.

[0054] In der Anlaufphase A sinkt die Periodendauer zunächst stark ab und steigt nach einem Minimum stark an. Das Absinken der Periodendauer ist gleichbedeutend mit einer Beschleunigung des Antriebsmotors in der Anlaufphase A, die mit einem entsprechenden Kraftaufbau verbunden ist. Nach Beendigung der Anlaufphase A bleibt die Periodendauer nahezu konstant bzw. steigt geringfügig an, da die Reibung infolge der Führung der Fensterscheibe in der Fensterdichtung mit der zurückgelegten Wegstrecke zunimmt. Da beim Einlauf E der Fensterscheibe in die obere Fensterscheibendichtung die Reibung stark zunimmt, steigt die Periodendauer sprungartig an, verläuft anschließend nahezu linear bzw. geringfügig ansteigend bis sie mit dem Erreichen des oberen Anschlages steil zunimmt.

[0055] Dieser charakteristische Verlauf der Periodendauer beim Schließen einer Fensterscheibe führt bei dem bekannten Einklemmschutzverfahren und Einklemmschutzeinrichtungen zu hohen Kräften in der Anlaufphase A. Veränderungen auf der von der Fensterscheibe zurückgelegten Wegstrecke können nur durch Parameteränderungen kompensiert werden, damit beispielsweise beim Dichtungseinlauf die Fensterscheibe infolge erhöhter Reibung nicht stehen bleibt bzw. aufgrund des Ansprechens des Einklemmschutzes reversiert.

[0056] In den [Fig. 4a](#) und [Fig. 4b](#) sind zwei unterschiedliche Verfahren zur Erfassung eines Einklemmvorganges durch einen Verlauf der Periodendauer über der Zeitachse t dargestellt.

[0057] [Fig. 4a](#) zeigt eine rein relative Erfassung der Periodendauer über der Zeit t, wobei ein Einklemmfall durch einen Anstieg der Periodendauer, der mit einem entsprechenden Kraftaufbau verbunden ist, festgestellt wird. Bei der rein relativen Erfassung wird nur die zeitliche Veränderung der Periodendauer beim Verstellen der Fensterscheibe überwacht und beim Überschreiten einer Auslöseschwelle AS die Fensterscheibe angehalten bzw. reversiert, jedoch werden keine absoluten Werte erfasst oder überwacht.

[0058] [Fig. 4b](#) zeigt den Periodenverlauf über der Zeit t bei einem rein absoluten Erfassungssystem, bei dem ein Periodenanstieg ebenfalls mit einem entsprechenden Kraftaufbau verbunden ist. Die Auslösung des Einklemmschutzes erfolgt bei Überschreiten eines vorgegebenen Absolutwertes AW der Periodendauer gegenüber einer vorprogrammierten Referenzkurve R.

[0059] [Fig. 5](#) zeigt einen schematischen Verlauf der Periodendauer über der Zeit t im Falle einer niedrigen Federrate, d.h. einer Federrate FR von beispielsweise 2N/mm des Verstellsystems. Der zeitliche Verlauf verdeutlicht den langsamen Kraftaufbau infolge des geringen Anstiegs der Periodendauer über den Verstellweg nach Beendigung der Anlaufphase, wobei beispielsweise bei Anwendung eines relativen Erkennungssystems infolge des geringen Anstiegs und bei Anwendung des absoluten Erkennungssystems infolge der langen Zeitspanne bis zum Erreichen eines Abschaltkriteriums hohe Kräfte aufgebaut werden können.

[0060] [Fig. 6](#) zeigt schematisch den Verlauf der Periodendauer T, der Position P und der (Verstell-)Kraft über der Zeitachse t beim Auftreten einer äußeren Beschleunigung, beispielsweise beim Befahren einer Schlechtwegstrecke oder in Folge einer lokal und/oder zeitlich begrenzten Leichtgängigkeit im Verstellweg. Aufgrund der unterstützenden Wirkung der Beschleunigungskräfte oder der Reduzierung bzw. des Wegfalls von Reibungskräften bei der Scheibenbewegung sinkt die Periodendauer T kurzzeitig ab, das heißt, die Fensterscheibe wird kurzzeitig beschleunigt. Wird der Verstellkraft in dem Beschleunigungsbereich B eine Kraft überlagert, so tritt ein steiler Kraftaufbau K auf, der mit den bekannten Einklemmschutzverfahren nicht erkannt wird, da nur positive Periodenveränderungen detektiert werden. In dem in [Fig. 6](#) gestrichelt dargestellten Beschleunigungsbereich B sind somit die bekannten Einklemmschutzregelungen nicht funktionsfähig.

[0061] Aufgrund der vorstehend anhand der zeitlichen Darstellungen der Periodendauer in den [Fig. 3](#) bis [Fig. 6](#) treten bei der Anwendung der bekannten Einklemmschutzverfahren folgende Probleme und Nachteile auf:

- Es treten hohe Kräfte bei niedrigen Federraten und eine schlechte Erkennung eines 4mm-Stabes in allen Richtungen auf,
- Es erfolgt eine Überkompensation bei Spannungssprüngen und Schlechtwegstrecken mit der Folge hoher Offsets mit sehr hohen Kräften, so dass beispielsweise ein Spannungseinbruch im Bordnetz, der mit einem Anstieg der Periodendauer verbunden ist, durch ein Offset kompensiert wird, wodurch ein Überschwingen und damit verbundene große Einklemmkräfte auftreten,
- Eine Krafterkennung ist nur durch einen Anstieg in der Periodendauer möglich, bei einer Degression der

Periodendauer ([Fig. 6](#)) können hohe Kräfte auftreten,

d) Es treten Veränderungen im Verlauf des Verstellweges des verstellbaren Bauteils auf, zu denen schlechende Veränderungen wie Alterung, Dichtungsabrieb und Einlaufen des Fensterhebers sowie Motorunstetigkeiten gehören, die sich stets an derselben Position zeigen, und die durch Parameteränderungen kompensiert werden müssen,

e) In der Anlaufphase treten hohe Kräfte auf.

**[0062]** Bei den bekannten Einklemmschutzverfahren erfolgt eine getrennte Betrachtung der Eingangssignale Periode und Spannung. Ein Spannungsfilter wirkt dabei ab einer Ansprechschwelle nur in einer Richtung und eine Krafterkennung ist ausschließlich durch die Erfassung eines Anstiegs der Motorperiode möglich. Bei der erfundungsgemäßen Anwendung eines neuronalen Netzes werden dagegen im Unterschied zu dem bekannten Einklemmschutzverfahren die Eingangssignale Periode und Spannung miteinander verknüpft, so dass kein Spannungsfilter benötigt wird und Periodenänderungen in jeder Richtung detektiert werden. Weiterhin wird im Unterschied zu dem bekannten Verfahren nicht ein Offset adaptiert, sondern die Periodendauer des Antriebsmotors.

