

(12)

PATENTCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1619/97

(51) Int.Cl.⁶ : **G05D 21/02**

(22) Anmeldetag: 24. 9.1997

(42) Beginn der Patentdauer: 15. 3.1999

(45) Ausgabetag: 25.11.1999

(56) Entgegenhaltungen:

EP 571353A2 JP58-190747A JP 4-42044A JP 6-115688A
JP 1-306547A JP 9-209105A JP 61-106790A JP 6-25894A

(73) Patentinhaber:

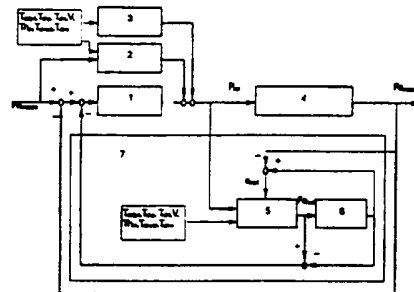
VOEST-ALPINE INDUSTRIEANLAGENBAU GMBH
A-4031 LINZ, OBERÖSTERREICH (AT).

(72) Erfinder:

RUBENZUCKER FRANZ ING.
TRAUN, OBERÖSTERREICH (AT).
SCHIEFER CHRISTIAN DIPL.ING.
WIEN (AT).

(54) VERFAHREN ZUR REGELUNG EINES "GALVANNEALING"-PROZESSES

(57) Bei einem Verfahren zur Regelung eines "Galvannealing"-Prozesses wird der Eisengehalt der ZnFe-Schicht eines Stahlbandes erfaßt. Die Heizleistung (P_{act}) für den "Galvannealing"-Ofen wird in Abhängigkeit vom Eisengehalt geregelt. Über einen Prädiktor (7), der ein neuronales Netzwerk (5) beinhaltet, wird eine Voraussage über den Eisengehalt der ZnFe-Schicht des Stahlbandes nach dem "Galvannealing"-Prozeß getroffen und diese Voraussage wirkt auf die Prozeßregelung (1) ein. Durch den Einsatz eines Prädiktors (7) werden die im Prozeß auftretenden Verzögerungen immer sofort im gesamten Regelkreis berücksichtigt, wobei z.B. bei einer Änderung der Bandgeschwindigkeit kaum Fehler in der ZnFe-Schicht des Bandes auftreten.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung eines "Galvannealing"-Prozesses, bei dem die metallurgische Zusammensetzung der ZnFe-Schicht, insbesondere der Eisengehalt der ZnFe-Schicht, des "galvannealing" Produktes, insbesondere eines Stahlbandes, erfaßt und zumindest eine Wirkungsgröße, insbesondere die erforderliche Heizleistung (P_{act}) für den "Galvannealing"-Ofen, in Abhängigkeit von dieser
 5 Zusammensetzung geregelt wird.

Der "Galvannealing"-Prozeß findet bei der Verzinkung eines Stahlbandes Anwendung, wobei das Band kontinuierlich im Durchlaufverfahren entweder elektrolytisch mit Zink oder nach dem Feuerverzinkungsverfahren in einem Zinkbad mit Zink beschichtet wird. Anschließend wird zur Bildung einer ZnFe-Schicht das
 10 Band einer Wärmebehandlung in einem Durchlaufofen und weiters einer on-line Kontrolle der ZnFe-Schicht unterzogen. Der "Galvannealing"-Vorgang wird in Abhängigkeit der on-line Kontrolle geregelt.

Da die Entfernung zwischen der on-line Kontrolle der ZnFe-Schicht bzw. der Messung des Eisengehaltes in der ZnFe-Schicht und dem Durchlaufofen mehrere Meter betragen kann, ist eine Vorausberechnung des Eisengehaltes in Abhängigkeit der momentanen Leistung des Ofens unbedingt erforderlich.
 Dies erfolgte bisher unter Verwendung von statistisch physikalischen Modellen, wodurch die auftretenden
 15 Verzögerungen jedoch nicht kompensiert werden können.

