(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PATENTSCHRIFT

(12) Ausschließungspatent

(11) DD 299 509 A7

Erteilt gemäß § 18 Absatz 2
Patentgesetz der DDR
vom 27.10.1983
in Übereinstimmung mit den entsprechenden
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 06 F 15/42
G 06 F 15/20

DEUTSCHES PATENTAMT

(21)	DD G 06 F / 335 156 1	(22)	04.12.89	(45)	23.04.92

(71) siehe (73)
(72) Hoyer, Dirk, Dr., DE
(73) Friedrich-Schiller-Universität, Büro für Schutzrechte, August-Bebel-Straße 4, O - 6900 Jena, DE

(54) **Verfahren und Schaltungsanordnung zur ereignisbezogenen nichtlinearen topologischen Funktionsanalyse**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur ereignisbezogenen nichtlinearen topologischen Funktionsanalyse. Das Ziel der Erfindung ist es, dynamisch nichtlineare funktionsrelevante topologische Parameter zu ermitteln. Es werden mehrkanalig gemessene Signale durch Signalanalyse zu verarbeiteten Signalen, diese unter Nutzung reizbezogener Signale zu linearen Signalen, die verarbeiteten Signale und die linearen Signale durch Differenzbildung zu nichtlinearen Signalanteilen, diese durch zeitliche Analyse zu nichtlinearen Parametern, diese durch räumliche Approximation zu nichtlinearen topologischen Parametern verarbeitet und die nichtlinearen topologischen Parameter als Bildwerte präsentiert. Mit vergleichsweise geringem rechentechnischen Aufwand werden erstmalig ereignisbezogene nichtlineare topologische Parameter bestimmt.

ISSN 0433-6461

8 Seiten

Patentansprüche:

1. Verfahren zur ereignisbezogenen nichtlinearen topologischen Funktionsanalyse unter Anwendung von Signalanalyseverfahren und der topographischen Approximation, **dadurch gekennzeichnet,** daß mehrkanalig gemessene Signale (SM) durch Signalanalyse zu verarbeiteten Signalen (SV),
die verarbeiteten Signale (SV) unter Nutzung reizbezogener Signale (SR) zu linearen Signalen (SS),
die verarbeiteten Signale (SV) und die linearen Signale (SS) durch Differenzbildung zu nichtlinearen Signalanteilen (SNL),
die nichtlinearen Signalanteile (SNL) durch zeitliche Analyse zu nichtlinearen Parametern (PNL),
die nichtlinearen Parametern (PNL) durch räumliche Approximation zu nichtlinearen topologischen Parametern (PTL) verarbeitet und die nichtlinearen topologischen Parameter (PTL) als Bildwerte präsentiert werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** daß die mehrkanalig gemessenen Signale (SM) nach der Beziehung

$$SV(k) = F(SM(k,t)) - F(SM(k,tr))$$

zu verarbeiteten Signalen (SV) verrechnet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** daß die mehrkanalig gemessenen Signale (SM) nach der Beziehung

$$SV(k,t) = |SM(k,t)|$$

zu verarbeiteten Signalen (SV) verrechnet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet,** daß bei Einzelimpulsen im reizbezogenen Signal (SR) die verarbeiteten Signale (SV) als lineare Signale (SS) gespeichert werden.
5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2 oder 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet,** daß die linearen Signale (SS) nach der Beziehung

$$SNL(k,t) = SV(k,t) - SS(k,t) - SS(k,t-dt)$$

zu den nichtlinearen Signalanteilen (SNL) verrechnet werden.
6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 5, **dadurch gekennzeichnet,** daß die nichtlinearen Parameter (PNL) durch Auswahl zu Analysezeitpunkten (ni) aus den nichtlinearen Signalanteilen (SNL) nach der Beziehung

$$PNL(k) = SNL(k,ni)$$

ermittelt werden.
7. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 5, **dadurch gekennzeichnet,** daß die nichtlinearen Parameter (PNL) zu Analysezeitpunkten (ni) aus den nichtlinearen Signalanteilen (SNL) nach der Beziehung

$$PNL(k) = 1/(1 + n2 - n1) \sum_{i=n1}^{n2} SNL(k,i)$$

ermittelt werden.
8. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 5, **dadurch gekennzeichnet,** daß die nichtlinearen Parameter (PNL) zu Analysezeitpunkten (ni) aus den nichtlinearen Signalanteilen (SNL) nach der Beziehung

$$PNL(k) = \frac{\sum_{i=n1}^{n2} i * SNL(k,i)}{\sum_{i=n1}^{n2} SNL(k,i)}$$

ermittelt werden.

9. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 6 oder 7 oder 8, **dadurch gekennzeichnet,** daß die nichtlinearen Parameter (PNL) zu nichtlinearen topologischen Parametern (PTL) nach der Beziehung

$$PTL(b) = \sum_{k=1}^{4} W(b) * PNL(k)$$

verrechnet werden.

10. Schaltungsanordnung zur ereignisbezogenen nichtlinearen topologischen Funktionsanalyse, **dadurch gekennzeichnet,** daß die mehrkanalig gemessenen Signale (SM) einem Eingang eines Signalanalysators (2) und
die reizbezogenen Signale (SR) einem ersten Eingang eines Speichermodules (3) zugeführt werden,
ein Ausgang des Signalanalysators (2) mit einem ersten Eingang eines Differenzbildners (4) und einem zweiten Eingang des Speichermodules (3),
ein Ausgang des Speichermodules (3) mit einem zweiten Eingang des Differenzbildners (4),
ein Ausgang des Differenzbildners (4) mit einem Eingang eines Parameteranalysators (5),
ein Ausgang des Parameteranalysators (5) mit einem Eingang eines topologischen Approximators (6) verbunden sind und an einem Ausgang des topologischen Approximators (6) die nichtlinearen topologischen Parameter (PTL) anliegen.

Hierzu 1 Seite Zeichnung

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur ereignisbezogenen nichtlinearen topologischen Funktionsanalyse.
Die Erfindung wird zur Funktions- und Leistungsdiagnostik bei evozierten Potentialen, EMG-Reaktionen und anderen mehrkanaligen Signalen in der medizinischen Diagnostik, in der Maschinendiagnostik, in der Bildsequenzanalyse sowie in der topologischen nichtlinearen Analyse anderer ereignisbezogener Datensätze eingesetzt.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Bekannt sind Verfahren zur Ermittlung dynamisch nichtlinearer Übertragungseigenschaften auf Grund von Reaktionen auf Doppelimpulsfolgen (Sclabassi, R.I.; Krieger, D.N.; Berger, T.W.: A systems theoretic approach to the study of CNC function. Annals of Biomedical Engineering 16, New York, 1988, 17–34). Bekannt sind weiterhin Verfahren zur frequenzselektiven Analyse von EEG-Veränderungen, die durch innere Absichten oder äußere Reize ausgelöst werden können (P.F. Prior, D.E. Maynard: Monitoring Cerebral Function. Amsterdam, Elsevier 1986, D. Giannitrapi: The Electrophysiology of Intellectual Functions. Basel, Karger, 1985).
Eine ereignisbezogene nichtlineare Analyse von Wechselwirkungen auf der Grundlage funktionsspezifisch ermittelter Signaleigenschaften ist nicht realisiert.
Bekannt sind weiterhin Verfahren zur Ermittlung dynamisch nichtlinearer Übertragungseigenschaften auf Grund von Reaktionen auf Doppelimpulsfolgen (Sclabassi, R.I.; Krieger, D.N.; Berger, T.W.: A systems theoretic approach to the study of CNC function. Annals of Biomedical Engineering 16, New York, 1988, 17–34).
Eine darauf basierende Extraktion topologisch relevanter Parameter und deren topographische Verarbeitung ist nicht realisiert.

Bekannt sind Verfahren zur Auslösung von Impulsantworten und deren flächenhafte Präsentation, zum Beispiel beim Mapping evozierter hirnelektrischer Potentiale (Duffy, F. H.: Topographic Mapping of Brain Electric Activity, Boston..., Butterworth 1986, 7–28). Weiterhin sind Verfahren zur topologischen Interpolation von Signalparametern bekannt.
Die Approximation dynamisch nichtlinearer zeitlich-räumlicher Übertragungsprozesse ist in diesen Verfahren bisher nicht realisiert.