**[0063]** In Bezug auf die vorstehend in den [Fig. 3](#) bis [Fig. 6](#) dargestellten Problemfälle bei der richtigen Erkennung und Auslösung eines Einklemmschutzes führt der Einsatz eines neuronalen Netzes nach Abschluss der Lernphase zu folgenden Ergebnissen:

1. Niedrige Federraten werden einstellbar erkannt, d.h. durch die Auswahl der Lerndaten und die Vorgabe des Sollausgangs- oder Kraftwertes kann festgelegt werden, wie empfindlich das System bei niedrigen Federraten sein soll. Dies wird durch eine Festlegung des Arbeitspunktes zwischen der in [Fig. 4a](#) und [Fig. 4b](#) dargestellten relativen und absoluten Arbeitsweise erlernt, wobei der Arbeitspunkt stufenlos einstellbar ist. Durch diese Mischarbeitsweise werden niedrige Federraten und damit ein langsamer Anstieg in der Periodendauer dadurch erkannt, dass große Abweichungen vom absoluten Anteil entstehen.
2. Bei den bekannten Einklemmschutzverfahren wird ein Spannungseinbruch kompensiert, was dazu führt, dass die Verlangsamung des Systems durch einen Offset auf den Abschaltwert ausgeglichen wird. Das neuronale Netz erhält dagegen die Information des Spannungseinbruchs als eine Verlangsamung der Periodendauer, wobei alle Informationen gleichberechtigt behandelt werden. Dadurch können Spannungssprünge angelernt werden, d.h. das System lernt das komplexe, nicht lineare dynamische Verhalten des Antriebsmotors. Ein Spannungsanstieg, beispielsweise in Form einer Spannungsrampe, führt somit nicht zu hohen Kräften, so dass keine hohen Kraftschwankungen, beispielsweise bei einem Anliegen einer Sinusspannung, entstehen. Der bei der Mischarbeitsweise erfasste absolute Anteil führt dazu, dass beim Befahren einer Schlechtwegstrecke festgestellt werden kann, ob die Periodendauer noch in einem gültigen Bereich liegt.
3. Durch den bei der Mischarbeitsweise erfassten absoluten Anteil wird weiterhin sichergestellt, dass auch bei einer Beschleunigung die Überlagerung eines Kraftaufbaus ([Fig. 6](#)) rechtzeitig und sicher erkannt wird, was bei den bekannten Einklemmschutzverfahren nicht möglich ist, da es immer einen nominellen Anstieg der Periodendauer geben muss, um einen Kraftaufbau zu detektieren.
4. Veränderungen am Verstellweg des verstellbaren Bauteils werden adaptiv erlernt, so dass schlechende Veränderungen, wie Alterung, Dichtungsabrieb und Einlaufen des Fensterhebers sowie Motorunstetigkeiten, die sich stets an derselben Position zeigen, durch Adaption ausgeglichen werden und keine Krafterhöhungen oder eine fehlerhafte Abschaltung oder ein fehlerhaftes Reversieren auftreten.
5. Bei den bekannten Einklemmschutzverfahren kann bei Anwendung eines relativen Erkennungssystems das Anlaufverhalten der Antriebseinrichtung nur schwer von einem Einklemmfall unterschieden werden. Beim Einsatz eines neuronalen Netzes wird dieser Vorgang erlernt und gegebenenfalls durch ein Anlaufflag markiert.
6. Bei den bekannten Einklemmschutzverfahren werden unterschiedliche Parameter zur Erfassung eines Einklemmfalles eingesetzt, wobei nur ein sinnvolles Zusammenspiel dieser verschiedenen Parameter zu einer hinreichend genauen Krafterfassung führt. Dagegen entscheidet beim Einsatz eines neuronalen Netzes nur ein einzelner Wert, der über das Abschalten bzw. Reversieren der Antriebseinrichtung entscheidet, nämlich der Ausgangswert der Ausgangsschicht, so dass eine kontinuierliche Einstellung der den Einklemmschutz auslösenden Abschaltkraft möglich ist.

**[0064]** In den [Fig. 7](#) bis 12 ist ein Backpropagation Netzwerk schematisch vereinfacht dargestellt, das zum Ermitteln der Kraft, mit der eine Antriebseinrichtung über einen Fensterheber eine Fensterscheibe als verstellbares Bauteil verstellt oder ein im Verstellweg der Fensterscheibe befindliches Objekt einklemmt und damit einen Abschalt- oder Reversiennwert abgibt, eingesetzt werden kann.

**[0065]** [Fig. 7](#) zeigt ein erstes Eingangsmuster des Backpropagation Netzwerks mit drei Schichten, nämlich

einer Eingabe- oder Eingangsschicht **91**, einer verborgenen Schicht oder „Hidden-Schicht“ **92** und einer Ausgangs- oder Ausgabeschicht **94**. Die in der Eingangsschicht **91** und der verborgenen Schicht **92** angeordneten Neuronen **101**, **102**, **103**, **111**, **112** sind durch Kanten mit der jeweils darüber liegenden Schicht **92** bzw. **94** verbunden, wobei jede Kante einen an das betreffende Neuron angeschriebenen Gewichtswert symbolisiert.

**[0066]** Die Eingangsschicht **91** ist mit den Eingangswerten Periodendauer, Motorspannung und Adoptionsperiode beaufschlagt, die in einen für die Eingangsneuronen **101**, **102**, **103** passenden Wertebereich gelegt sind. Das mit der Periodendauer beaufschlagte erste Eingangsneuron **101** weist eine Gewichtung von 0,423, das mit der Motorspannung beaufschlagte zweite Eingangsneuron **102** weist eine Gewichtung von 0,524 und das mit der Adoptionsperiode beaufschlagte dritte Eingangsneuron **103** weist eine Gewichtung von 0,279 auf.

**[0067]** Die verborgene Schicht **92** enthält zwei verborgene Neuronen **111**, **112**, die eingesseitig mit den Ausgängen der Eingangsneuronen **101**, **102**, **103** verbunden sind. Das erste verborgene Neuron **111** ist über Verbindungen mit den Verbindungsgewichten -0,893, -3,446 und 3,376 mit den Ausgängen der Eingangsneuronen **101**, **102**, **103** verbunden. Das zweite verborgene Neuron **112** ist über Verbindungen mit den Verbindungsgewichten 3,869, 3,376 und -0,514 mit den Ausgängen der Eingangsneuronen **101**, **102**, **103** verbunden.

**[0068]** Die Ausgangs- oder Ausgabeschicht **94** wird durch ein Ausgangsneuron **12** dargestellt. Die Höhe dieses Ausgangswertes entscheidet später über einen für die jeweilige Spannung einstellbaren Abschaltwert über das Reversieren oder das Fortsetzen des Fensterheberlaufes.

**[0069]** Zusätzlich besitzen die Neuronen **111**, **112** und **12** der höherliegenden verborgenen Schicht **92** und der Ausgangsschicht **94** einen Schwellwert oder Biaswert, der den Ausgang der Transferfunktionen in den steigen Bereich verschiebt. Der Biaswert und die Gewichte sind Konstanten, die in der Anwendung bzw. einem Serieneinsatz nicht mehr verändert, beziehungsweise nachgelernt werden. Sie werden einmal vor dem Serieneinsatz ermittelt und beispielsweise in einem EEPROM abgelegt. Der Algorithmus kann dann, falls sich Schwachpunkte im Algorithmus aufzeigen, durch eine neue Parametereinstellung, d.h. durch Nachlernen verbessert werden. In der Anwendung jedoch bleiben die Gewichte bestehen.

**[0070]** In der Lernphase werden dem neuronalen Netz Eingangsmuster präsentiert und die dazugehörigen definierten Ausgangswerte vorgegeben. Je mehr der vorgegebene Ausgangswert von dem vom neuronalen Netz mit den jeweiligen Gewichten und Biaswerten errechneten Ausgangswert abweicht, umso mehr werden die Gewichte und der Biaswert verändert. Dabei werden beispielsweise folgende spezielle Muster ausgewählt:

- Spannungssprünge bei einem Fensterheberlauf mit ansteigender Periode, einer einbrechenden Spannung und Ermittlung der Adoptionsperiode mit einem dazugehörigen Ausgangswert von 0, da das neuronale Netz in diesem Fall keine Kraft erkennen soll,
- Zangenläufe mit einer Kraftmesszange mit rückgekoppelter Kraft aus der Kraftmesszange als Ausgangswert für das neuronale Netz mit ansteigender Periodendauer, einbrechender Spannung und Ermittlung der Adoptionsperiode
- Anlernen verschiedener Federraten von beispielsweise 20N/mm und 2N/mm usw.

