

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM  
Internationales Büro

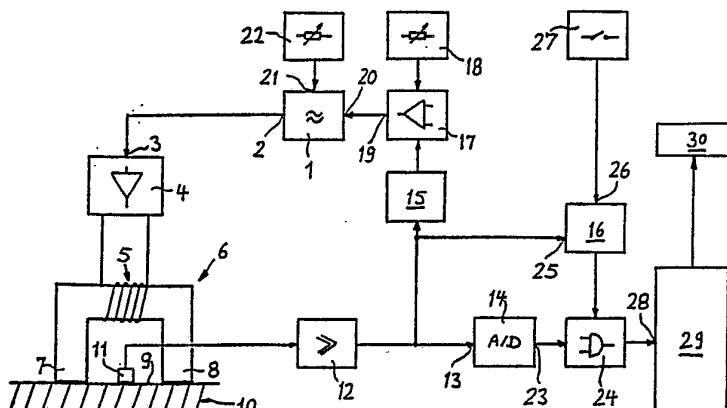


INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE  
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation <sup>4</sup> :  G01N 27/72	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 89/10557  (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 2. November 1989 (02.11.89)
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE89/00172		(74) Anwalt: RACKETTE, Karl; Kaiser-Joseph-Str. 179, Postfach 13 10, D-7800 Freiburg (DE).
(22) Internationales Anmeldedatum: 17. März 1989 (17.03.89)		
(30) Prioritätsdaten: P 38 13 739.9 23. April 1988 (23.04.88) DE		(81) Bestimmungsstaaten: AT (europäisches Patent), BE (europäisches Patent), CH (europäisches Patent), DE (europäisches Patent), FR (europäisches Patent), GB (europäisches Patent), IT (europäisches Patent), JP, LU (europäisches Patent), NL (europäisches Patent), SE (europäisches Patent), US.
(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstraße 54, D-8000 München 19 (DE).		Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist. Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>
(72) Erfinder; und		
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US) : DOBMANN, Gerd [DE/DE]; Scheidterstraße 23a, D-6602 Dudweiler (DE). PITSCHE, Holger [DE/DE]; Heidenkopferdell 30, D-6600 Saarbrücken 3 (DE).		

(54) Title: PROCESS AND APPARATUS FOR DISTURBANCE-FREE MEASUREMENT OF THE MAGNETIC PROPERTIES A TEST OBJECT

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUM ZERSTÖRUNGSFREIEN MESSEN MAGNETISCHER EIGENSCHAFTEN EINES PRÜFKÖRPERS SOWIE VORRICHTUNG ZUM ZERSTÖRUNGSFREIEN MESSEN MAGNETISCHER EIGENSCHAFTEN EINES PRÜFKÖRPERS



(57) Abstract

A process and apparatus are useful for measuring the coercive field strength and the maximum gradient of the hysteresis curve by a mounting technique. The test object is magnetised in a magnetic field of an exciter coil supplied with alternating current by repeatedly controlling the hysteresis curve of the test object with the frequency of the alternating current. The strength of the tangential field generated by the excited coil on the surface of the test object is continuously recorded by a magnetic field strength sensor while the hyseresis curve is being controlled. A distortion factor for determining the maximum gradient of the hysteresis curve is calculated from a harmonic analysis of the variation of the tangential field strength with time during a given time interval. The coercive field strength is measured by determining the time at which zero passage of the harmonic signal occurs after zero passage of the tangential field strength signal and by taking the amplitude of the tangential field strength signal at that time as a measure of the coercive field strength.

### (57) Zusammenfassung

Bei einem Verfahren und einer Vorrichtung zum Bestimmen der Koerzitivfeldstärke und der maximalen Steigung der Hysteresekurve in Aufsetztechnik wird ein Prüfkörper in einem Magnetfeld einer mit einem Wechselstrom gespeisten Erregerspule magnetisiert, indem die Hysteresekurve des Prüfkörpers mit der Frequenz des Wechselstroms mehrfach durchgesteuert wird und die durch die Erregerspule erzeugte Tangentialfeldstärke auf der Prüfkörperoberfläche mit Hilfe eines Magnetfeldstärkessensors während der Durchsteuerung der Hysteresekurve laufend erfaßt wird. Aus einer Oberwellenanalyse des zeitlichen Verlaufs der Tangentialfeldstärke innerhalb einer Periode wird ein Klirrfaktor zur Bestimmung der maximalen Steigung der Hysteresekurve errechnet. Die Koerzitivfeldstärke wird ermittelt, indem der Zeitpunkt des ersten Nulldurchgangs des Oberwellensignals nach dem Nulldurchgang des Tangentialfeldstärkessignals gesucht wird und die zu diesem Zeitpunkt vorhandene Amplitude des Tangentialfeldstärkessignals als ein Maß für die Koerzitivfeldstärke angesehen wird.

### **LEDIGLICH ZUR INFORMATION**

Code, die zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AT	Österreich	FR	Frankreich	MR	Mauritanien
AU	Australien	GA	Gabun	MW	Malawi
BB	Barbados	GB	Vereinigtes Königreich	NL	Niederlande
BE	Belgien	HU	Ungarn	NO	Norwegen
BG	Bulgarien	IT	Italien	RO	Rumänien
BJ	Benin	JP	Japan	SD	Sudan
BR	Brasilien	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	SE	Schweden
CF	Zentrale Afrikanische Republik	KR	Republik Korea	SN	Senegal
CG	Kongo	LI	Liechtenstein	SU	Soviet Union
CH	Schweiz	LK	Sri Lanka	TD	Tschad
CM	Kamerun	LU	Luxemburg	TG	Togo
DE	Deutschland, Bundesrepublik	MC	Monaco	US	Vereinigte Staaten von Amerika
DK	Dänemark	MG	Madagaskar		
FI	Finnland	ML	Mali		

Verfahren zum zerstörungsfreien Messen  
magnetischer Eigenschaften eines Prüfkörpers  
sowie Vorrichtung zum zerstörungsfreien Messen  
magnetischer Eigenschaften eines Prüfkörpers

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum zerstörungsfreien Messen magnetischer Eigenschaften eines Prüfkörpers, der in Aufsetztechnik in einem Magnetfeld einer mit einem Wechselstrom gespeisten Erregerspule 10 magnetisiert wird, indem die Hysteresekurve des Prüfkörpers mit der Frequenz des Wechselstroms mehrfach durchgesteuert wird und die durch die Erregerspule erzeugte Tangentialfeldstärke auf der Prüfkörperoberfläche mit Hilfe eines Magnetfeldsensors während der 15 Durchsteuerung der Hysteresekurve laufend erfaßt wird, wobei während der Durchsteuerung der Hysteresekurve ein Signal abgeleitet wird, dessen zeitlicher Verlauf dem zeitlichen Verlauf der Tangentialfeldstärke zugeordnet ist.