Die EP 0 571 353 A2 zeigt ein Verfahren zum Verzinken eines Bandes, wobei ein Wert des Eisengehaltes der ZnFe-Schicht als Führungsgröße bestimmt wird, der Ist-Wert des Eisengehaltes der ZnFe-Schicht mit der Führungsgröße verglichen wird, und eine Regelabweichung durch eine Änderung der Heizleistung des Durchlaufofens ausgeglichen wird. Aus der EP 0 571 353 A2 ist nicht zu entnehmen, dass
 20 eine Voraussage über die metallurgische Zusammensetzung der ZnFe-Schicht getroffen wird und diese Voraussage auf die Prozeßregelung einwirkt.

Die JP 58-190747 A zeigt ein Verfahren zur Beurteilung des Grads der Legierung von verzinkten Stahlblechen mittels Röntgenstrahlung. Ein Verfahren zur Regelung eines Galvannealing-Prozesses wird nicht geoffenbart. Das gleiche trifft für die folgenden Veröffentlichungen zu: Die JP 4-42044 A zeigt ein
 25 Verfahren zur Messung der Eigenschaften von Metallschichten, die JP 6-115688 A betrifft eine Transportvorrichtung zur Beschichtung, in der JP 1-306547 A wird ein Regelungsverfahren zur Galvanisierung von Stahlband beschrieben, bei dem die Zinkpulver-Sprühposition bestimmt wird und in der JP 9-209105 A wird ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Beschichtung von Stahlband mit Aluminium, wobei anschließend eine Galvanisierung erfolgt, geoffenbart. Keine der genannten Veröffentlichungen gibt einen Hinweis auf
 30 eine Vorausberechnung des Eisengehaltes.

Die JP 61-106790 A offenbart ein Herstellungsverfahren für elektrolytisch verzinkte Stahlbleche, bei dem der Wert der Eisen- und Zinkionen in jedem Elektrolytbehälter gemessen und zur Regelung des Herstellungsverfahrens verwendet wird. Bei der vorliegenden Erfindung wird im Gegensatz dazu die ZnFe-Schicht des "galvannealing"-Produktes einer Beurteilung unterzogen.
 35 Die JP 6-25894 A zeigt ein Herstellungsverfahren für verzinktes Stahlblech, bei dem der Abstand der Ebenen der Alpha-Phase in der ZnFe-Schicht gemessen und zur Regelung verwendet wird, enthält jedoch keine Angaben darüber, wie die Regelung erfolgt.

Die Aufgabe der Erfindung besteht nun darin, durch ein spezielles Regelungsverfahren die Totzeiten, die sich aus der Entfernung zwischen Ofen und Messung und der Bandgeschwindigkeit ergeben, zu
 40 kompensieren.

Die Aufgabe wird durch die Erfindung gelöst, welche dadurch gekennzeichnet ist, daß über einen Prädiktor, der ein neuronales Netzwerk beinhaltet, eine Voraussage über die metallurgische Zusammensetzung der ZnFe-Schicht des Produktes nach dem "Galvannealing"-Prozeß getroffen wird, und diese
 45 Voraussage auf die Prozeßregelung einwirkt. Durch den Einsatz eines Prädiktors, der ein neuronales Netzwerkes beinhaltet, werden die im Prozeß auftretenden Verzögerungen immer sofort im gesamten Regelkreis berücksichtigt, wobei z.B. bei einer Änderung der Bandgeschwindigkeit kaum Fehler in der verzinkten Oberfläche des Bandes auftreten.

Von Vorteil ist, daß das neuronale Netzwerk auf Basis eines Radial Basis Funktionsmodelles nach der multivariablen Interpolationstheorie betrieben wird. Diese Art neuronaler Netzwerke verhält sich im Gegen-
 50 satz zu anderen Netzwerkstypen auch in untrainierten Bereichen vorhersehbar stabil.

Ein weiteres Verfahrensmerkmal liegt darin, daß der "Galvannealing" -Prozeß durch ein Modell nachgebildet wird, welches ebenfalls auf die Prozeßregelung, insbesondere die erforderliche Heizleistung für den "Galvannealing"-Ofen, einwirkt.

Weiters ist von Vorteil, daß dem Modell gemessene Temperaturen entlang des "Galvannealing"-
 55 Prozesses, die Bandgeschwindigkeit und der Sollwert des Eisengehaltes nach dem "Galvannealing"-Prozeß zugeführt werden. Dadurch wird dem Modell ermöglicht, die erforderliche Heizleistung on-line zu berechnen.