**[0071]** Mit den in [Fig. 8](#) dargestellten, über den Neuronen **111**, **112** und **12** eingetragenen Bias-Werten 2,536 für das erste verborgene Neuron **111** und -0,389 für das zweite verborgene Neuron **112** sowie 0,775 für das Ausgangsneuron **12**, den Gewichten, den Transferfunktionen und den Eingangswerten wird der zu dem jeweiligen Eingangsmuster gehörige Ausgangswert ermittelt. Die Ermittlung des Ausgangswertes erfolgt folgendermaßen, wobei in den [Fig. 7](#), [Fig. 10](#), [Fig. 11](#) und **12** der jeweils berechnete Ausgangswert unterhalb des Ausgangsneurons **12** oder der verborgenen Neuronen **111**, **112** angegeben ist: Zunächst berechnet sich der Ausgang des ersten verborgenen Neuronens **111** wie folgt:

$$\Sigma = \text{Bias}(i) + w_{ij} \cdot \text{Eingang}(j)$$

wobei i das i-te Neuron in der nächst höheren Schicht und w die Gewichtung darstellen und j die Zählvariable für die Eingangsschicht **91** ist. Die Gewichte werden mit den Eingangswerten multipliziert und dann aufsummiert, woraus sich für das erste verborgene Neuron **111** ergibt:

$$\Sigma_{111} = 0,423 \cdot (-0,893) + 0,524 \cdot (-3,446) + 0,279 \cdot 3,376 + 2,536 = 1,294$$

**[0072]** Diese Summe wird dann in die Transferfunktion eingesetzt. Die hier beispielsweise verwendete Transferfunktion ist ein Tangenshyperbolus. Daraus ergibt sich der Ausgangswert des ersten verborgenen Neu-

rons **111** zu

$$\text{Ausgang}_{111} = 0,859$$

**[0073]** Und der Ausgangswert des zweiten verborgenen Neurons **112** zu

$$\Sigma_{112} = 0,423 \cdot 3,869 + 0,524 \cdot (-0,164) + 0,279 \cdot (-0,514) - 0,389 = 1,018$$

$$\text{Ausgang}_{112} = \text{TANH}(1,018) = 0,77$$

und der Ausgangswert des Ausgangsneurons **12** zu

$$\Sigma_{12} = 0,77 \cdot 2,094 + 0,859 \cdot (-2,733) + 0,775 = 0,037$$

$$\text{bzw. Ausgang} = \text{TANH}(0,037) = 0,037$$

**[0074]** Beim ersten, in [Fig. 7](#) dargestellten Eingangsmuster liegen die Werte für die Periodendauer bei 0,423 und die Spannung bei 0,524 was einer Spannung von 10V entspricht. Die Adoptionsperiode liegt bei einem niedrigerem Wert, nämlich bei 0,279.

**[0075]** Nachfolgend werden 3 weitere, in den [Fig. 10](#), [Fig. 11](#) und 12 schematisch dargestellte Eingangsmuster betrachtet.

**[0076]** Das in [Fig. 9](#) dargestellte zweite Eingangsmuster unterscheidet sich von dem in [Fig. 7](#) dargestellten ersten Eingangsmuster stark durch die Periodendauer von 1,001 gegenüber 0,423, während die Spannung und die Adoptionsperiode mit 0,456 bzw. 0,277 annähernd konstant bleiben. Ebenfalls unverändert bleiben die Verbindungsgewichte, mit denen die verborgenen Neuronen **111**, **112** mit den Ausgängen der Eingangsneuronen **101**, **102**, **103** verbunden sind, sowie die Bias-Werte der verborgenen Neuronen **111**, **112** und des Ausgangsneurons **12**.

**[0077]** Daraus ergeben sich wie vorstehend an Hand der [Fig. 7](#) beschrieben die Ausgangswerte 0,75 für das erste verborgene Neuron **111** und 0,997 für das zweite verborgene Neuron **112** sowie 0,67 für das Ausgangsneuron **12**.

**[0078]** Bei dem in [Fig. 10](#) dargestellten dritten Eingangsmuster ist der Spannungswert bei 16V angenommen mit einem Eingangswert von 0,824. Die Periodendauer liegt bei 0,245 und die Adoptionsperiode geringfügig modifiziert bei 0,261. Daraus ergibt sich der Ausgangswert des Ausgangsneurons **12**, bei dem aus dem Eingangsmuster kein Einklemmen erkannt wird zu 0,241. Dennoch können solche Eingangsmuster von Einklemm-Mustern unterschieden werden, was an Hand der schematischen Darstellung des Backpropagation Netzwerks in [Fig. 12](#) verdeutlicht wird.

**[0079]** Bei dem Eingangsmuster gemäß [Fig. 11](#) ist die Motorspannung mit dem Wert 0,774 leicht eingebrochen, während die Periodendauer gegenüber dem Vergleichswert von 0,245 auf 0,382 angestiegen ist.

**[0080]** In den [Fig. 12a](#) und [Fig. 12b](#) sind zwei Diagramme dargestellt, die den Lernerfolg des in den [Fig. 7](#) und [Fig. 9](#) bzw. [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) dargestellten neuronalen Netzes bei Spannungswerten von 10 V und 16 V sowie den in den [Fig. 7](#) und [Fig. 9](#) bzw. [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) vorgegebenen Eingangsmustern grafisch darstellen. Die sich aus den Backpropagation Netzwerken gemäß den [Fig. 9](#) und [Fig. 11](#) ergebenden Lernvorgaben sind in Form der vorgegebenen Einklemmkraft in jeweils dick ausgezogenen Linien dargestellt, während die sich aus den jeweiligen Eingangsmustern ergebenden Ausgangswerte entsprechend den Backpropagation Netzwerken gemäß den [Fig. 7](#) und [Fig. 10](#) durch die dünn ausgezogenen Kurvendarstellungen repräsentiert werden.

## Bezugszeichenliste

|               |  |
|---------------|--|
| 1             | Kraftfahrzeugtür                           |
| 2             | Fensterheber                               |
| 3             | Antriebsmotor                              |
| 4             | Schalteinrichtung                          |
| 5             | Spannungsquelle                            |
| 6             | Mikroprozessor                             |
| 7             | Bedienungseinheit                          |
| 8             | Mikrocomputer                              |
| 9             | neuronales Netz (Backpropagation-Netzwerk) |
| 10            | Eingangsneuronen                           |
| 11            | verborgenen Neuronen                       |
| 12            | Ausgangsneuron                             |
| 14, 15, 16    | gewichteten Verbindungen                   |
| 91            | Eingangs- oder Eingabeschicht              |
| 92, 93        | verborgene Schichten                       |
| 94            | Ausgangs- oder Ausgabeschicht              |
| 101, 102, 103 | Eingangsneuronen                           |
| 111, 112      | verborgene Neuronen                        |

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Überwachen der Verstellbewegung eines von einer Antriebseinrichtung angetriebenen translatorisch oder rotatorisch verstellbaren Bauteils, insbesondere einer Fensterscheibe oder eines Schiebedaches in Kraftfahrzeugen, **dadurch gekennzeichnet**, dass mehrere aus der Antriebseinrichtung (2, 3) ableitbare Eingangssignale, die eine Verzögerung der Verstellbewegung der Antriebseinrichtung (2, 3) repräsentieren, an Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) einer Eingangsschicht (91) eines neuronalen Netzes (9) mit mindestens einer verborgene Neuronen (11; 111, 112) aufweisenden verborgenen Schicht (92, 93) eingegeben werden, das an mindestens einem Ausgangsneuron (12) einer Ausgangsschicht (94) einen der Verstellkraft oder einen eingeklemmten oder nicht eingeklemmten Zustand entsprechenden Ausgangswert abgibt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die aus der Antriebseinrichtung (2, 3) ableitbaren Eingangssignale indirekt eine Verzögerung der Verstellbewegung der Antriebseinrichtung (2, 3) repräsentieren.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Verzögerung der Verstellbewegung der Antriebseinrichtung (2, 3) durch eine Veränderung der Periodendauer und/oder des Motorstroms und/oder der Motorspannung eines Antriebsmotors (3) der Antriebseinrichtung (2, 3) ermittelt wird.
4. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die aus der Antriebseinrichtung (2, 3) ableitbaren Eingangssignale parallel oder seriell an die Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) der Eingangsschicht (91) des neuronalen Netzes (9) abgegeben werden.
5. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Eingänge der Eingangsschicht (91), der verborgenen Schicht (92, 93) und der Ausgangsschicht (94) sowie die Verbindungen (14) der Eingangsschicht (91) mit der mindestens einen verborgenen Schicht (92), die Verbindungen (15) der mehreren verborgenen Schichten (92, 93) untereinander und die Verbindungen (16) einer verborgenen Schicht (93) mit der Ausgangsschicht (94) unterschiedlich stark gewichtet werden.

6. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die verborgenen Neuronen (11; 111, 112) der mindestens einen verborgenen Schicht (92, 93) und das mindestens eine Ausgangsneuron (12) der Ausgangsschicht (94) einen konstanten Schwellwert oder Bias besitzt, der den Ausgang der Transferfunktionen der Neuronen (10, 11, 12; 101, 102, 103; 111, 112) in einen stetigen Bereich verschiebt.

7. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass an die Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103), verborgenen Neuronen (11; 111, 112) und/oder Ausgangsneuronen (12) des neuronalen Netzes (9) in einer Lernphase  
– zufällige Gewichte vergeben werden,  
– verschiedene an die Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) angelegte Eingangsmuster vorgegeben und der dazugehörige mindestens eine Ausgangswert berechnet wird und  
– in Abhängigkeit vom Unterschied zwischen dem mindestens einen Ausgangswert und mindestens einem Soll-Ausgangswert die Gewichte und/oder der Schwellwert verändert werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Maß der Änderung der Gewichte von der Größe des Unterschieds zwischen dem mindestens einen Ausgangswert und dem mindestens einen Soll-Ausgangswert abhängt.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Ausgangswert mit einer Kraftmesszange bei unterschiedlichen Federraten, insbesondere bei 2 N/mm und 20 N/mm, gemessen wird, und dass die Kraftmesszange analog zu den Eingangswerten den gemessenen Ausgangswert ausgibt.

10. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass den Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) als Eingangssignale die Motorperiode, der Motorstrom und/oder die Motorspannung des Antriebsmotors eingegeben werden.

11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass den Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) als zusätzliches Eingangssignal eine Adoptionsperiode eingegeben wird, die bei einer vorgegebenen Referenzspannung berechnete Periode angibt, die zur Position einer in der Lernphase abgelegten Referenzwegstrecke gehört.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Adoptionsperiode in einem kleineren als dem in der Anwendung verwendeten neuronalen Netz berechnet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Adoptionsperiode bestimmt wird, indem bei jeder vollen Umdrehung oder in 4 Viertelperioden des Antriebsmotors das neuronale Netz eine neue Adoptionsperiode errechnet, die bei der nächsten Verstellbewegung als Adoptionsperiode zur Verfügung gestellt wird.

14. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Eingangswerte der Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) aus  
– den Werten eines Adoptionsanlaufs des translatorisch verstellbaren Bauteils,  
– den Werten einer Adoptionsperiode beim Verstellen des translatorisch verstellbaren Bauteils  
– einem Anlaufflag,  
– den Ausgangswerten eines Schieberegisters für Antriebsmotor-Spannungswerte,  
– den Ausgangswerten eines Schieberegisters für Periodenwerte,  
– der Antriebsmotortemperatur,  
– der Außentemperatur  
– einem Geschwindigkeitssignal,  
– einem Schwingflag und  
– einem vorangegangenen Ausgangswert  
bestehen und als Ausgangswert eines Ausgangsneurons die neuronal ermittelte Kraft abgegeben wird.

15. Verfahren nach mindestens einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der Lernphase des neuronalen Netzes (9) an die Eingangsneuronen (10; 101, 102, 103) angelegte Eingangsmuster und die von dem mindestens einen Ausgangsneuron (12) abgegebenen Kraftwerte in Abhängigkeit von der gewünschten Empfindlichkeit des Systems bei niedrigen Federraten ausgewählt bzw. vorgegeben werden.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass der Lernanteil in der Lernphase des neu-

ronalen Netzes (9) aus der Adoptionsperiode besteht, die nach jedem Lauf neu in der Anwendung ermittelt wird.

17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Lernphase vor der betriebsgemäßen Anwendung in einem Fahrzeug erfolgt.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass bei der betriebsgemäßen Anwendung die in der Lernphase ermittelten Gewichte des neuronalen Netzes (9) festgelegt werden.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