20

Die Erfindung betrifft ebenfalls eine Vorrichtung zum zerstörungsfreien Messen magnetischer Eigenschaften eines Prüfkörpers mit einem auf den zu untersuchenden Prüfkörper mit seinem beiden Magnetpolen aufsetzbaren 25 Magnetisierungsjoch, dessen Erregerspule zum Durchsteuern der Hysteresekurve des Prüfkörpers mit einem bipolaren Netzgerät verbunden ist und zwischen dessen Magnetpolen ein Magnetfeldstärkensensor zur Erfassung der Tangentialfeldstärke angeordnet ist, der an einen 30 Schaltkreis angeschlossen ist, welcher die durch Auswerten des zeitlichen Verlaufs der Tangentialfeldstärke bestimmten magnetischen Größen ausgibt.

Eine derartige Vorrichtung sowie ein Verfahren der 35 eingangs genannten Art sind aus der DE-A1-30 37 932 bekannt, wobei zusätzlich zu dem Magnetfeldstärkensensor zwischen den Magnetpolen ein zweiter Aufnehmer zum

- Erfassen des Barkhausenrauschens oder der Überlagerungspermeabilität des Prüfkörpers während des Durchsteuerns der Hysteresekurve vorgesehen ist. Während die mit einem induktiven Aufnehmer ausgerüstete bekannte
- 5 Vorrichtung die Koerzitivfeldstärke des untersuchten Werkstoffes durch Auswerten des Rauschmaximums und Bestimmen der dem Rauschmaximum zugeordneten Tangentialfeldstärke ermittelt, ermittelt die mit einer Wirbelstromspule ausgerüstete Vorrichtung die Koerzitivfeldstärke dadurch, daß die von der Überlagerungspermeabilität des untersuchten Werkstoffes abhängige Impedanz der Wirbelstromspule gemessen wird und die der maximalen Impedanz zugeordnete Tangentialfeldstärke zur Bestimmung der Koerzitivfeldstärke herangezogen wird.
- 10
- 15 Sowohl die mit dem induktiven Aufnehmer zur Erfassung des Barkhausenrauschens ausgerüstete Vorrichtung als auch die mit der Wirbelstromspule versehene Vorrichtung benötigen zusätzlich zum Magnetfeldstärkesensor einen Sensor für eine zweite physikalische Größe. Außerdem ergeben sich durch den Einsatz des induktiven Aufnehmers für die Erfassung des Barkhausenrauschens sowie der Wirbelstromspule zur Erfassung der Überlagerungspermeabilität Einschränkungen bezüglich der erfaßbaren Meßtiefe, was insbesondere dann von Nachteil ist, wenn die Einhärtetiefe bestimmt werden soll, bzw. zur Werkstoffsortierung große Werkstoffvolumina erfaßt werden müssen.
- 20
- 25
- 30 Ausgehend von dem oben genannten Stand der Technik liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, die es gestatten, magnetische Eigenschaften, insbesondere Koerzitivfeldstärken, sowie den Verlauf der Hysteresekurve am Koerzitivfeldstärkepunkt ohne zusätzlichen Sensor zum Magnetfeldstärkesensor auch bei großen Meßtiefen zu erfassen.
- 35

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch gelöst, daß das abgeleitete Signal aus dem zeitlichen Verlauf des Tangentialfeldstärkesignals bestimmt wird, indem durch

5 eine phasengetreue extrem schmalbandige Filterung aus dem periodischen Gesamtsignal der Tangentialfeldstärke der Anteil des Oberwellensignals von dem Anteil des Grundwellensignals separiert wird und durch eine Verknüpfung des Oberwellensignals mit dem Gesamtsignal

10 und/oder dem Grundwellensignal magnetische Kenngrößen des Prüfkörpers bestimmt werden.

Bei einer Vorrichtung gemäß der Erfindung ist vorgesehen, daß der Magnetfeldstärkesensor an ein phasengetreues schmalbandiges Filter angeschlossen ist, durch das der zeitliche Verlauf des periodischen Sensorsignales in seinen Grundwellenanteil und seinen Oberwellenanteil separierbar ist, und daß der Oberwellenanteil zusammen mit dem Gesamtsignal des Sensors und/oder dem

20 Grundwellenanteil einen Auswerteprozessor zur Berechnung der magnetischen Kenngrößen des Prüfkörpers speist.

Dadurch, daß zur Bestimmung der magnetischen Kenngrößen

25 nur das Tangentialfeldstärkesignal ausgewertet wird, verringert sich der gerätetechnische Aufwand um einen Meßkanal oder einen Meßzweig, ohne daß auf die Vorteile bekannter Verfahren und Vorrichtungen verzichtet zu werden braucht. Der Erfindung liegt die Erkenntnis zu-

30 grunde, daß die alleinige Messung der Tangentialfeldstärke die Ableitung einer Meßgröße erlaubt, die linear mit der Koerzitivfeldstärke korreliert. Darüber hinaus gestattet die Auswertung des Verlaufs der Tangentialfeldstärke die Bestimmung einer zweiten Meßgröße, die

in linearer Korrelation zur maximalen Steigung der Hysteresekurve steht.

Zweckmäßige Ausgestaltungen und Weiterbildungen der  
5 Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Nachfolgend wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung  
anhand der Zeichnung näher erläutert. Es zeigen:

10 Fig. 1 ein Blockschaltbild einer Vorrichtung gemäß  
der Erfindung,

Fig. 2 den Auswerteprozessor der erfindungsgemäßen  
Vorrichtung in einem Blockschaltbild und  
15

Fig. 3 den zeitlichen Verlauf der von dem Magnet-  
feldstärkesensor erfaßten Tangentialfeld-  
stärke in Bezug auf den zeitlichen Verlauf  
des darin enthaltenen Oberwellenanteils zur  
20 Veranschaulichung der der Erfindung zugrunde  
liegenden Erkenntnis für die Bestimmung der  
Koerzitivfeldstärke.

In Fig. 1 ist ein Ausführungsbeispiel für die Vorrich-  
25 tung zur zerstörungsfreien Messung der Koerzitivfeld-  
stärke sowie der maximalen Steigung der BH-Kurve oder  
Hysteresekurve dargestellt. Die Vorrichtung verfügt  
über einen Oszillatator 1, dessen Frequenz zwischen 0 Hz  
30 und einigen kHz, insbesondere zwischen 10 Hz und 100 Hz  
durchstimmbar ist. Insbesondere kann der Oszillatator 1,  
dessen Frequenz und dessen Amplitude einstellbar sind,  
ein Sinussignal mit 50 Hz erzeugen. Statt der Erzeugung  
eines Sinussignals ist es aber auch möglich, einen

Oszillator 1 vorzusehen, der ein periodisches Zeit-signal einer anderen Form erzeugt. Die jeweils zwischen 0 Hz und einigen kHz eingestellte Magnetisierungsfre-quenz bestimmt die Meßtiefe infolge des dem Fachmann 5 bekannten Skin-Effektes.