Ziel der Erfindung

Das Ziel der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur ereignisbezogenen nichtlinearen topologischen Funktionsanalyse anzugeben, die in der Lage sind, dynamisch nichtlineare funktionsrelevante topologische Parameter zu ermitteln.
Weiterhin sollen Verfahren und Schaltungsanordnung mit minimalem technischem und rechentechnischem Aufwand und minimaler Rechenzeit realisiert werden.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur ereignisbezogenen nichtlinearen topologischen Funktionsanalyse anzugeben, mit denen zeitlich-räumliche dynamisch nichtlineare Übertragungs- bzw. Verarbeitungssysteme effizient charakterisiert und bei denen entsprechend einer topologischen Analyse effiziente dynamisch nichtlineare topologische Parameter ermittelt werden.
Mit Hilfe der Erfindung soll eine differenziertere systemtheoretisch fundierte Charakterisierung topologischer Übertragungssysteme realisiert werden.
Die Aufgabe wird durch das Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß mehrkanalig gemessene Signale durch Signalanalyse zu verarbeiteten Signalen, diese unter Nutzung reizbezogener Signale zu linearen Signalen, die verarbeiteten Signale und die linearen Signale durch Differenzbildung zu nichtlinearen Signalanteilen, diese durch zeitliche Analyse zu nichtlinearen Parametern, diese durch räumliche Approximation zu nichtlinearen topologischen Parametern verarbeitet werden und die nichtlinearen topologischen Parameter als Bildwerte präsentiert werden.
Die Aufgabe wird durch die Schaltungsanordnung erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die mehrkanalig gemessenen Signale einem Eingang eines Signalanalysators und die reizbezogenen Signale einem ersten Eingang eines Speichermodules zugeführt werden, ein Ausgang des Signalanalysators mit einem ersten Eingang eines Differenzbildners und einem zweiten Eingang des Speichermodules, ein Ausgang des Speichermodules mit einem zweiten Eingang des Differenzbildners, ein Ausgang des Differenzbildners mit einem Eingang eines Parameteranalysators, ein Ausgang des Parameteranalysators mit einem Eingang eines topologischen Approximators verbunden sind und an einem Ausgang des topologischen Approximators die nichtlinearen topologischen Parameter anliegen.
Aufbau und Wirkungsweise der Erfindung werden nachfolgend beschrieben.
Die mehrkanalig gemessenen Signale werden dem Eingang eines Signalanalysators und die reizbezogenen Signale werden dem ersten Eingang des Speichermodules zugeführt.
Die mehrkanalig gemessenen Signale werden durch Signalanalyse zu verarbeiteten Signalen verarbeitet.
Der Ausgang des Signalanalysators ist mit dem ersten Eingang des Differenzbildners und dem zweiten Eingang des Speichermodules verbunden.
In dem Speichermodul werden die verarbeiteten Signale unter Nutzung der reizbezogenen Signale zu den linearen Signalen verarbeitet.
Der Ausgang des Speichermodules ist mit dem zweiten Eingang des Differenzbildners verbunden.
Dort werden die verarbeiteten Signale und die linearen Signale durch Differenzbildung zu den nichtlinearen Signalanteilen verarbeitet.
Der Ausgang des Differenzbildners ist mit dem Eingang des Parameteranalysators verbunden.
Dort werden die nichtlinearen Signalanteile durch zeitliche Analyse zu nichtlinearen Parametern verarbeitet.
Der Ausgang des Parameteranalysators ist mit dem Eingang des topologischen Approximators verbunden.
Dort werden die nichtlinearen Parameter durch räumliche Approximation zu den nichtlinearen topologischen Parametern verarbeitet.
An dem Ausgang des topologischen Approximators liegen die nichtlinearen topologischen Parameter an, welche als Bildwerte präsentiert werden.
Die Erfindung ermöglicht eine objektive Analyse dynamisch nichtlinearer Wechselwirkungen ereignisbezogener Signalveränderungen und eine objektive Analyse dynamisch nichtlinearer Übertragungseigenschaften als topologische Parameter.
Der Signalanalysator ist vorzugsweise in einem Fall so aufgebaut, daß die mehrkanalig gemessenen Signale nach der Beziehung

$$SV(k,t) = F(SM(k,t)) - F(SM(k,tr))$$

zu verarbeiteten Signalen verrechnet werden.
Hierdurch wird eine Hervorhebung effizienter Potentialverläufe, die insbesondere für die erfindungsgemäße Weiterverarbeitung der Signale wesentlich ist, gesichert.