FIG 1

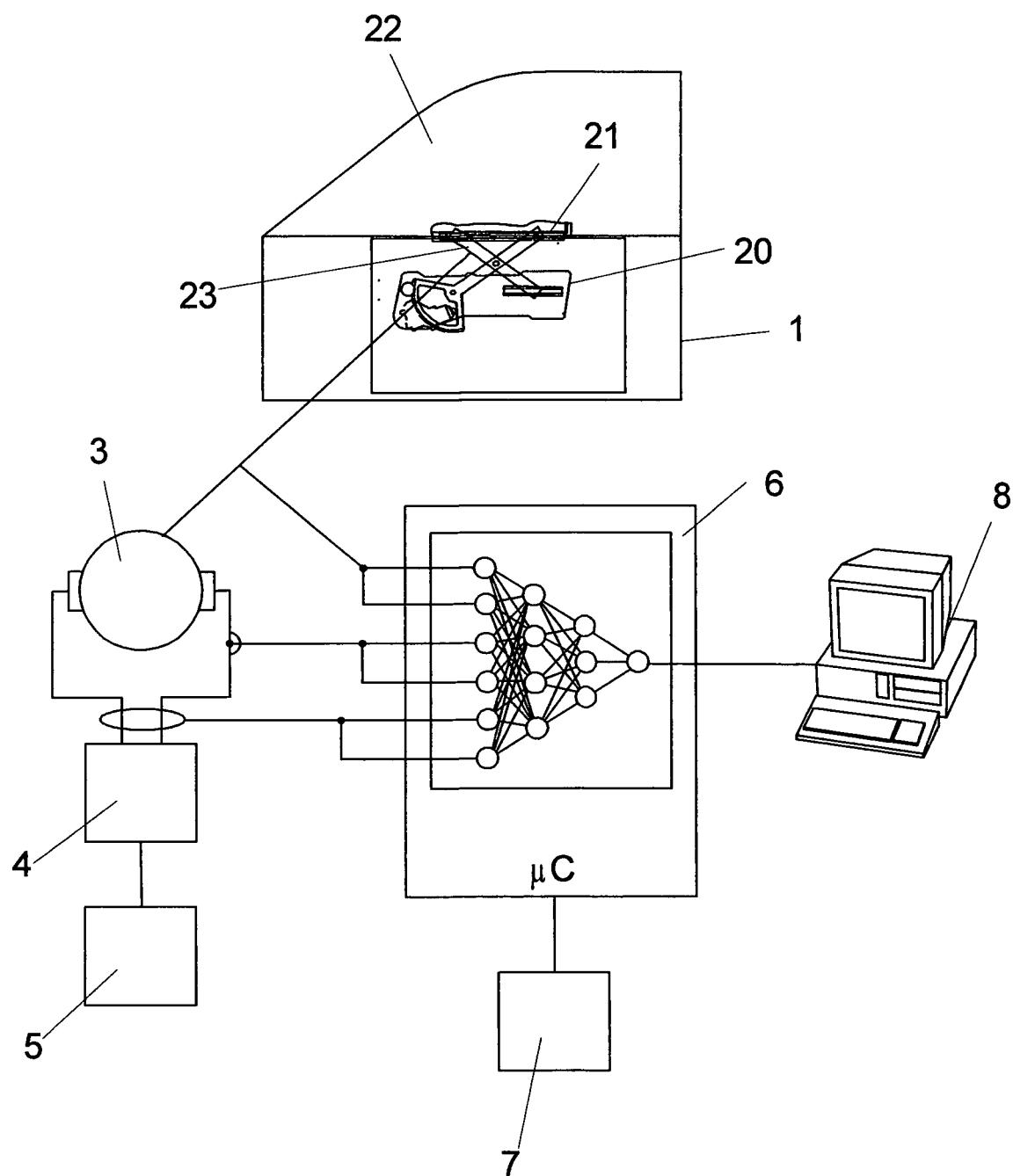


FIG 2

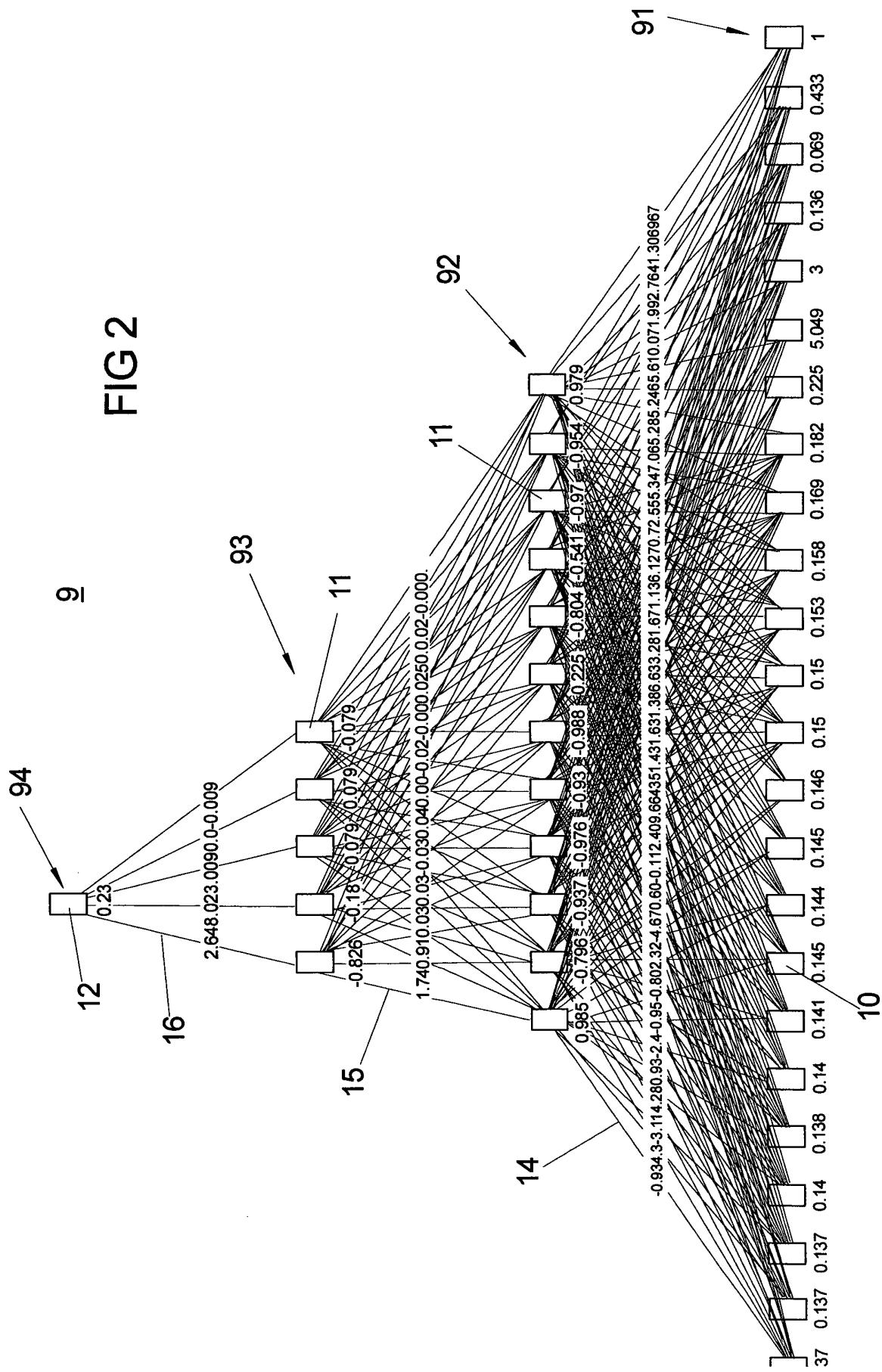


FIG 3

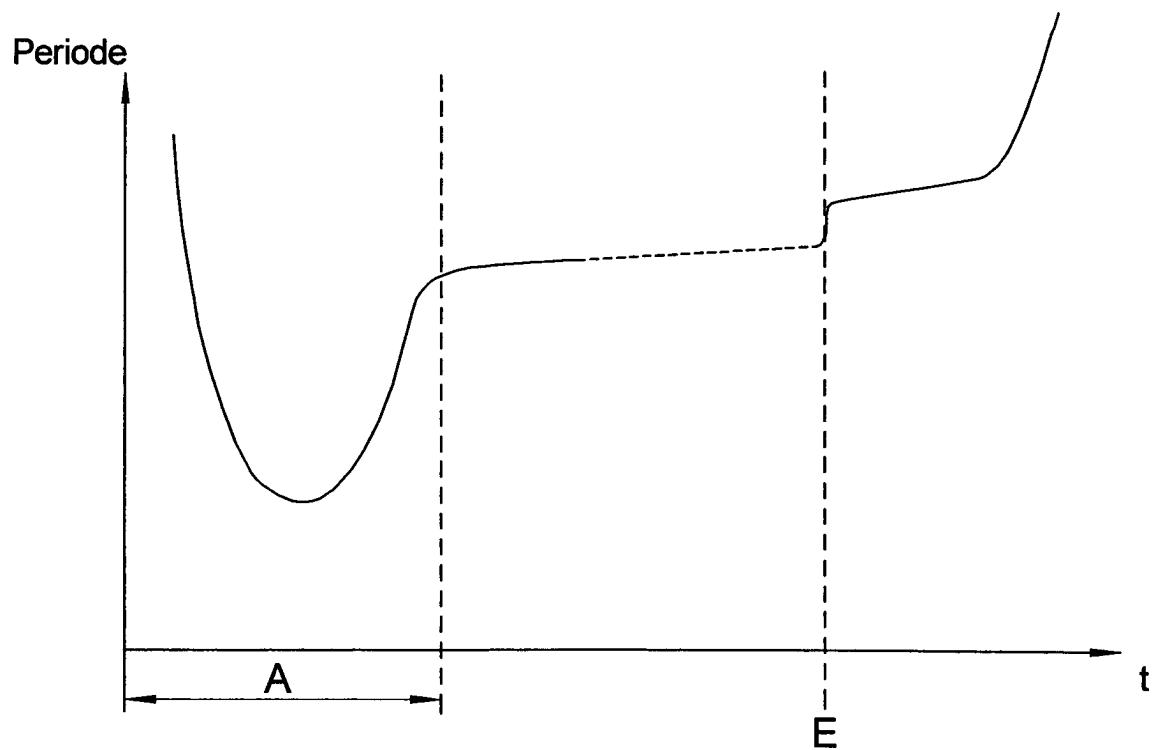


FIG 4A