Der Ausgang 2 des Oszillators 1 ist mit dem Steuerein-gang 3 eines bipolaren Netzgerätes oder einer bipolaren Leistungsendstufe 4 verbunden. Der Ausgang der Lei-stungsendstufe 4 speist eine Erregerspule 5, die auf 10 ein Aufsetzjoch 6 aufgewickelt ist, das beispielsweise aus einer Vielzahl aufeinandergestapelter Elektrobleche besteht. Das Aufsetzjoch 6 verfügt über zwei Joch-schenkel 7, 8, die zum Messen auf die Oberfläche 9 15 eines Prüfkörpers 10 aufsetzbar sind. Um Unebenheiten und unterschiedliche magnetische Widerstände, die sich hierdurch ergeben, auszugleichen, ist es vorgesehen, die Amplitude des Oszillators 1 entsprechend zu ver-ändern, um zu erreichen, daß das vom Aufsetzjoch 6 im 20 Prüfkörper 10 erzeugte periodische Wechselfeld in seinem Magnetfeldhub konstant bleibt.

Zwischen den Jochschenkeln 7, 8 ist symmetrisch zu diesen ein Magnetfeldstärkesensor, insbesondere eine 25 Hallsonde 11, vorgesehen, die ebenfalls auf der Ober-fläche 9 aufliegt und dazu dient, die Tangentialfeld-stärke an der Oberseite 9 des Prüfkörpers 10 zu er-fassen.

30 Die Gesamtinduktivität des Aufsetzjoches ist nicht nur von den Eigenschaften der Erregerspule 5 und dem Kern-material des Aufsetzjoches 6, sondern auch von den magnetischen Eigenschaften des Prüflings 10 abhängig.

Bekanntlich ist bei ferromagnetischen Werkstoffen die Permeabilität magnetfeldabhängig. Dies führt zu einem Hystereseeinfluß und bei einer sinusförmigen Erreger5spannung an der Erregerspule 5 zu einem nichtsinusförmigen zeitlichen Verlauf der Feldstärke im Prüfkörper 10. Der Hystereseeinfluß bedingt, daß neben der Grundfrequenz auch die ungeradzahligen höheren Harmonischen oder Oberwellen des Oszillatorsignals angeregt werden. Infolge des Hystereseeinflusses ergibt sich somit eine nichtlineare Frequenzcharakteristik und damit nichtlineare Verzerrungen. Die geradzahligen Oberwellen fehlen, weil die Hysteresekurve einen symmetrischen Verlauf hat. Die Hallsonde 11 gestattet es nunmehr, bei einer Anregung mit einem Oszillator 1, dessen Ausgangsspannung sinusförmig verläuft, den vom Sinusverlauf abweichenden Verlauf der Tangentialfeldstärke zu erfassen. In Fig. 3 ist der nichtsinusförmige Verlauf der Tangentialfeldstärke für eine Periode dargestellt.

Die Hallsonde 11 erzeugt ein periodisches Signal, das bei der Verwendung eines Oszillators 1 mit einer Sinusspannung die Gestalt eines verzerrten Sinus hat. Das Ausgangssignal der Hallsonde 11 wird mit Hilfe eines Verstärkers 12 verstärkt. Der Ausgang des Verstärkers 12 ist einerseits mit dem Eingang 13 eines Analog/Digital-Umsetzers 14 und andererseits mit einem Peak-Detektor oder Maximalamplituden-Detektor 15 verbunden. Außerdem speist das vom Verstärker 12 gelieferte Signal eine Triggerschaltung 16.

Durch den Maximalamplituden-Detektor 15 wird erfaßt, ob das dem Analog/Digital-Umsetzer 14 zugeführte Signal ausreichend groß ist. Ist dies nicht der Fall, wird die

Amplitude des Oszillators 1 nachgeregelt und erhöht, was insbesondere dann der Fall sein kann, wenn aufgrund von Rauhigkeiten zwischen den Jochschenkeln 7, 8 und der Oberfläche 9 ein Luftspalt zu einer schlechteren 5 Ankopplung und einem höheren magnetischen Widerstand führt. Der zum Stabilisieren der Maximalamplitude vorgesehene Regelkreis enthält neben dem Verstärker 12 und dem Maximalamplituden-Detektor 15 noch eine Komparatorschaltung 17, die mit dem Ausgang des Maximal- 10 amplituden-Detektors 15 verbunden ist. Die Komparator- schaltung 17 ist weiterhin mit einer Magnetfeldhubeinstellvorrichtung 18 verbunden, durch die die maximale H-Feldaussteuerung einstellbar ist. Der Ausgang 19 der Komparatorschaltung 15 speist den Amplitudeneingang 20 15 des Oszillators 1 zur Lieferung eines Korrektursignals für die Oszillatoramplitude. Der Oszillator 1 verfügt weiterhin über einen Frequenzeingang 21, der mit einer Frequenzeinstelleinrichtung 22 zur Einstellung und zur Veränderung der Magnetisierungsfrequenz verbunden ist. 20 Der oben beschriebene Regelkreis gestattet es, die Hysteresekurve des Prüfkörpers 10 periodisch und mit einer stabilisierten Amplitude der Feldstärke durchzusteuern.

25 Beim Durchsteuern der Hysteresekurve des Prüfkörpers 10 liefert der Ausgang 23 des Analog/Digital-Umsetzers 14 ein digitalisiertes Tangentialfeldstärkesignal. Mit Hilfe einer Torschaltung 24 wird aus dem kontinuierlichen Tangentialfeldstärkesignal eine Periode herausgeschnitten. In Fig. 3 ist eine solche Periode der Tangentialfeldstärke dargestellt, die zum Beispiel 30 durch 1024 Abtastpunkte erfaßt sein kann. Die Torschaltung 24 wird mit Hilfe der Triggerschaltung 16 kurz vor oder ab einem Nulldurchgang für genau eine Periode des

Tangentialfeldstärkesignals geöffnet. Die dafür erforderliche Länge des Zeitfensters der Torschaltung 24 kann durch eine Schwellentriggerung oder durch Auswerten der Erregerfrequenz bestimmt werden. Bei dem in 5 Fig. 1 dargestellten Schaltbild dient das am Eingang 25 der Triggerschaltung 16 anliegende verstärkte Tangentialfeldstärkesignal dazu, die Öffnungszeit der Torschaltung 24 erregerfrequenzabhängig einzustellen. Selbstverständlich ist es auch möglich, den Eingang 25 10 hierzu direkt mit dem Ausgang 2 des Oszillators 1 zu verbinden. Jedesmal, wenn eine Periode der Tangentialfeldstärke erfaßt werden soll, wird der Steuereingang 26 der Triggerschaltung 16 mit einem Startsignal beaufschlagt. Das Startsignal kann beispielsweise durch 15 eine Starttaste 27 bei einer Einzelmessung oder durch einen kontinuierlich auftretenden Prüftakt erzeugt werden, wenn statt einer manuellen Meßauslösung eine automatische Meßauslösung erwünscht ist.

20 Aus der obigen Beschreibung ergibt sich, daß nach einer einzelnen Meßauslösung über die Torschaltung 24 eine Periode des digitalisierten Tangentialfeldstärkesignals zum Dateneingang 28 eines Auswerteprozessors 29 gelangt, der die Aufgaben der Steuerung der Vorrichtung, 25 der Signalaufnahme und der Signalverarbeitung erledigt.