Nach einer Ausgestaltung werden dem neuronalen Netzwerk gemessene Temperaturen entlang des "Galvannealing"-Prozesses, die Bandgeschwindigkeit, die erforderliche Heizleistung für den "Galvannealing"-Ofen und ein Fehler zwischen dem gemessenen und einem durch das neuronale Netzwerk vorausberechneten Eisengehalt nach der Galvanisierung zugeführt.

5 Von Vorteil ist ebenfalls, daß der vorausberechnete Eisengehalt über eine Verzögerung geführt wird und der gemessene mit dem verzögerten vorausberechneten Eisengehalt und dem gemessenen Eisengehalt verglichen wird und das Ergebnis an den Eingang der Regelung gelangt. Damit wird die Auswirkung der prozeßbedingten Verzögerung (Totzeit) bis zur Messung des Fe-Gehaltes der ZnFe-Schicht vermindert und daher die Dynamik der Regelung wesentlich verbessert.

10 Ein weiterer Vorteil besteht darin, daß das neuronale Netzwerk die Architektur eines Mehrlagentyps aufweist, wobei drei Lagen, eine Eingangslage, eine nichtlineare versteckte Lage und eine lineare Ausgangslage vorgesehen sind, und daß jedes Neuron der versteckten Lage durch eine radiale Aktivierungsfunktion gebildet wird, und daß die Netzwerkausgangsdaten durch die gewichtete Summe der Ausgangseinheiten der versteckten Lage und der Eingangslage repräsentiert werden. Dadurch wird eine wesentlich
15 bessere Prozeßnachbildung als mit den bisher üblichen statistischen Modellen erreicht.

Bei einer Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens ist ein Regler vorgesehen, der aus einem vorgegebenen Eisengehalt in der "galvannealing" Oberfläche des Produktes und dem gemessenen Eisengehalt die erforderliche Leistung für den "Galvannealing"-Ofen vorgibt, und daß ein Prädiktor vorgesehen
20 ist, der ein neuronales Netzwerk aufweist, welches aus der eingestellten Leistung, gemessenen Temperaturen entlang des "Galvannealing"-Prozesses, der Bandgeschwindigkeit und einem Fehler bzw. Korrekturwert, der Verzögerungen im "Galvannealing"-Prozeß berücksichtigt, den Eisengehalt vorausberechnet und diesen an den Eingang des Reglers liefert.

Die Erfindung wird nun anhand der Zeichnungen noch näher erläutert.

Die Fig. 1 zeigt als Blockschaltbild ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Regelung, in Fig. 2
25 ist schematisch die Struktur des neuronalen Netzwerkes dargestellt und in Fig. 3 ist die bei einer Regelabweichung auftretende Änderung bei zwei unterschiedlichen Prädiktoren ersichtlich.

In Fig. 1 bildet das Modell 2 den "Galvannealing"-Prozeß nach und berechnet die erforderliche Heizleistung P_{act} . Als Eingangsgröße wird dem Modell 2 der Sollwert für den Eisengehalt $Fe_{setpoint}$, gemessene Temperaturen $T_{strip-i}$, T_{sf-t} , T_{zn-pot} , T_{air-c} im Prozeß, wie Temperaturen $T_{strip-i}$ entlang des
30 Bandes, die Temperatur T_{sf-t} in der Haltezone, die Zinkbadtemperatur T_{zn-pot} und die Temperatur T_{air-c} der Zuluft im Kühler, die Heizleistung T_{sf-p} in der Haltezone, die Zinkschichtdicke Th_{zn} und die Bandgeschwindigkeit V zugeführt.

Einem Regler 1 für den Eisengehalt in der "galvannealing" Schicht des Stahlbandes wird ein entsprechender Sollwert $Fe_{setpoint}$ zugeführt. Dieser Regler 1 beeinflusst die durch das Modell 2 berechnete
35 Heizleistung P_{act} für den "Galvannealing"-Ofen, welcher ein Teil der Regelstrecke 4 ist. Der Eisengehalt Fe_{meas} der ZnFe-Schicht des Stahlbandes nach dem "Galvannealing"-Prozeß wird gemessen und als Istwert dem Regler 1 zugeführt.

