

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

(19) Weltorganisation für geistiges
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum
25. September 2014 (25.09.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2014/146982 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:
G01N 27/80 (2006.01) *G01N 27/90* (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2014/055101
- (22) Internationales Anmeldedatum:
14. März 2014 (14.03.2014)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2013 004 990.3 19. März 2013 (19.03.2013) DE
- (71) Anmelder: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR
FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG
E.V. [DE/DE]; Hansastraße 27c, 80686 München (DE).
- (72) Erfinder: JONEIT, Dieter; Reinberger Weg 9a, 01768
Glashütte (DE).
- (74) Anwalt: PFENNING, MEINIG & PARTNER GBR; An
der Frauenkirche 20, 01067 Dresden (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,

BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP,
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,
ZM, ZW.

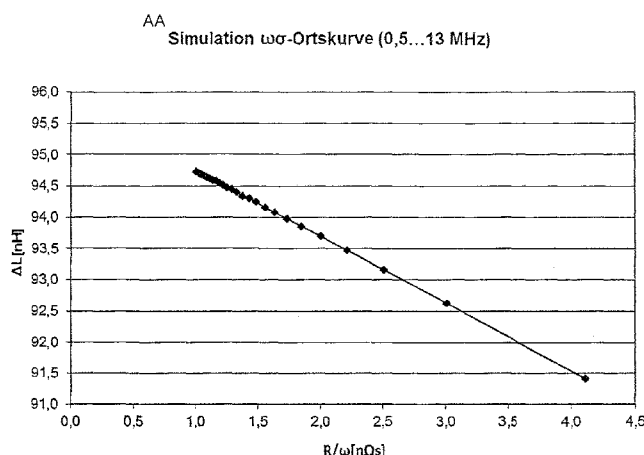
- (84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,
GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz
3)

(54) Title: METHOD FOR DETERMINING ELECTRICAL CONDUCTIVITIES IN SAMPLES BY MEANS OF AN EDDY
CURRENT SENSOR

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUR BESTIMMUNG ELEKTRISCHER LEITFÄHIGKEITEN AN PROBEN MITTELS
EINES WIRBELSTROMSENSORS



BB
Mit Simulation berechnete $\omega\sigma$ -Ortskurve über Cu 100% IACS und von dieser abgeleitet

Fig.1

AA... Simulation of $\omega\sigma$ locus curve (0.5 ... 13 MHz)

BB... $\omega\sigma$ locus curve calculated with simulation on Cu 100% IACS and derived
therefrom

(57) Abstract: An eddy current sensor is used to excite an electrical alternating field with a known measurement frequency f , $[\omega]$ inside a sample, and an electromagnetic alternating field is thereby formed, which is detected with a detector and the complex impedance $Z = R + jX$ is determined. This procedure is carried out at different measurement frequencies f , $[\omega]$ once in air and once with the same measurement frequencies f , $[\omega]$ on a calibration body having a known electrical conductivity $[\sigma]$. Then the differences between real and imaginary part $[\Delta R]$ and $[\Delta X]$ of the values in air and on the calibration body are divided by the respective measurement frequency f , $[\omega]$, each pair of values $[\Delta R]/[\omega]$ and $[\Delta X]/[\omega] = [\Delta L]$ being assigned a product $[\omega][\sigma]$ in accordance with the associated measurement frequency $[\omega]$ and the known conductivity $[\sigma]$ of the calibration body, and said value pairs are used to plot an $[\omega][\sigma]$ locus curve in a Nyquist diagram.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Mittels eines Wirbelstromsensors wird ein elektrisches Wechselfeld mit bekannter Messfrequenz f , $[\omega]$ innerhalb einer Probe angeregt und dadurch ein elektromagnetisches Wechselfeld ausgebildet, das mit einem Detektor detektiert und die komplexe Impedanz $Z = R + jX$ bestimmt wird. Dieser Vorgang wird mit verschiedenen Messfrequenzen f , $[\omega]$ einmal in Luft und einmal mit den gleichen Messfrequenzen f , $[\omega]$ an einem Kalibrierkörper mit bekannter elektrischer Leitfähigkeit $[\sigma]$ durchgeführt. Dann werden die Differenzen von Real- und Imaginärteil $[\Delta] [R]$ und $[\Delta] [X]$ der Werte in Luft und über dem Kalibrierkörper durch die jeweilige Messfrequenz f , $[\omega]$ dividiert, wobei jedem Wertepaar $[\Delta] [R] / [\omega]$ und $[\Delta] [X] / [\omega] = [\Delta] [L]$ entsprechend der zugehörigen Messfrequenz $[\omega]$ und der bekannten Leitfähigkeit $[\sigma]$ des Kalibrierkörpers ein Produkt $[\omega] [\sigma]$ zugeordnet wird und mit diesen Wertepaaren in einem Nyquist-Diagramm eine $[\omega] [\sigma]$ -Ortskurve dargestellt wird.