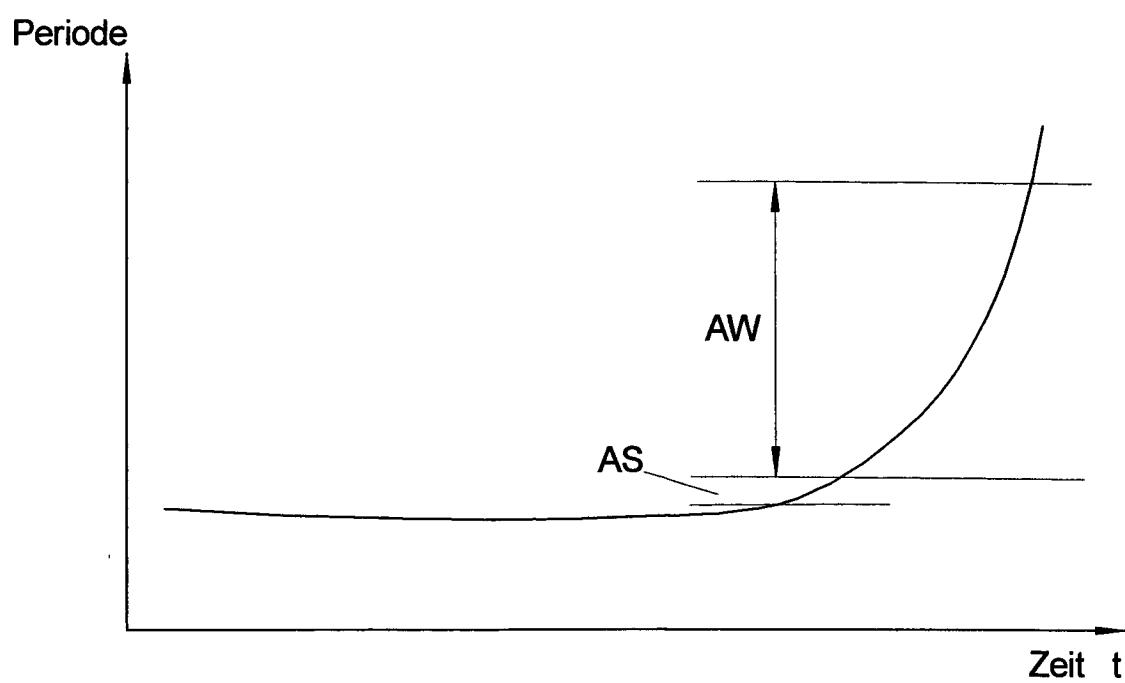


FIG 4B

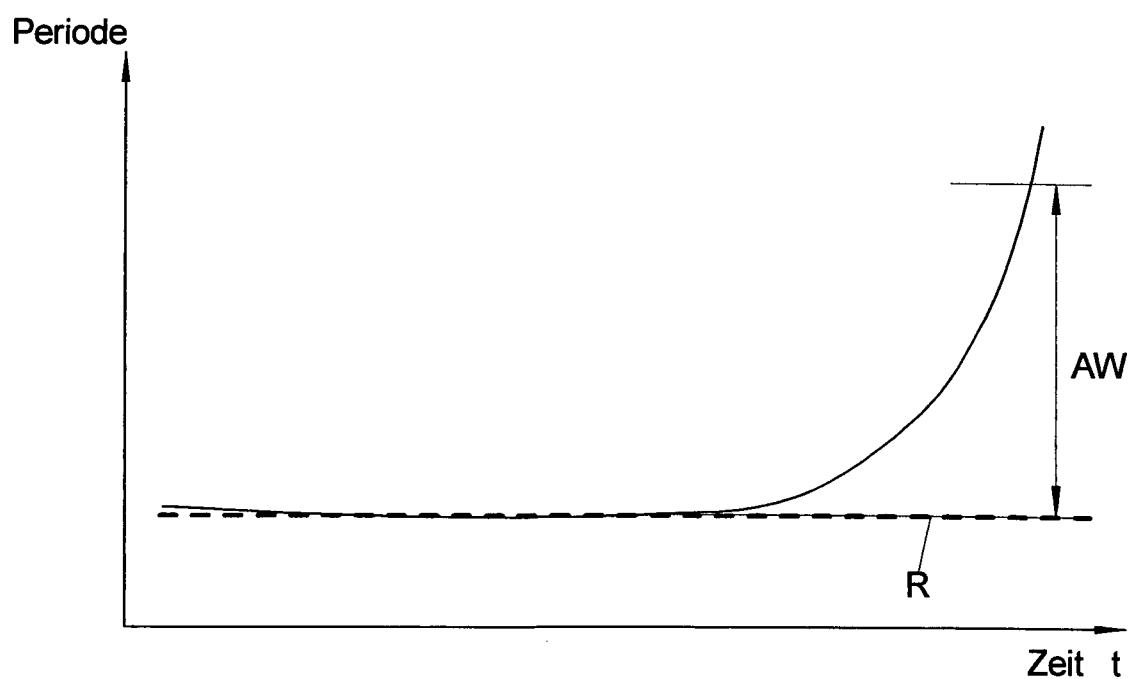


FIG 5

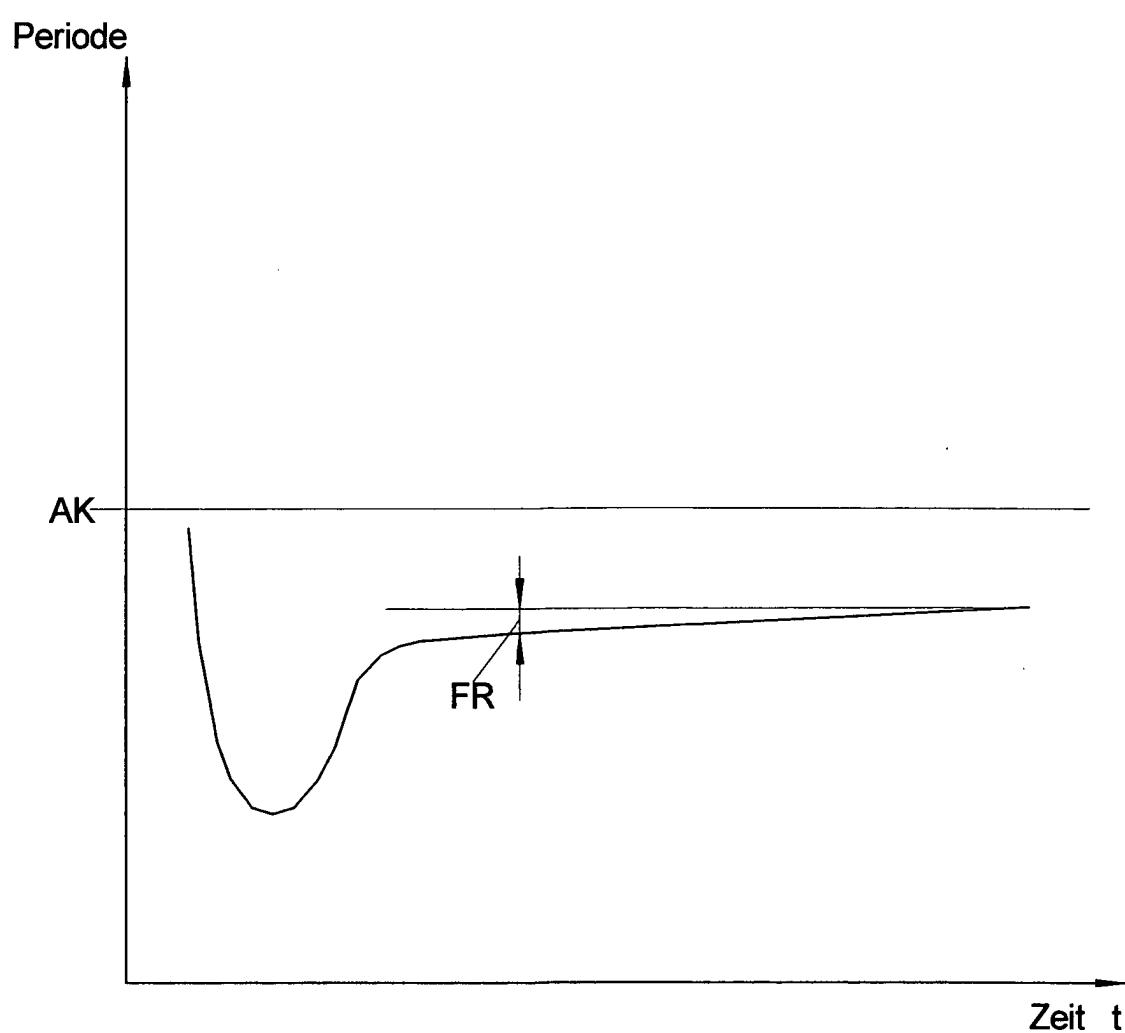
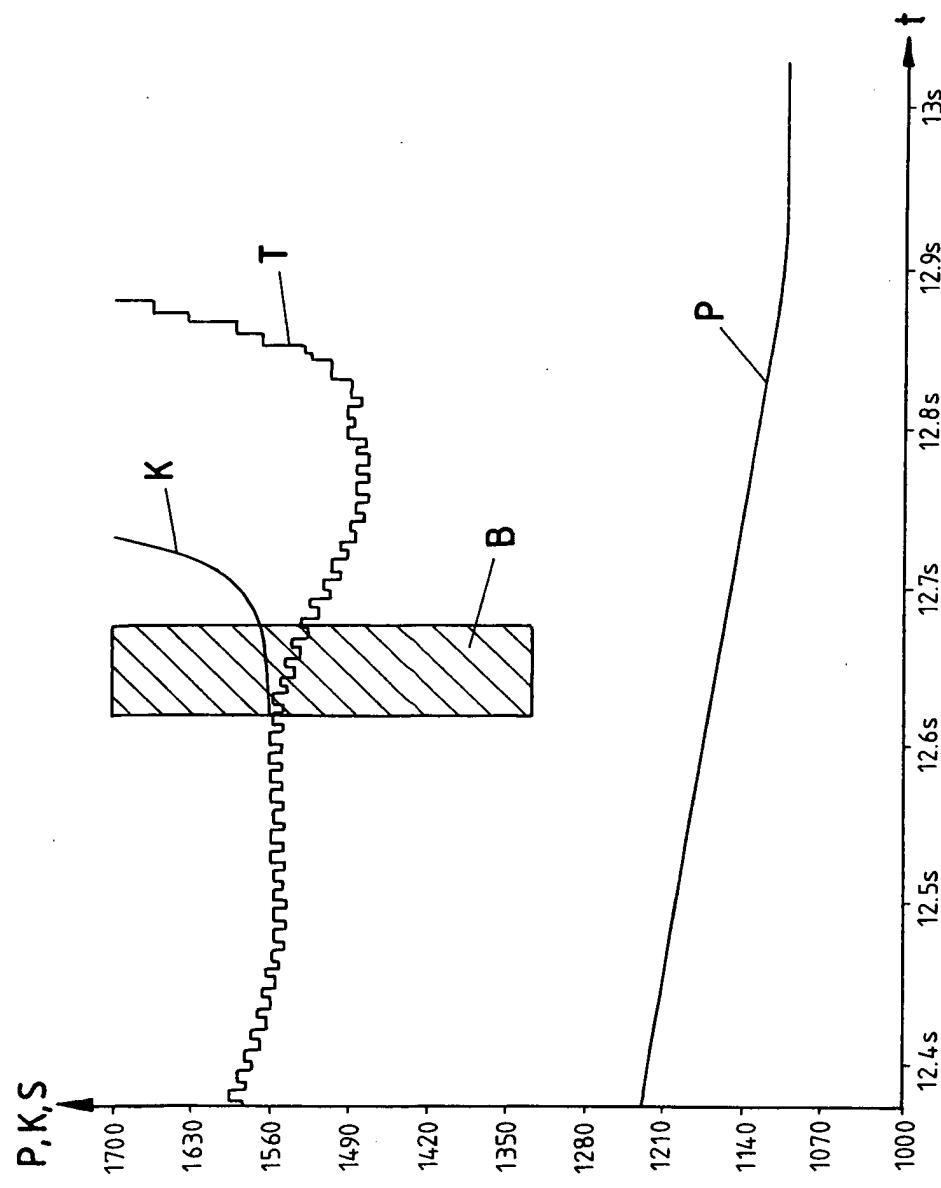