Der Prädiktor 7 weist ein neuronales Netzwerk 5 auf, dem gemessene Temperaturwerte $T_{strip-i}$, T_{sf-t} ,
40 T_{zn-pot} , T_{air-c} aus dem "Galvannealing"-Prozeß, wie Temperaturwerte $T_{strip-i}$ entlang des Bandes, die Temperatur T_{sf-t} in der Haltezone, die Zinkbadtemperatur T_{zn-pot} und die Temperatur T_{air-c} der Zuluft im Kühler, die Heizleistung T_{sf-p} in der Haltezone, die Zinkschichtdicke Th_{zn} , die Bandgeschwindigkeit V , die erforderliche elektrische Leistung P_{act} und ein ermittelter Fehler e_{mod} zugeführt werden. Der Fehler e_{mod} setzt sich zusammen aus der Differenz des gemessenen Eisengehaltes Fe_{meas} und den durch das
45 neuronale Netzwerk 5 vorausberechneten und über die Verzögerungseinrichtung 6 geführten Eisengehalt Fe_{mod} . Der vorausberechnete Eisengehalt Fe_{mod} wird noch mit dem verzögerten vorausberechneten Eisengehalt und dem gemessenen Eisengehalt Fe_{meas} verglichen und die Differenz wird an den Eingang des Reglers 1 geführt. Ein Qualitätskontrollierer 3 beeinflusst aufgrund der in geeigneter Weise gemessenen Oberflächenbeschaffenheit der ZnFe-Schicht ebenfalls die erforderliche Heizleistung P_{act} .

Das neuronale Netzwerk in Fig. 2 hat die Architektur eines radialen-Basis-Funktion-Netzwerk-Modelles.
50 Dieses Netzwerk 5 hat die Aufgabe die physikalischen und metallurgischen Zusammenhänge zwischen den, den Prozeß wesentlich beeinflussenden Wirkungsgrößen und Parametern und dem Eisengehalt der ZnFe-Schicht nachzubilden. Dies erfolgt durch selbsttätiges Lernen. Die Werte $x_1(k) \dots x_n(k)$ (Wirkungsgrößen und Prozeßparameter) werden der Eingangslage 10 zugeführt. Jeder Wert der Eingangslage 10 gelangt an
jedes Neuron in der verborgenen Lage 11. Die Werte der verborgenen Lage 11 werden in der Ausgangslage
55 12 mit den Eingangswerten $x_1(k) \dots x_n(k)$ zusammengeführt und bilden so den Prädiktor-Wert $y(k)$ des Eisengehaltes der ZnFe-Schicht. In dieser Netzwerkstruktur bedeuten ϑ , σ Gewichtungsfaktoren und Φ Gewichtungsfunktionen der Zelleneingänge.

Für die Kurven 20, 21, 22 in Fig. 3 gilt, daß zirka bei der Zeit $t = 6500$ eine Änderung der Qualität der ZnFe-Schicht des Stahlbandes auftritt. Bei der Kurve 20 ist als Prädiktor in der Regelung ein statistisches und ein physikalisches Modell vorgesehen. Die Kurve 21 hingegen ergibt sich durch die Regelung mit einem neuronalen Netzwerk. Als Referenz 22 zu den beiden Kurven 20, 21 ist der gemessene prozentuelle Eisengehalt in der ZnFe-Schicht eingezeichnet. Wie ersichtlich, weicht die Kurve 21 kaum vom tatsächlichen gemessenen prozentuellen Eisengehalt ab.