Der Signalanalysator ist in einem anderen Fall so aufgebaut, daß die mehrkanalig gemessenen Signale nach der Beziehung

$$SV(k,t) = |SM(k,t)|$$

zu verarbeiteten Signalen verrechnet werden.
Durch diese Variante wird eine weitere Gruppe wesentlicher Signalcharakteristika ausgelöster Signalveränderungen charakterisiert, die bisher nicht benutzt wurde.
Die verschiedenen Varianten berücksichtigen unterschiedliche Aspekte der Informationsverarbeitung. Sie sind deshalb sowohl einzeln als auch in Kombination vorteilhaft, beispielsweise in der medizinischen Diagnostik, anwendbar.
Die Speichereinheit ist so aufgebaut, daß bei Einzelimpulsen im reizbezogenen Signal die verarbeiteten Signale als lineare Signale gespeichert werden.
Der Differenzbildner ist so aufgebaut, daß die linearen Signale nach der Beziehung

$$SNL(k,t) = SV(k,t) - SS(k,t) - SS(k,t - dt)$$

zu den nichtlinearen Signalanteilen verrechnet werden. Auf diese Weise wurden systemtheoretisch begründet nichtlineare Übertragungseigenschaften mit minimalem rechentechnischem Aufwand ermittelt.
Der Parameteranalysator ist in einem Fall so aufgebaut, daß die nichtlinearen Parameter durch Auswahl zu Analysezeitpunkten aus den nichtlinearen Signalanteilen nach der Beziehung

$$PNL(k) = SNL(k,ni)$$

ermittelt werden.
In einem zweiten Fall ist der Parameteranalysator so aufgebaut, daß die nichtlinearen Parameter zu Analysezeitpunkten aus den nichtlinearen Signalanteilen nach der Beziehung

$$PNL(k) = 1/(1 + n2 - n1) \sum_{i=n1}^{n2} SNL(k,i)$$

ermittelt werden.
In einem dritten Fall ist der Parameteranalysator so aufgebaut, daß die nichtlinearen Parameter zu Analysezeitpunkten aus den nichtlinearen Signalanteilen nach der Beziehung

$$PNL(k) = \frac{\sum_{i=n1}^{n2} i * SNL(k,i)}{\sum_{i=n1}^{n2} SNL(k,i)}$$

ermittelt werden.
Diese Varianten berücksichtigen unterschiedliche Signalcharakteristika und werden entsprechend der Aufgabenstellung ausgewählt.
Die ermittelten nichtlinearen Parameter beinhalten wesentliche Kenngrößen des nichtlinearen Übertragungsverhaltens, die bisher weder in technischen noch in medizinischen Systemen analysiert wurden.
Der topologische Approximator ist so aufgebaut, daß die nichtlinearen Parameter zu nichtlinearen topologischen Parametern nach der Beziehung

$$PTL(b) = \sum_{k=1}^{4} W(b) * PNL(k)$$

verrechnet werden.
Eine Verknüpfung nichtlinearer Parameter, die dynamisch nichtlineare Übertragungseigenschaften beinhalten, zu nichtlinearen topologischen Parametern hat den Vorteil, daß bisher nicht bekannte räumlich-zeitliche Zusammenhänge instruktiv und mit minimalem Aufwand ermittelt und dargestellt werden.
In diesem Zusammenhang ermöglicht die topologische Interpolation eine instruktive Darstellung bisher nicht sichtbarer Zusammenhänge.
Auf diese Weise werden dynamisch nichtlineare funktionsrelevante topologische Parameter effektiv ermittelt.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird am Beispiel der Auswertung der ereignisbezogenen elektrischen Hirnaktivität eines Probanden vorgestellt.
Fig. 1 zeigt das Schaltbild der Schaltungsanordnung zur ereignisbezogenen nichtlinearen topologischen Funktionsanalyse. Die mehrkanalig gemessenen Signale SM werden dem Eingang eines Signalanalysators 2 und die reizbezogenen Signale SR werden dem ersten Eingang des Speichermodules 3 zugeführt.