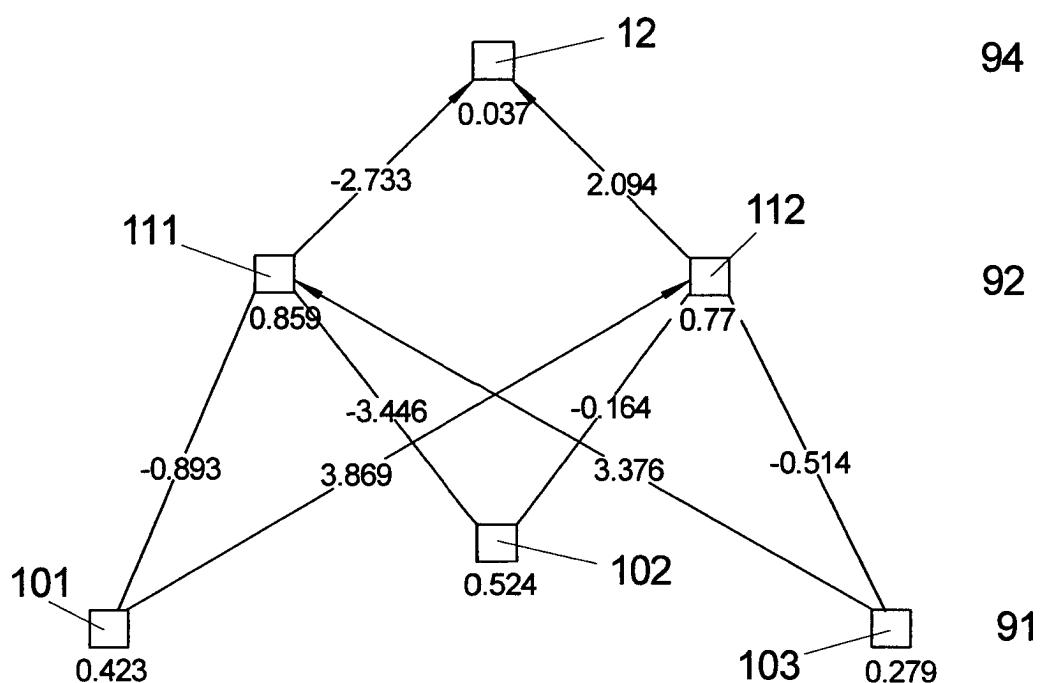
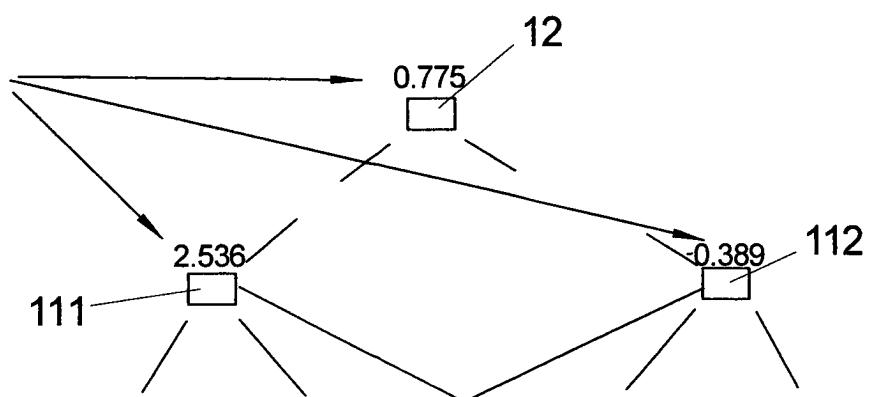
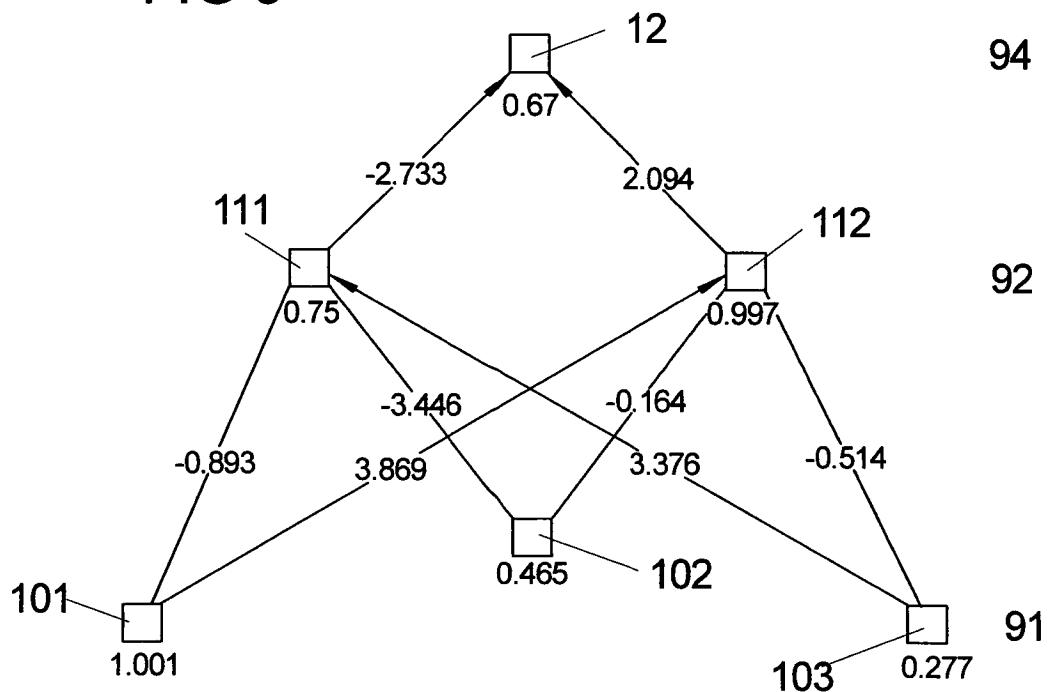
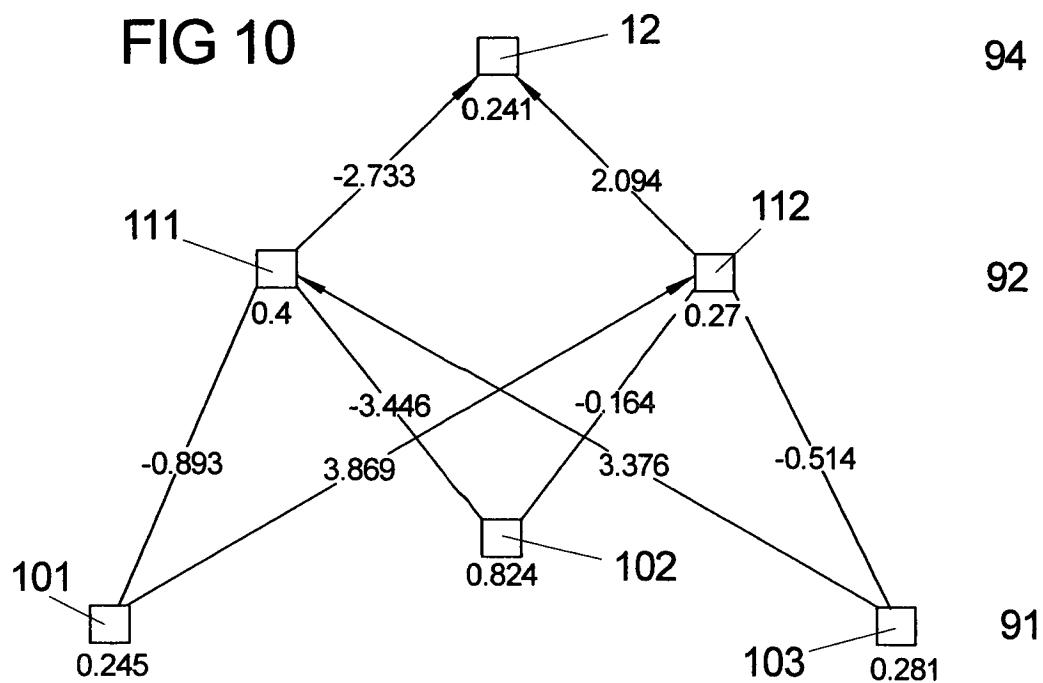