Patentansprüche

- 10 1. Verfahren zur Regelung eines "Galvannealing"-Prozesses, bei dem die metallurgische Zusammensetzung der ZnFe-Schicht, insbesondere der Eisengehalt der ZnFe-Schicht, des "galvannealing" Produktes, insbesondere eines Stahlbandes, erfaßt und zumindest eine Wirkungsgröße, insbesondere die erforderliche Heizleistung (P_{act}) für den "Galvannealing"-Ofen, in Abhängigkeit von dieser Zusammensetzung geregelt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß über einen Prädiktor (7), der ein neuronales Netzwerk (5) beinhaltet, eine Voraussage über die metallurgische Zusammensetzung der ZnFe-Schicht des Produktes nach dem "Galvannealing"-Prozeß getroffen wird, und diese Voraussage auf die Prozeßregelung (1) einwirkt.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß das neuronale Netzwerk (5) auf Basis eines Radial Basis Funktionsmodelles nach der multivariablen Interpolationstheorie betrieben wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß der "Galvannealing"-Prozeß durch ein Modell (2) nachgebildet wird, welches ebenfalls auf die Prozeßregelung (1), insbesondere die erforderliche Heizleistung (P_{act}) für den "Galvannealing"-Ofen, einwirkt.
- 25 4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß dem Modell (2) gemessene Temperaturen ($T_{strip-i}$, T_{sf-t} , T_{zn-pot} , T_{air-c}) entlang des "Galvannealing"-Prozesses, die Bandgeschwindigkeit (V) und der Sollwert des Eisengehaltes ($Fe_{setpoint}$) nach dem "Galvannealing"-Prozeß zugeführt werden.
- 30 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß dem neuronalen Netzwerk (5) gemessene Temperaturen ($T_{strip-i}$, T_{sf-t} , T_{zn-pot} , T_{air-c}) entlang des "Galvannealing"-Prozesses, die Bandgeschwindigkeit (V), die erforderliche Heizleistung (P_{act}) für den "Galvannealing"-Ofen und ein Fehler (e_{mod}) zwischen dem gemessenen und einem durch das neuronale Netzwerk (5) vorausberechneten Eisengehalt (Fe_{mod}) nach dem "Galvannealing"-Prozeß zugeführt werden.
- 35 6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß der vorausberechnete Eisengehalt (Fe_{mod}) über eine Verzögerung (6) geführt wird und der vorausberechnete (Fe_{mod}) mit dem verzögerten vorausberechneten Eisengehalt und dem gemessenen Eisengehalt (Fe_{meas}) verglichen wird und das Ergebnis an den Eingang der Regelung (1) gelangt.
- 40 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß das neuronale Netzwerk (5) die Architektur eines Mehrlagentyps aufweist, wobei drei Lagen (10, 11, 12), eine Eingangslage (10), eine nichtlineare versteckte Lage (11) und eine lineare Ausgangslage (12) vorgesehen sind, und daß jedes Neuron der versteckten Lage (11) durch eine radiale Aktivierungsfunktion gebildet wird, und daß Netzwerkausgangsdaten $y(k)$ durch die gewichtete Summe der Ausgangseinheiten der versteckten Lage (11) und der Eingangslage (10) repräsentiert werden.
- 45 8. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein Regler (1) vorgesehen ist, der aus einem vorgegebenen Eisengehalt ($Fe_{setpoint}$) in der "galvannealing" Oberfläche des Produktes und dem gemessenen Eisengehalt (Fe_{meas}) die erforderliche Leistung (P_{act}) für den "Galvannealing"-Ofen vorgibt, und daß ein Prädiktor (7) vorgesehen ist, der ein neuronales Netzwerk (5) aufweist, welches aus der eingestellten Leistung (P_{act}), gemessenen Temperaturen ($T_{strip-i}$, T_{sf-t} , T_{zn-pot} , T_{air-c}) entlang des "Galvannealing"-Prozesses, der Bandgeschwindigkeit (V) und einem Fehler (e_{mod}) bzw. Korrekturwert, der Verzögerungen im "Galvannealing"-Prozeß berücksichtigt, den Eisengehalt (Fe_{mod}) vorausberechnet und diesen an den Eingang des Reglers (1) liefert.
- 50
- 55