Der Auswerteprozessor 29 ermittelt aus der Gestalt der in Fig. 3 dargestellten Kurve der Tangentialfeldstärke während einer Periode die Koerzitivfeldstärke für den 30 Prüfkörper 10 sowie die maximale Steigung der Hysteresekurve und zeigt diese Werte auf einer Anzeigeeinheit 30 an oder gibt diese Werte über eine Schnittstelle zur Steuerung von in Fig. 1 nicht dargestellten Einrichtungen weiter.

Der Auswerteprozessor 29 ermittelt für das durch die Magnetisierungsfrequenz festgelegte Meßvolumen im Prüfkörper 10 die Koerzitivfeldstärke und die maximale Steigung der Hysteresekurve durch eine Analyse der 5 Abweichung des Tangentialfeldstärkesignals von der Signalform am Ausgang 2 des Oszillators 1, wobei bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel davon aus gegangen wird, daß der Oszillator 1 ein Sinusoszillator ist.

10

Fig. 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel für den Auswerteprozessor 29 zusammen mit der Anzeigeeinheit 30, die ein Anzeigenfeld 31 für die maximale Steigung der Hysteresekurve und ein Anzeigenfeld 32 für die Koerzitivfeldstärke aufweist.

Der Auswerteprozessor 29 verfügt über einen Steuer- und Abtastprozessor 33, der einerseits die verschiedenen Funktionsblöcke des Auswerteprozessors 29 steuert und 20 andererseits zur Abtastung der in Fig. 3 dargestellten Kurve der Tangentialfeldstärke und des Oberwellenanteils dient.

Der Dateneingang 28 ist mit einem Tangentialfeldstärkespeicher 34 verbunden, der dazu dient, eine Periode des digitalisierten Tangentialfeldstärkesignals zu speichern. Der Tangentialfeldstärkespeicher 34 verfügt über 25 einen Adreß- und Steuereingang 35, der über eine Adressen- und Steuerleitung 36 mit dem Steuer- und Abtastprozessor 33 verbunden ist.

Der Ausgang 37 des Tangentialfeldstärkespeichers 34 speist den Eingang 39 eines Fourieranalyse-Prozessors 38, der eine Fourierhintransformation des Tangentialfeldstärkesignals oder Gesamtsignals vornimmt. Das von 35

der Hallsonde 11 gemessene Gesamt signal der Tangential-  
 feldstärke wird durch den Fourieranalyse-Prozessor 38  
 in seine harmonischen Anteile zerlegt, wobei am Ausgang  
 40 der komplexe Fourierkoeffizient A1 der Grundwelle  
 5 und an den Ausgängen 41, 42 und 43 die komplexen  
 Fourierkoeffizienten A3, A5 und A7 der jeweiligen  
 höheren Harmonischen oder Oberwellen abgreifbar sind.  
 Der Fourieranalyse-Prozessor 38 zerlegt somit das  
 10 Gesamt signal in eine Grundwelle und drei Oberwellen,  
 wobei infolge der Symmetrie der Hysteresekurve nur  
 Oberwellen ungerader Ordnung vorkommen und durch Aus-  
 werten von lediglich drei Oberwellen bereits eine  
 ausreichend hohe Genauigkeit der Messung möglich ist.  
 Über eine Steuerleitung 44 steht der Fourieranalyse-  
 15 Prozessor 38 mit dem Steuer- und Abtastprozessor 33 in  
 Verbindung.

Der Auswerteprozessor 29 umfaßt einen Klirrfaktorpro-  
 zessor 45, der seinerseits Schaltungen zum Quadrieren,  
 20 Addieren, Dividieren und Wurzelziehen sowie einen  
 Kalibrierspeicher mit Kalibrierfaktoren für verschie-  
 dene Hallsonden 11 und Aufsetzjochen 6 enthält. Der  
 Klirrfaktorprozessor 45 erhält direkt oder auf dem  
 Umweg über einen Koeffizientenspeicher 46 als Eingangs-  
 25größe die komplexen Fourierkoeffizienten A1, A3, A5 und  
 A7 über Eingangsleitungen 47 bis 50. Der Klirrfaktor-  
 prozessor 45 berechnet einen Klirrfaktor K als Meßgröße  
 aus den Fourierkoeffizienten entsprechend folgender  
 Formel

$$K = \sqrt{\frac{|A_3|^2 + |A_5|^2 + |A_7|^2}{|A_1|^2}}$$

Der so definierte Klirrfaktor ist eine Meßgröße, die kleiner als 1 ist und die, wie sich durch Versuche bestätigt hat, mit der maximalen induzierten Spannung in einer den Prüfkörper 10 umfassenden Spule eine sehr hohe Korrelation hat. Gegenüber den Verfahren aus der umfassenden Meßtechnik gestattet es jedoch die beschriebene Vorrichtung, in Aufsetztechnik die maximale induzierte Spannung, die ein Maß für die maximale Steigung der Hysteresekurve ist, bequem zu messen. Der Klirrfaktor K ist somit eine Meßgröße, die nach einer Multiplikation mit einem Kalibrierfaktor am Ausgang 51 einen Meßwert für die maximale Steigung der Hysteresekurve bzw. die differentielle Permeabilität am Koerzitivfeldstärkepunkt darstellt. Die maximale Steigung oder die maximale Steilheit der Hysteresekurve wird im Anzeigefeld 31 der Anzeigeeinheit 30 dargestellt. Neben der Auswertung der Proportionalität des Klirrfaktors gestattet es der in Fig. 2 dargestellte Auswerteprozessor 29 weiterhin in der nachfolgend beschriebenen Weise die Koerzitivfeldstärke aus dem zeitlichen Verlauf der Tangentialfeldstärke zu bestimmen.

Zu diesem Zweck wird unter Ausnutzung der komplexen Fourierkoeffizienten A3, A5 und A7 ein Oberwellensignal gebildet, das den Oberwellenanteil des Tangentialfeldstärkesignals ohne das Grundwellensignal darstellt. Bei der in Fig. 2 dargestellten Hardware-Lösung, die selbstverständlich auch als Software-Lösung auf einem Mehrzweckrechner realisiert sein kann, sind die Ausgänge des Koeffizientenspeichers 46 mit einer entsprechenden Zahl von Eingängen eines Fouriersynthese-Prozessors 52 verbunden. Der Fouriersynthese-Prozessor 52 gestattet es, aus den komplexen Fourierkoeffizienten A3, A5 und A7 durch Superposition zu jedem Zeitpunkt

das gesamte Oberwellensignal zu berechnen. Diese Fourierrücktransformation nach dem Herausfiltern der Grundfrequenz erfolgt unter der Steuerung des Steuer- und Abtastprozessors 33, der mit dem Fouriersynthese- Prozessor 52 über eine Steuerleitung 53 verbunden ist.

Das vom Fouriersynthese-Prozessor 52 gelieferte Oberwellensignal stellt jeweils ein Zeitsignal mit der Dauer einer Periode des Grundsignals bzw. Tangentialfeldstärkesignals dar. Ein mit dem Ausgang des Fourier-synthese-Prozessors 52 verbundener Oberwellenspeicher 54 speichert eine Periode des Oberwellensignals, die in Fig. 3 als Oberwellenanteil der Tangentialfeldstärke dargestellt ist.