Verfahren zur Bestimmung elektrischer Leitfähigkeiten an Proben
mittels eines Wirbelstromsensors

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit an Proben mittels eines Wirbelstromsensors, der beispielsweise zur zerstörungsfreien Prüfung von Proben eingesetzt werden kann. Wirbelstromsensoren können für den Nachweis von Fehlern (z.B. Risse, Poren, Einschlüsse) in Proben, aber auch zur Bestimmung von Werkstoffparametern, wie die elektrische Leitfähigkeit σ oder beispielsweise auch die magnetische Permeabilität μ oder die Bestimmung von Dicken von Metall- oder anderen Schichten eingesetzt werden.

15 Dabei wird üblicherweise eine elektrische Spule eingesetzt, die mit einer elektrischen Wechselspannung ein entsprechendes elektrisches Feld generiert. Gelangt eine aus bzw. mit einem geeigneten Werkstoff gebildete Probe oder ein Kalibrierkörper in das elektrische Wechselfeld werden elektrische Wirbelströme in der Probe generiert, die wiederum zur Ausbildung eines

elektromagnetischen Wechselfeldes führen, das dem elektrischen Feld der elektrischen Spule entgegen gerichtet ist und dessen Parameter mit einer Empfangsspule oder einem anderen geeigneten Detektor detektiert werden können.

5

Bei Wirbelstromprüfungen wird der Einfluss eines elektrisch leitfähigen Werkstoffs einer Probe auf das magnetische Feld einer elektrischen Spule durch Bestimmung des Real- und des Imaginärteils R und X des veränderten Magnetfeldes ermittelt.

10

Dazu wird üblicherweise eine elektrische Wechselspannung mit bekannter Kreisfrequenz einmal über einen Sendeverstärker einem Wirbelstromsensor zugeführt. Sie dient gleichzeitig als Referenzsignal mit dessen Hilfe in einem Demodulator aus dem mit dem Wirbelstromsensor empfangenen Signal der Real- und der Imaginärteil R und X bestimmt werden können. Der jeweilige Real- und der jeweilige Imaginärteil R und X sind dabei nur der jeweilige Betrag der elektrischen Spannung und nicht die jeweilige Impedanz Z .

15

20

Bei Wirbelstromprüfungen wird der Einfluss eines Werkstoffs auf das magnetische Feld einer elektrischen Spule durch Bestimmung des Real- und der Imaginärteils der elektrischen Spule ermittelt. Diese Werte sind stark abhängig von der Frequenz und dem Abstand der elektrischen Spule zum zu untersuchenden Werkstoff oder einer Probe (Lift-Off). Ihre Zuordnung zu Werkstoffeigenschaften, wie z.B. der elektrischen Leitfähigkeit σ , erfolgt über Kalibrierungen, die nur in einem eng begrenzten Bereich der Frequenz, des Lift-Offs und der Werkstoffwerte gültig sind. Gleichzeitig besteht das Problem, dass für die Bestimmung der Kalibrierkurven meist nicht ausreichend genaue und abgestufte Werkstoffproben zur Verfügung stehen.