FIG 6



**FIG 7****FIG 8**

**FIG 9****FIG 10**

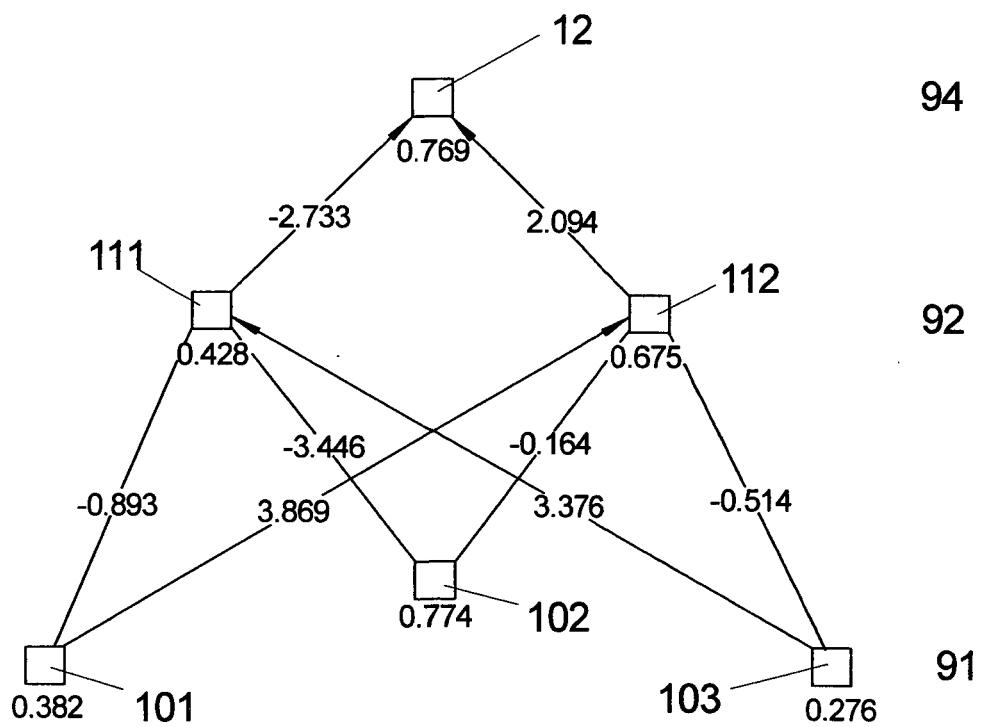
**FIG 11**

FIG 12B

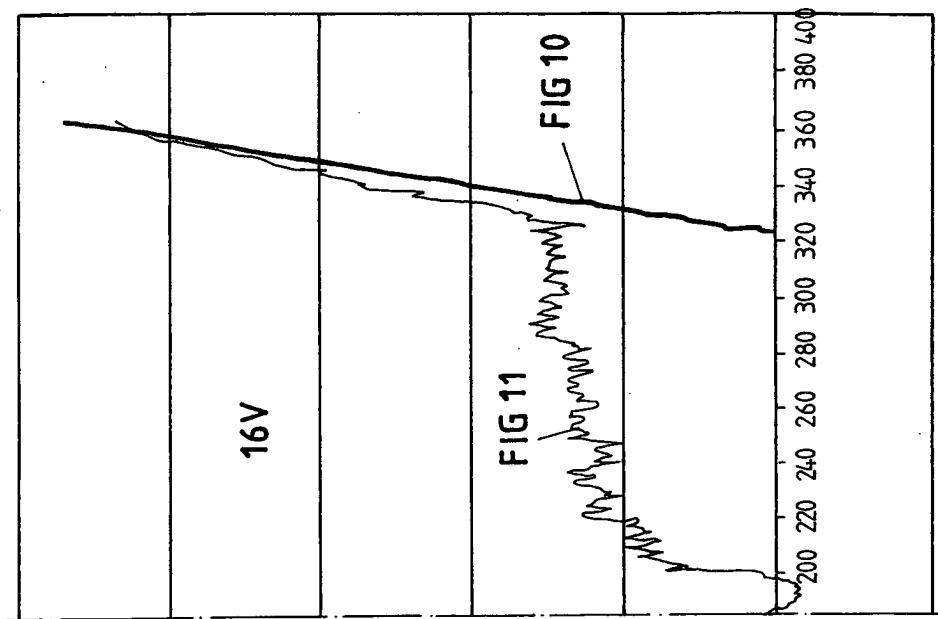


FIG 12A