Die mehrkanalig gemessenen Signale SM werden durch Signalanalyse zu verarbeiteten Signalen SV verarbeitet.
Der Ausgang des Signalanalysators 2 ist mit dem ersten Eingang des Differenzbildners 4 und dem zweiten Eingang des Speichermodules 3 verbunden.
In dem Speichermodul 3 werden die verarbeiteten Signale SV unter Nutzung der reizbezogenen Signale SR zu den linearen Signalen SS verarbeitet.
Der Ausgang des Speichermodules 3 ist mit dem zweiten Eingang des Differenzbildners 4 verbunden.
Dort werden die verarbeiteten Signale SV und die linearen Signale SS durch Differenzbildung zu den nichtlinearen Signalanteilen SNL verarbeitet.
Der Ausgang des Differenzbildners 4 ist mit dem Eingang des Parameteranalysators 5 verbunden.
Dort werden die nichtlinearen Signalanteile SNL durch zeitliche Analyse zu nichtlinearen Parametern PNL verarbeitet.
Der Ausgang des Parameteranalysators 5 ist mit dem Eingang des topologischen Approximators 6 verbunden.
Dort werden die nichtlinearen Parameter PNL durch räumliche Approximation zu den nichtlinearen topologischen Parametern PTL verarbeitet.
An dem Ausgang des topologischen Approximators 6 liegen die nichtlinearen topologischen Parameter PTL an, welche als Bildwerte präsentiert werden.
Am Eingang der Untersuchungskonfiguration 7 liegen die reizbezogenen Signale SR an.
Ein Impulsgeber 1 liefert als reizbezogenes Signal SR Einzelimpulse und Doppelimpulse variablen Abstandes in Folge. Das reizbezogene Signal SR steuert einen zur Untersuchungskonfiguration 7 gehörenden Fotostimulator, der bei den Patienten bzw. Probanden visuell evozierte Potentiale auslöst. Diese werden weiterhin im Rahmen der Untersuchungskonfiguration 7 über Oberflächenelektroden am Kopf des Patienten mit einem üblichen EEG-Gerät 16kanalig gemessen und einer Rechnerkonfiguration, die aus Analyserechner und Personalcomputer besteht, zugeführt, A-D-gewandelt und einer Average-Prozedur unterzogen. Als Ergebnis dieser Prozedur liegen die mehrkanalig gemessenen Signale SM am Ausgang der Untersuchungskonfiguration 7 an.
Die weitere Verarbeitung ist in diesem Ausführungsbeispiel vorteilhafterweise softwaremäßig realisiert.
In einer ersten Ausführungsvariante werden die gemessenen Daten bandpassgefiltert und nullpunktkorrigiert, entsprechend der Beziehung

$$SV(k,t) = F(SM(k,t)) - F(SM(k,tr)).$$

Als Frequenzbereich wurde 5–100Hz gewählt. Der Referenzzeitpunkt tr befindet sich im Prästimulusintervall. In einer zweiten Ausführungsvariante werden die gemessenen Daten SM zu einer Hüllkurve nach der Beziehung

$$SV(k,t) = |SM(k,t)|$$

zu verarbeiteten Daten SV verrechnet, die dem fortlaufenden Energiegehalt entsprechen. Die verarbeiteten Daten SV können vorteilhafterweise weiterhin geglättet werden.
Bei Einzelimpulsen im reizbezogenen Signal SR werden die verarbeiteten Signale SV als lineare Signale SS gespeichert. Die Abstände der Doppelimpulse betrugen schrittweise dt = 20ms–300ms.
Die linearen Signale SS werden nach der Beziehung

$$SNL(k,t) = SV(k,t) - SS(k,t) - SS(k,t - dt)$$

zu nichtlinearen Signalanteilen SNL verrechnet.
Die Ermittlung der nichtlinearen Parameter PNL erfolgt in der ersten Variante dadurch, daß nichtlineare Parameter PNL durch Auswahl zu Analysezeitpunkten ni aus den nichtlinearen Signalanteilen SNL nach der Beziehung

$$PNL(k) = SNL(k,ni)$$

ermittelt werden.
In der zweiten Variante erfolgt die Ermittlung der nichtlinearen Parameter PNL dadurch, daß nichtlineare Parameter PNL zu Analysezeitpunkten ni aus den nichtlinearen Signalanteilen SNL nach der Beziehung

$$PNL(k) = 1/(1 + n2 - n1) \sum_{i=n1}^{n2} SNL(k,i)$$

ermittelt werden.
In der zweiten Variante erfolgt die Ermittlung der nichtlinearen Parameter PNL dadurch, daß nichtlineare Parameter PNL zu Analysezeitpunkten ni aus den nichtlinearen Signalanteilen SNL nach der Beziehung

$$PNL(k) = \frac{\sum_{i=n1}^{n2} i * SNL(k,i)}{\sum_{i=n1}^{n2} SNL(k,i)}$$

ermittelt werden.