25

30

Man versucht daher bisher aus der begrenzten Anzahl von Kalibrierpunkten durch Nutzung geeigneter mathematischer Funktionen und mittels Interpolation die Messwerte zu bestimmen. Dies ist sehr aufwändig und mit einem erhöhten Fehler verbunden. Bei der Messung muss ein konstanter bekannter Abstand zwischen der Oberfläche einer Probe und Wirbelstromsensor bzw. zumindest seines Detektors eingehalten werden.

35

Es ist daher Aufgabe der Erfindung, Möglichkeiten zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeiten an Proben anzugeben, die eine einfache Durchführung und Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit mit erhöhter Genauigkeit ermöglichen.

5

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe mit dem Verfahren nach Anspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen können mit in untergeordneten Ansprüchen bezeichneten Merkmalen realisiert werden.

10

Zunächst soll die Erfindung sehr allgemein gehalten und prinzipiell sowie mit ihren Hintergründen erläutert werden.

15

Ein Wirbelstromsensor wird üblicherweise mit einer Frequenz f betrieben, die dabei die eigentliche Messfrequenz f darstellt. Da aber bei der Bestimmung von Impedanzen üblicherweise die Kreisfrequenz ω , die sich zu $\omega = 2\pi \cdot f$ ergibt, genutzt wird, soll nachfolgend generell die Kreisfrequenz ω als Messfrequenz bezeichnet werden.

20

Das generierte elektromagnetische Feld $F(A)$ eines Wirbelstromsensors kann Funktional mit der folgenden Gleichung

$$F(A) = \int_V \left(\frac{1}{2} \frac{B^2}{\mu} - SA + \frac{1}{2} j\omega\sigma A^2 \right) dV$$

25

beschrieben werden. Dabei sind A das Vektorpotential, S die Stromdichte in der Spule B die magnetische Flussdichte, μ die magnetische Permeabilität des Probenwerkstoffs, σ die elektrische Leitfähigkeit des Werkstoffs, ω die Kreisfrequenz und V das Volumen, über das integriert wird.

30

Der erste Term beschreibt dabei das magnetische Feld, der zweite Term das anregende elektrische, also das durch den elektrischen Spulenstrom generierte elektromagnetische Feld und der dritte Term das Wirbelstromfeld im Werkstoff einer Probe.

35

Bei genauerer Betrachtung dieses Ausdrucks ist erkennbar, dass die Werk-

5 stoffeigenschaften nicht in allen drei Termen enthalten sind. Der erste Term wird nur durch die Permeabilität μ beeinflusst. Bei nichtmagnetischem Werkstoff ist die Permeabilität μ näherungsweise so groß, wie in Luft, also 1,0. Der zweite Term ist ganz unabhängig vom Werkstoff und nur im dritten Term ist die elektrische Leitfähigkeit σ als Produkt mit der Kreisfrequenz ω enthalten.

Bekannt ist, dass der Imaginärteil X geteilt durch die Kreisfrequenz ω die Induktivität L ergibt.

10 Berechnet man mittels Simulation die Impedanz Z der elektrischen Spule für verschiedene elektrische Leitfähigkeiten σ und Kreisfrequenzen ω , kann man erkennen, dass bei gleichen Produktwerten $\omega * \sigma$ die Induktivität L und der Phasenwinkel φ zwischen Realteil R und Imaginärteil X identische Werte annehmen. Dividiert man den bei der Simulation erhaltenen Realteil R ebenfalls
15 durch die jeweilige Kreisfrequenz ω , ist auch dieser Wert identisch. Das zeigen die Tabellen 1 bis 3.