Der Steuer- und Abtastprozessor 33 ist über eine Adressen- und Steuerleitung 55 mit dem Oberwellenspeicher 54 verbunden, so daß die zu einem jeweiligen Abtastzeitpunkt gehörende Amplitude des Oberwellensignals vom Steuer- und Abtastprozessor 33 über eine Datenleitung 56 aus dem Oberwellenspeicher 54 ausgelesen werden kann. Der Steuer- und Abtastprozessor 33 ist über eine weitere Datenleitung 57 mit dem Ausgang 37 des Tangentialfeldstärkespeichers 54 verbunden, um durch eine Verknüpfung des zeitlichen Verlaufs der Tangentialfeldstärke und des Oberwellenanteils eine Meßgröße  $H_{CO}$  aus der Abhängigkeit der Tangentialfeldstärke  $H_t$  von der Zeit  $t$  abzuleiten. Die in der nachfolgenden Weise abgeleitete Meßgröße  $H_{CO}$  ist ein Maß für die Koerzitivfeldstärke  $H_{CBH}$ , die üblicherweise in umfassender Technik aus der BH-Kurve ermittelt wird. Umfangreiche Versuche haben eine sehr hohe Korrelation zwischen der Meßgröße  $H_{CO}$  und der Koerzitivfeldstärke  $H_{CBH}$  ergeben.

Zur Ableitung der der Koerzitivfeldstärke zugeordneten Meßgröße  $H_{CO}$  vergleicht der Steuer- und Abtastprozessor 33 den in Fig. 3 zum besseren Verständnis dargestellten Verlauf der Tangentialfeldstärke mit dem Verlauf des 5 Oberwellenanteils. Dabei sucht der Steuer- und Abtast- prozessor 33 den Zeitpunkt des ersten Nulldurchganges des Oberwellensignals oder des Oberwellenanteils nach einem Nulldurchgang des Tangentialfeldstärkesignals. Der absolute Tangentialfeldstärkewert bei der ersten 10 Nullstelle des Oberwellensignals nach dem Nulldurchgang des Tangentialfeldstärkesignals (Remanenz) ist die oben mit  $H_{CO}$  bezeichnete Meßgröße, die proportional der Koerzitivfeldstärke ist.

15 Die obigen Ausführungen zeigen, wie mit einer Ober- wellenanalyse, die mit Hilfe der Fouriertransformation durchgeführt wurde, magnetische Kenngrößen bestimmt werden können. Erfahrungen haben gezeigt, daß die Entwicklung der Tangentialfeldstärke in eine Fourier- 20 reihe bis zur 7. Oberwelle ausreichend ist. Die aus den Fourierkoeffizienten ermittelten Amplituden der höheren Harmonischen liegen im Bereich der Meßgenauigkeit eines Analog/Digital-Umsetzers mit einer Auflösung von 10 Bit.

25 Dem Steuer- und Abtastprozessor 33 ist ein Koerzitiv- feldstärkespeicher 58 zum Abspeichern der augenblick- lichen Amplitude der Tangentialfeldstärke zum Zeitpunkt des ersten Nulldurchgangs des Oberwellensignals nach 30 dem Nulldurchgang des Tangentialfeldstärkesignals zugeordnet. Der Koerzitivfeldstärkespeicher 58 ist daher unmittelbar mit dem Ausgang 37 des Tangential- feldstärkespeichers 34 verbunden. Ausgangsseitig steht der Koerzitivfeldstärkespeicher 58 mit dem Anzeigefeld

32 der Anzeigeeinheit 30 in Verbindung.

Neben den bereits erwähnten Möglichkeiten der Messung  
der Koerzitivfeldstärke und der Bestimmung einer mit  
5 der maximalen Steigung der Hysterese korrelierenden  
Meßgröße gestattet es die oben beschriebene Vorrichtung  
sowie das erörterte Verfahren weiterhin Härteprofile zu  
bestimmen. Dazu ist es lediglich notwendig, die Messung  
der Meßgröße  $H_{CO}$  bei unterschiedlichen Erregerfrequen-  
10 zen durchzuführen. Durch eine Veränderung der Erreger-  
frequenz mit Hilfe der Frequenzeinstelleinrichtung 22 werden  
aufgrund der Wirbelstromdämpfung unterschiedliche Schichtdicken im Prüfkörper 10 analysiert. Der  
bei der Messung erfaßbare Tiefenbereich ist lediglich  
15 durch die Eindringtiefe des vom Aufsetzjoch 6 erzeugten  
Magnetfeldes beschränkt. Diese ist zum Beispiel bei 50  
Hz nach der Standardeindringtiefenformel etwa 4,4 mm.  
Die Nutzung von Erregerfrequenzen im Bereich von mehr  
als 1 Hz ist besonders im Hinblick auf die industrielle  
20 Tauglichkeit des beschriebenen Verfahrens zur Material-  
prüfung von Interesse, da sie entsprechend kurze Meß-  
zeiten und Prüftakte erlaubt. Obwohl die Fouriertrans-  
formation und die Berechnung des gesamten Oberwellen-  
signals anhand einer Hardware-Realisierung beschrieben  
25 worden ist, liegt es auf der Hand, daß dies auch soft-  
waremäßig erfolgen kann. Der Nulldurchgang im Tangen-  
tialfeldstärcefeld gibt bei einer Software-Lösung  
ebenfalls den zeitlichen Trigger zur Suche des darauf-  
folgenden Nulldurchgangs im Oberwellensignal ein. Der  
30 zugehörige H-Feldwert im Tangentialfeldstärkesignal  
wird dann als  $H_{CO}$  ausgelesen.

Es ist auch möglich, eine Abspaltung des Oberwellen-  
signals aus dem Tangentialfeldstärkesignal in analoger  
35 Filtertechnik durchzuführen, was jedoch zu Phasenfeh-  
lern führt, die die phasenmäßige Auswertung bei der

Nullstellensuche zur Bestimmung der Koerzitivfeldstärke erschweren. Die entstehenden Phasenfehler können zwar berücksichtigt werden, was aber im Hinblick auf eine möglichst variable Erregerfrequenz einen großen Aufwand darstellt, weshalb vorzugsweise statt einer analogen Filtertechnik entsprechend dem oben beschriebenen Ausführungsbeispiel Fourierprozessoren eingesetzt werden.

## PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zum zerstörungsfreien Messen magnetischer Eigenschaften eines Prüfkörpers, der in Aufsetztechnik in einem Magnetfeld einer mit einem Wechselstrom gespeisten Erregerspule magnetisiert wird, indem die Hysteresekurve des Prüfkörpers mit der Frequenz des Wechselstroms mehrfach durchgesteuert wird und die durch die Erregerspule erzeugte Tangentialfeldstärke auf der Prüfkörperoberfläche mit Hilfe eines Magnetfeldstärkesensors während der Durchsteuerung der Hysteresekurve ein Signal abgeleitet wird, dessen zeitlicher Verlauf dem zeitlichen Verlauf der Tangentialfeldstärke zugeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß das abgeleitete Signal aus dem zeitlichen Verlauf des Tangentialfeldstärkesignals bestimmt wird, indem durch eine phasengetreue extrem schmalbandige Filterung aus dem periodischen Gesamtignal der Tangentialfeldstärke der Anteil des Oberwellensignals von dem Anteil des Grundwellensignals separiert wird und durch eine Verknüpfung des Oberwellensignals mit dem Gesamtignal und/oder dem Grundwellensignal magnetische Kenngrößen des Prüfkörpers bestimmt werden.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Filterung des Gesamtsignals durch eine Fourieranalyse einer Periode des Gesamtsignals erfolgt, mit deren Hilfe die kom-

plexen Amplitudenkoeffizienten des Grundwellensignals und des Oberwellensignals bis zur Oberwelle 7. Ordnung bestimmt werden.