Entsprechend den Schnittpunkten mit der Nullinie wurde gewählt:

$$n1 = t \text{ für } \begin{cases} SNL(t-1) < 0 \\ SNL(t+1) > 0 \end{cases}$$

$$n2 = t \text{ für } \begin{cases} SNL(t-1) > 0 \\ SNL(t+1) < 0 \end{cases}$$

in einem Bereich von 80 mm bis 120 ms unter interaktiver Kontrolle.
Es wurden alle Varianten ausgewertet.
Die Approximation der als Bildpunkte b darzustellenden nichtlinearen topologischen Parameter PTL erfolgt dadurch, daß die nichtlinearen Parameter PNL zu nichtlinearen topologischen Parametern PTL nach der Beziehung

$$PTL(b) = \sum_{k=1}^{4} W(b) * PNL(k)$$

verrechnet werden.
Die nichtlinearen topologischen Parameter PTL werden als Bild auf einem Display dargestellt. Diese Bilder dienen zur subjektiven Beurteilung der topologischen Verteilung der nichtlinearen Informationsübertragungsleistungen des Nervensystems oder können einer objektiven Bildanalyse unterworfen werden.

In Betracht gezogene Druckschriften:

- Prior, P.F.; Maynard, D.E.: Monitoring Cerebral Function. Amsterdam, Elsevier, 1986
- Giannitrapi D.: The Electrophysiology of Intellectual Functions. Basel, Karger, 1985
- Duffy, F.A.: Topographic Mapping of Brain Electric Activity. Boston, Butterworth, 1986, S. 7–28
- Sclabassi, R.J.; Krieger, D.N., Berger, T.W.: A systems theoretic approach to the study of CNC function. Annals of Biomedical Engineering 16, New York, 1988, S. 17–34

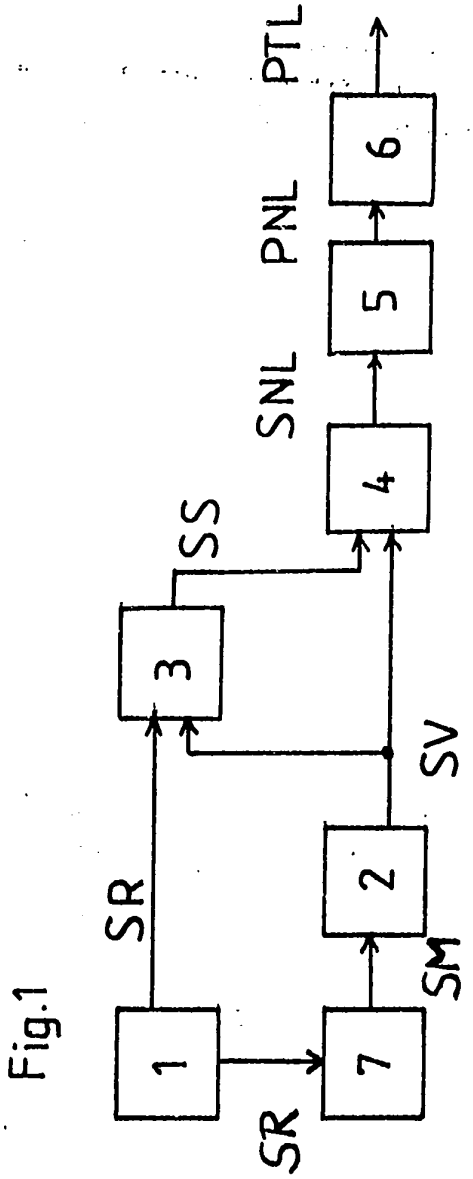


Fig.1