Tabelle 1 enthält die mit einem Simulationsprogramm für eine Kreisfrequenz ω von 1MHz und Leitfähigkeiten σ im Bereich von 1,6 bis $1,6 \cdot 10^9$ S/m berechneten Impedanzwerte.
20

Tabelle 2 gibt die die Impedanzwerte für die 4fache Kreisfrequenz ω , also 4MHz, bei gleichzeitiger Viertelung der elektrischen Leitfähigkeiten σ an. In Tabelle 3 ist das gleiche für eine zehnfache Kreisfrequenz ω und ein Zehntel der elektrischen Leitfähigkeit σ gegenüber Tabelle 1, also hier im Bereich 1,6 bis $1,6 \cdot 10^8$ S/m angegeben. Dies zeigt, dass das Produkt $\omega * \sigma$ in gleichen Tabellenzeilen immer gleich groß ist.
25

(Der Wert ΔL ist die Differenz der Induktivität L in Luft zur Induktivität über dem Werkstoff, also
30

$$\Delta L = L_{\text{in Luft}} - L_{\text{über Werkstoff}})$$

35

Tabelle 1

1 MHz							
σ	R	X	Z	ϕ	L	R/ ω	ΔL
Luft		3,0418	3,0418		484,12		
1,6E+01	0,00022	3,0418	3,0418	89,996	484,12	0,035247	0,00
1,6E+02	0,00197	3,0417	3,0417	89,963	484,10	0,314293	0,02
1,6E+03	0,01654	3,0379	3,0380	89,698	483,50	2,632182	0,62
1,6E+04	0,08694	2,9873	2,9885	88,333	475,44	13,837180	8,68
<u>1,6E+05</u>	<u>0,15915</u>	<u>2,7664</u>	<u>2,7710</u>	<u>86,708</u>	<u>440,29</u>	<u>25,330256</u>	<u>43,83</u>
1,6E+06	0,09342	2,5581	2,6698	87,908	407,14	14,869330	76,98
1,6E+07	0,03526	2,4777	2,4779	89,185	394,33	5,612128	89,79
1,6E+08	0,01176	2,4517	2,4517	89,725	390,19	1,872195	93,93
1,6E+09	0,00378	2,4434	2,4434	89,911	388,88	0,601958	95,24

Tabelle 2

5

4 MHz							
σ	R	X	Z	ϕ	L	R/ ω	ΔL
Luft		12,1670	12,1670		484,12		
4,0E+00	0,00089	12,1670	12,1670	89,996	484,12	0,035238	0,00
4,0E+01	0,00790	12,1670	12,1670	89,963	484,10	0,314293	0,02
4,0E+02	0,06615	12,1520	12,1520	89,688	483,50	2,632142	0,62
4,0E+03	0,34776	11,9490	11,9540	88,333	475,44	13,837339	8,68
<u>4,0E+04</u>	<u>0,63659</u>	<u>11,0660</u>	<u>11,0840</u>	<u>86,708</u>	<u>440,29</u>	<u>25,329858</u>	<u>43,83</u>
4,0E+05	0,37369	10,2320	10,2390	87,908	407,13	14,869091	76,99
4,0E+06	0,14104	9,9106	9,9116	89,185	394,33	5,611969	89,79
4,0E+07	0,04705	9,8066	9,8068	69,725	390,19	1,872115	93,93
4,0E+08	0,01513	9,7737	9,7737	89,911	388,88	0,601942	95,24

Tabelle 3

10 MHz							
σ	R	X	Z	ϕ	L	R/ ω	ΔL
Luft		30,4180	30,4180		484,12		
1,6E+00	0,00221	30,4180	30,4180	89,936	484,12	0,035241	0,00

1,6E+01	0,01975	30,4170	30,4170	89,963	484,10	0,314293	0,02
1,6E+02	0,16538	30,3790	30,3800	89,688	483,50	2,632182	0,62
1,6E+03	0,86941	29,8730	29,8860	88,333	475,44	13,837498	8,68
<u>1,6E+04</u>	<u>1,59150</u>	<u>27,6640</u>	<u>27,7100</u>	<u>86,708</u>	<u>440,29</u>	<u>25,330256</u>	<u>43,83</u>
1,6E+05	0,93424	25,5810	25,5980	87,908	407,14	14,869330	76,98
1,6E+06	0,35261	24,7770	24,7790	89,185	394,33	5,612128	89,79
1,6E+07	0,11763	24,5170	24,5170	89,725	390,19	1,872195	93,93
1,6E+08	0,03782	24,4340	24,4340	89,911	388,88	0,601958	95,24