- 5 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die geometrische Summe der Amplituden der im Gesamtignal enthaltenen Oberwellen ins Verhältnis zur Amplitude der Grundwelle oder Gesamtwellen gesetzt wird, wobei der auf  
10 diese Weise ermittelte Klirrfaktor ein Maß für die Steigung der Hysteresekurve bei der Koerzitivfeldstärke ist.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Maß für die Koerzitivfeldstärke des Prüfkörpers die augenblickliche Amplitude des Gesamtsignals der Tangentialfeldstärke zu einem Zeitpunkt ausgewählt wird, zu dem das Oberwellensignal der Tangentialfeldstärke nach einem Nulldurchgang des Gesamtsignals der Tangentialfeldstärke den ersten Nulldurchgang hat.  
15
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Bestimmung von Härtegradienten und damit auch der Einhärtetiefe die Frequenz des Speisestromes der Erregerspule zur Magnetisierung des Prüfkörpers durchgestimmt wird.  
20
- 30 6. Vorrichtung zum zerstörungsfreien Messen magnetischer Eigenschaften eines Prüfkörpers mit einem auf den zu untersuchenden Prüfkörper mit seinen beiden Magnetpolen aufsetzbaren Aufsetzjoch,

- dessen Erregerspule zum Durchsteuern der Hysteresekurve des Prüfkörpers mit einer bipolaren Leistungsstufe verbunden ist und zwischen dessen Magnetpolen ein Magnetfeldstärkesensor zur Erfassung der Tangentialfeldstärke angeordnet ist, der an einen Schaltkreis angeschlossen ist, welcher die durch Auswerten des zeitlichen Verlaufs der Tangentialfeldstärke bestimmten magnetischen Größen ausgibt, dadurch gekennzeichnet, daß der Magnetfeldstärkesensor (11) an ein phasengetreues schmalbandiges Filter (38, 46, 52) angeschlossen ist, durch das der zeitliche Verlauf des periodischen Sensorsignales in seinen Grundwellenanteil und seinen Oberwellenanteil separierbar ist und daß der Oberwellenanteil zusammen mit dem Gesamt signal des Sensors (11) und/oder dem Grundwellenanteil Auswerteprozessoren (29, 33, 45) zur Berechnung der magnetischen Kenngrößen des Prüfkörpers (10) speist.
7. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Auswerteprozessor (29) einen Klirrfaktorprozessor (45) umfaßt, durch den aus den Amplituden der Oberwellen und der Amplitude der Grundwelle der Klirrfaktor (K) der Übertragungsstrecke zwischen der Erregerspule (5) und dem Magnetfeldstärkesensor (11) als Maß für die Steigung der Hysteresekurve der Koerzitivfeldstärke bestimmbar ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß der Klirrfaktorprozessor (45) an den Ausgang (40 bis 43) eines Fourieranalyse-Prozessors (38) angeschlossen ist, durch

den das Sensorsignal bis zur Oberwelle 7. Ordnung in seine harmonischen Anteile zerlegbar ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Auswerteprozessor (29) einen Abtastprozessor (33) für den zeitlichen Verlauf des Gesamtsignales der Tangentialfeldstärke und des Oberwellenanteils der Tangentialfeldstärke umfaßt, durch den ein Selektionssignal für die Tangentialfeldstärke (57) erzeugbar ist, wenn dem gerade abgetasteten Gesamtsignal der Tangentialfeldstärke zeitlich ein Nulldurchgang des Oberwellenanteils zugeordnet ist, der als erster Nulldurchgang des Oberwellenanteils auf einen Nulldurchgang des Gesamtsignals folgt.
10. Vorrichtung nach Anspruch 6 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Auswerteprozessor (29) einen Fourieranalyse-Prozessor (38) zur Separation der Oberwellenanteile aufweist, die mit Hilfe eines Fouriersynthese-Prozessors (52) zu einem von der Grundwelle befreiten Oberwellenanteil kombinierbar sind.
- 25 11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß durch den Fourieranalyse-Prozessor (38) und den Fouriersynthese-Prozessor (52) die Amplituden der Oberwellen der 3., 5. und 7. Ordnung verarbeitbar sind.