AT 405 770 B

Hiezu 3 Blatt Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

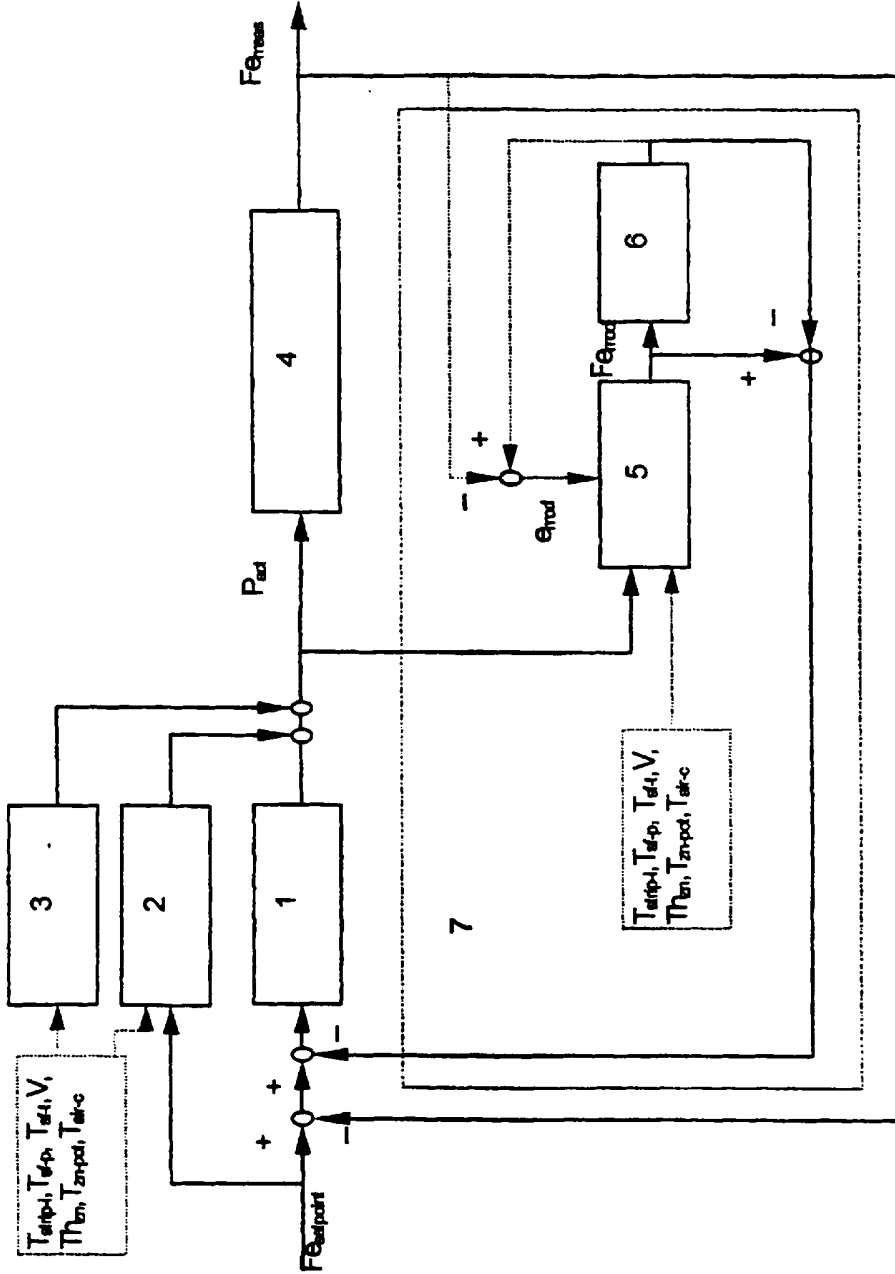