1/3

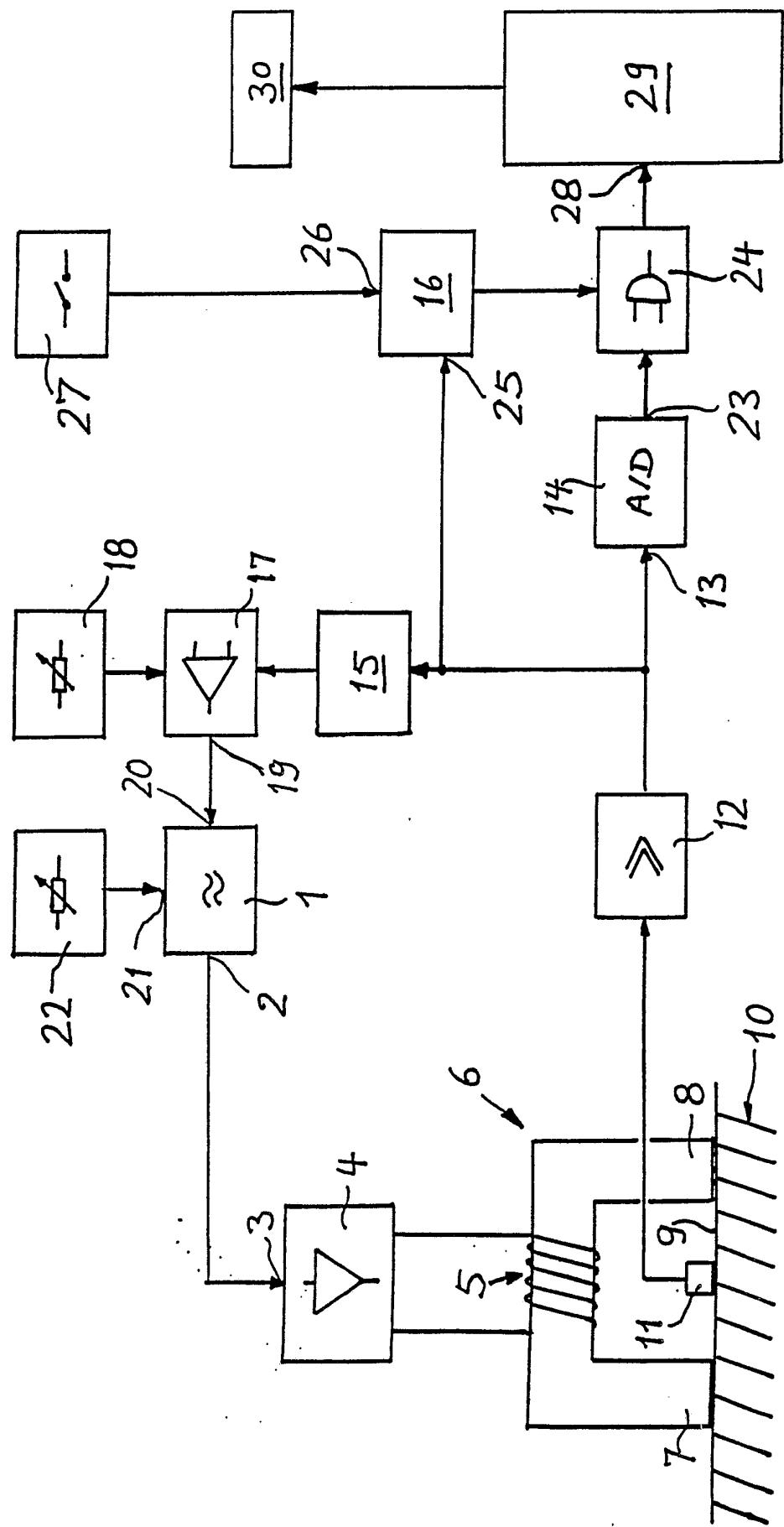
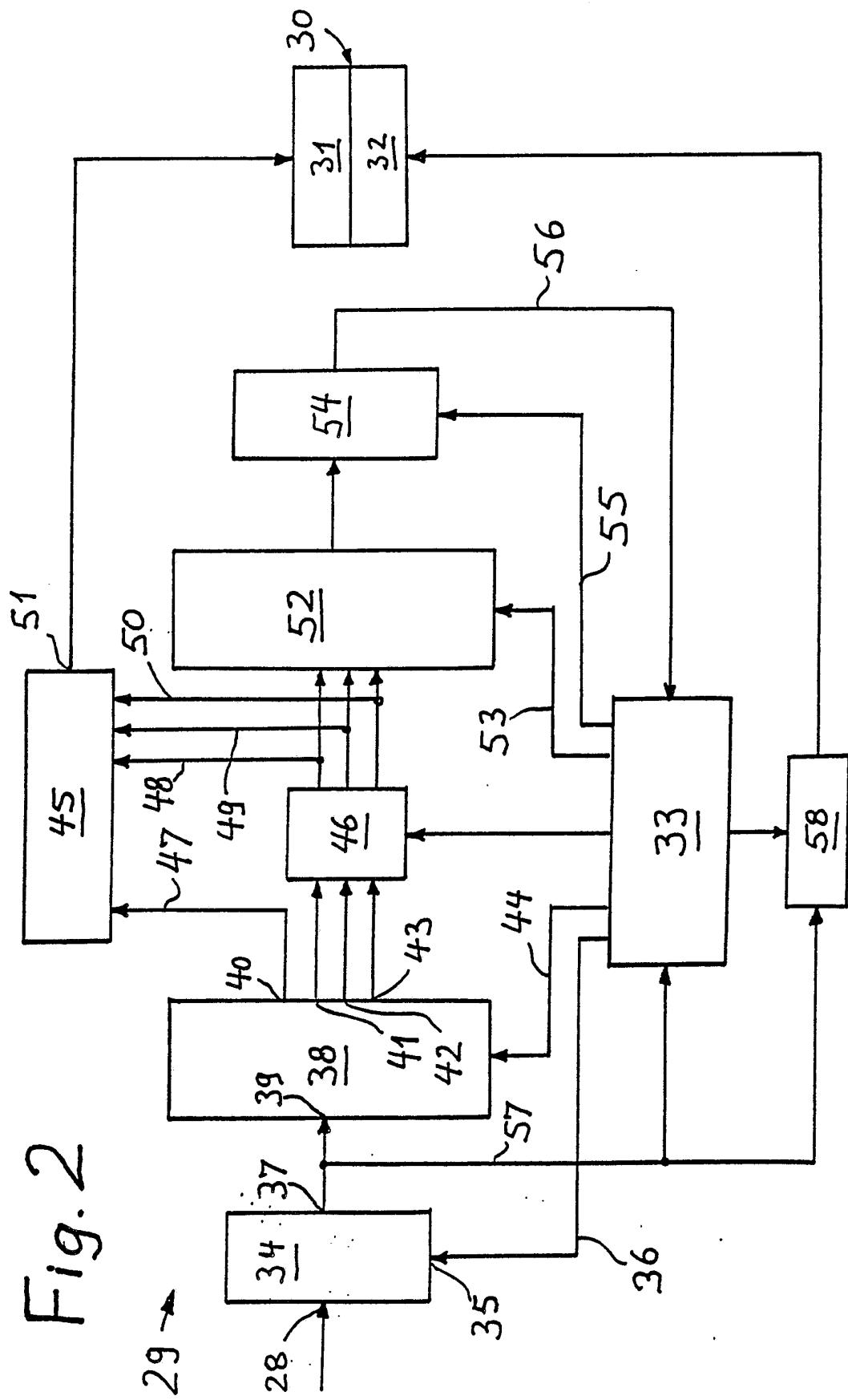
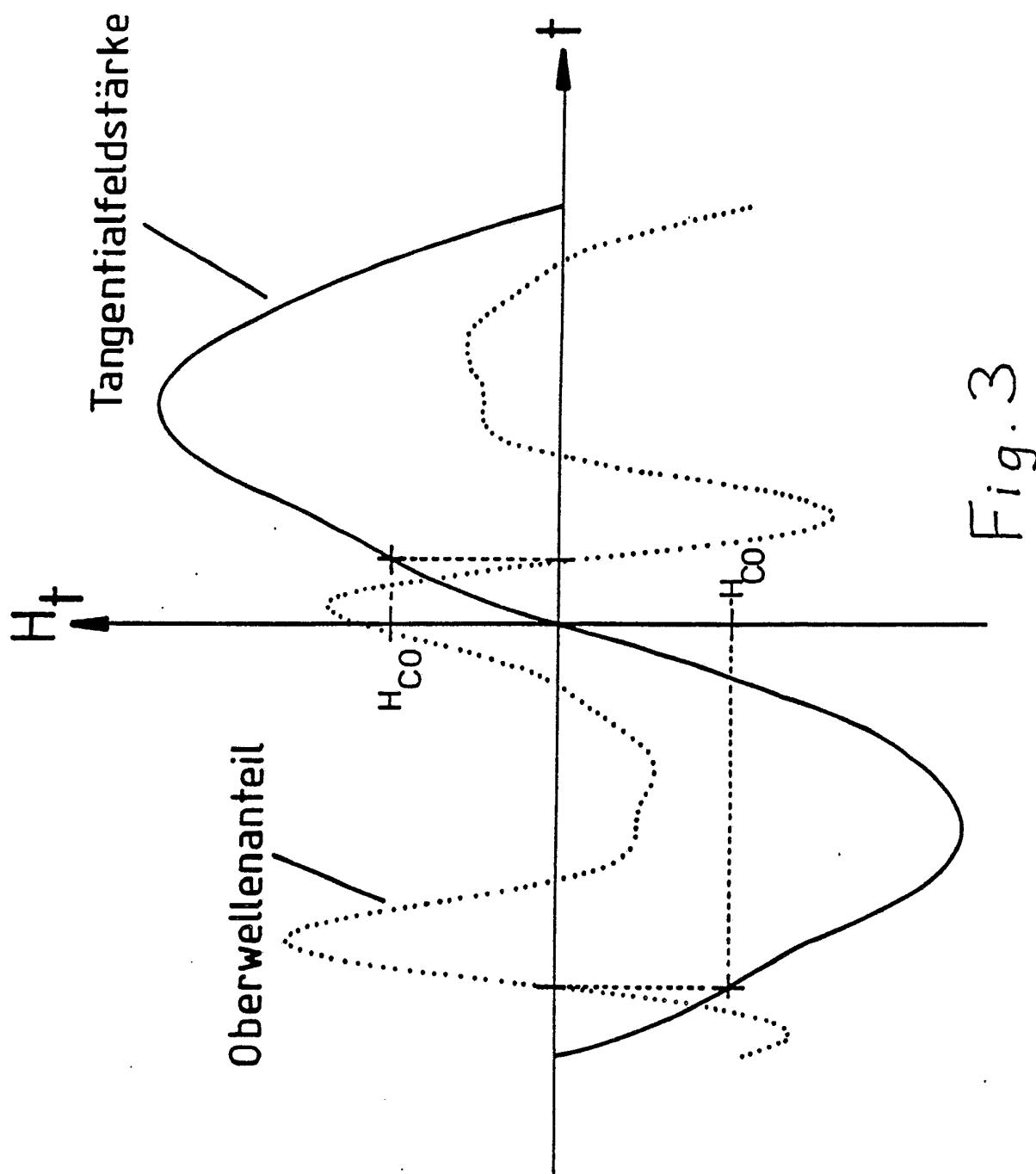