Fig. 1

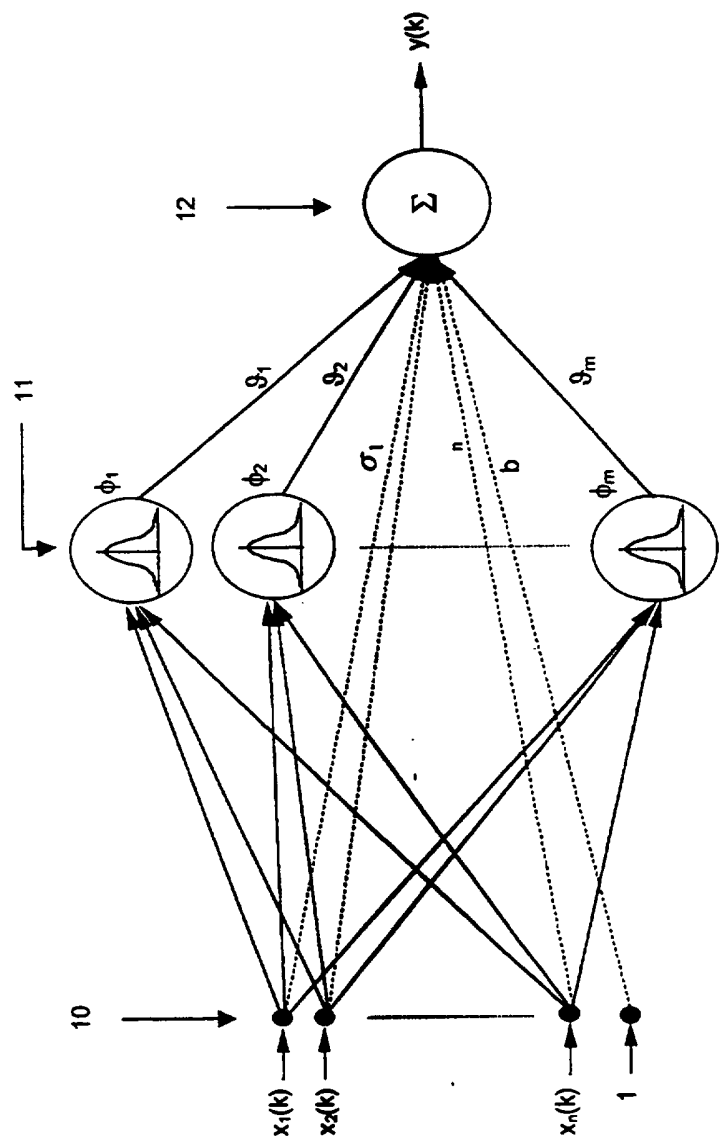


Fig. 2

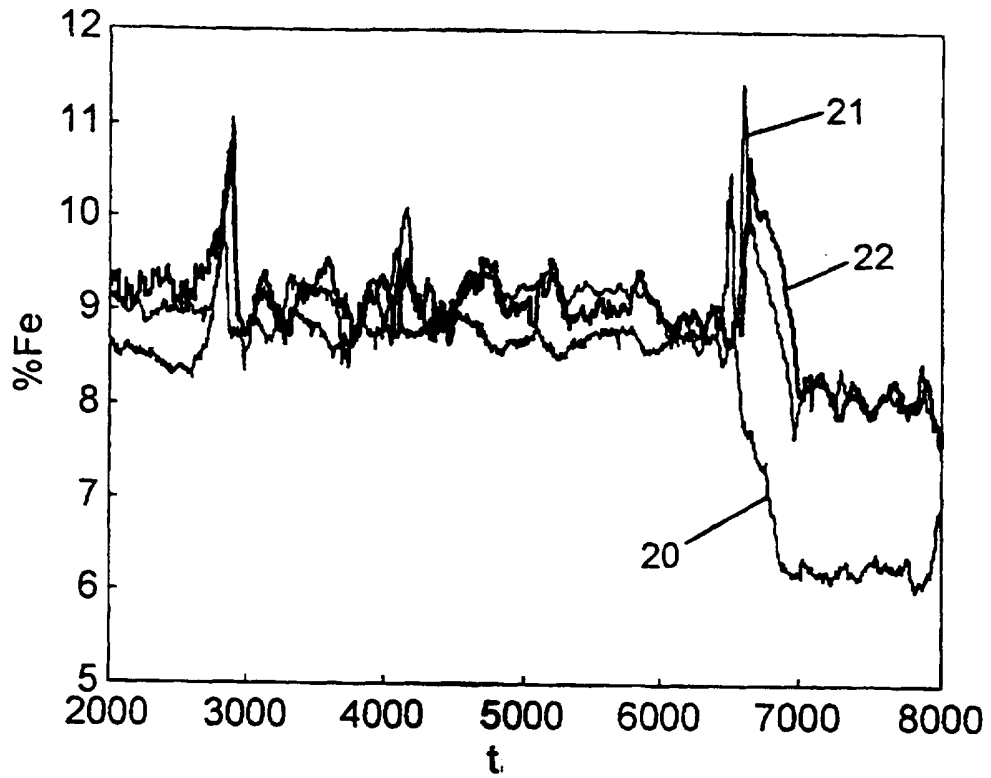


Fig. 3