Fig. 1



3/3



# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/DE 89/00172

## I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (if several classification symbols apply, indicate all) <sup>6</sup>

According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC

Int.Cl.<sup>4</sup> G01N 27/72

## II. FIELDS SEARCHED

Minimum Documentation Searched <sup>7</sup>

Classification System	Classification Symbols
Int.Cl.	G01N, G01R

Documentation Searched other than Minimum Documentation  
to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched <sup>8</sup>

## III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT <sup>9</sup>

Category *	Citation of Document, <sup>11</sup> with indication, where appropriate, of the relevant passages <sup>12</sup>	Relevant to Claim No. <sup>13</sup>
A	WO, A, 87/00293 (EC. NATIONALE SUPERIEURE DES ARTS ET METIERS) 15 January 1987 see claims 1,2,6,11,12	1,2,6,8
A	Industrial Laboratory, vol. 43,Nr.2, February 1977, Plenum Publishing Corp. (New York, US), M.A. Karamyshev et al.: "Hardness inspection of 38khA-Steel parts by the electromagnetic method with higher harmonics", pages 264-266 see the whole document	1
A	US, A, 3636437 (SOULANT, JR et al.) 18 January 1972 see front page	1
A	FR, A, 2312777 (CITROEN) 24 December 1976 see claim 1	1
-----		

\* Special categories of cited documents: <sup>10</sup>

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

## IV. CERTIFICATION

Date of the Actual Completion of the International Search  
3 August 1989 (03.08.89)

Date of Mailing of this International Search Report  
28 August 1989 (28.08.89)

International Searching Authority  
EUROPEAN PATENT OFFICE

Signature of Authorized Officer

ANNEX TO THE INTERNATIONAL SEARCH REPORT  
ON INTERNATIONAL PATENT APPLICATION NO.

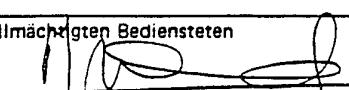
DE 8900172  
SA 27486

This annex lists the patent family members relating to the patent documents cited in the above-mentioned international search report.  
The members are as contained in the European Patent Office EDP file on 21/08/89  
The European Patent Office is in no way liable for these particulars which are merely given for the purpose of information.

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
WO-A- 8700293	15-01-87	FR-A, B	2584190	02-01-87
		EP-A-	0227767	08-07-87
US-A- 3636437	18-01-72	None		
FR-A- 2312777	24-12-76	None		

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen PCT/DE 89/00172

<b>I. KLASSEKTIFFIKATION DES ANMELDUNGSGEGENSTANDS</b> (bei mehreren Klassifikationssymbolen sind alle anzugeben) <sup>6</sup>		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
Int. Cl 4.	G 01 N 27/72	
<b>II. RECHERCHIERTE SACHGEBIETE</b>		
Recherchierter Mindestprüfstoff <sup>7</sup>		
Klassifikationssystem	Klassifikationssymbole	
Int. Cl. 4	G 01 N, G 01 R	
Recherchierte nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Sachgebiete fallen <sup>8</sup> ...		
<b>III. EINSCHLÄGIGE VERÖFFENTLICHUNGEN<sup>9</sup></b>		
Art*	Kennzeichnung der Veröffentlichung <sup>11</sup> , soweit erforderlich unter Angabe der maßgeblichen Teile <sup>12</sup>	Betr. Anspruch Nr. <sup>13</sup>
A	WO, A, 87/00293 (EC. NATIONALE SUPERIEURE DES ARTS ET METIERS) 15. Januar 1987 siehe Ansprüche 1,2,6,11,12 --	1,2,6,8
A	Industrial Laboratory, Band 43, Nr. 2, Februar 1977, Plenum Publishing Corp. (New York, US), M.A. Karamyshev et al.: "Hardness inspection of 38KhA-steel parts by the electromagnetic method with higher harmonics", Seiten 264-266 siehe das ganze Dokument --	1
A	US, A, 3636437 (SOULANT, JR et al.) 18. Januar 1972 siehe Titelseite --	1
A	FR, A, 2312777 (CITROEN) 24. Dezember 1976 siehe Anspruch 1 -----	1
<p>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen<sup>10</sup>:      "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist      "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist      "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)      "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht      "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</p> <p>"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist      "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden      "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist      "&amp;" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</p>		
<b>IV. BESCHEINIGUNG</b>		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 3. August 1989	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 28. 08. 89	
Internationale Recherchenbehörde Europäisches Patentamt	Unterschrift des bevoilsmächtigten Bediensteten M. VAN MOL 	

**ANHANG ZUM INTERNATIONALEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE INTERNATIONALE PATENTANMELDUNG NR.**

DE 8900172  
SA 27486

In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten internationalen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.

Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am 21/08/89.  
Diese Angaben dienen nur zur Orientierung und erfolgen ohne Gewähr.

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO-A- 8700293	15-01-87	FR-A, B 2584190 EP-A- 0227767	02-01-87 08-07-87
US-A- 3636437	18-01-72	Keine	
FR-A- 2312777	24-12-76	Keine	