Wie sofort erkennbar ist, sind die Werte für das Produkt der Kreisfrequenz und der elektrischen Leitfähigkeit $\omega * \sigma$ in diesen Zeilen ebenfalls gleich groß. Daraus ergibt sich, dass die elektrische Leitfähigkeit σ und die Kreisfrequenz ω einen gleichwertigen Einfluss auf den Real- und Imaginäranteil R und X haben, d.h. dass bei einer Kalibrierung die schwierige und aufwändige Variation der elektrischen Leitfähigkeit σ durch eine im Vergleich dazu einfache Variation der Kreisfrequenz ω ersetzt werden kann.

Bei Annäherung an den Werkstoff einer Probe sinkt die Induktivität L der elektrischen Spule. Das erklärt sich dadurch, dass das im Werkstoff der Probe generierte Wirbelstromfeld dem anregenden Feld der elektrischen Spule entgegen gerichtet ist. Die Induktivität L ist ein Maß für die Energie des magnetischen Feldes und kann aus der magnetischen Flussdichte B (siehe Funktional) berechnet werden. Daraus ergibt sich, dass die Differenz der magnetischen Feldstärke H ohne und mit Werkstoffeinfluss gleich der magnetischen Feldstärke H des Wirbelstromfeldes sein muss ($B_{\text{Wirbelstrom}} = B_{\text{in Luft}} - B_{\text{über Werkstoff}}$).

Ebenso ist die Vergrößerung des Realteils R bei Annäherung an den Werkstoff einer Probe ein Maß für die elektrische Feldstärke E des Wirbelstromfeldes.

Die Division des Realteils R durch die Kreisfrequenz ω erfordert besondere Beachtung. In der Simulation ist der Realteil R einer elektrischen Spule in Luft gleich Null, denn sie wird dabei als ideale elektrische Spule betrachtet. Hier kann man den Wert sofort durch die Kreisfrequenz ω dividieren. In der Praxis setzt sich der Realteil R aus verschiedenen Anteilen zusammen. Der ohmsche Widerstand der Windungen der elektrischen Spule ist eine Konstante und seine Erhöhung durch den Skineffekt ist nicht linear von der Kreisfrequenz ω ab-

hängig. Diese Werte durch die Kreisfrequenz ω zu dividieren wäre falsch. Lediglich der Anteil, der durch die Wirkung des im Werkstoff einer Probe generierten Wirbelstromfeldes hervorgerufen wird, ergibt nach der Division durch die Kreisfrequenz ω sinnvolle Werte. Dieser Anteil kann durch Bildung der Differenz zum Realteil R der elektrischen Spule in der Luft bei gleicher Kreisfrequenz ω bestimmt werden.

Für die Messung wird eine Ortskurve des Produkts der Kreisfrequenz und der elektrischen Leitfähigkeit benötigt, die aus der Differenz der Spulenimpedanz L in Luft und zu der über einem Kalibrierkörper mit definierter elektrischer Leitfähigkeit σ ermittelt wird. Dies geht aus dem in Figur 1 gezeigten Diagramm hervor.

In der Abszisse ist die Differenz der Realteile (geteilt durch die Kreisfrequenz ω), und in der Ordinate ist die Differenz der Induktivitäten ΔL angetragen.

Eine Kalibrierung nach dem erfindungsgemäßen Verfahren hat folgenden Ablauf:

Schritt 1: Es wird die Impedanz Z der elektrischen Spule in Luft bei verschiedenen Kreisfrequenzen ω gemessen.

Schritt 2: Es wird die Impedanz Z der elektrischen Spule bei den gleichen Kreisfrequenzen ω über einem Kalibrierkörper mit definierter elektrischer Leitfähigkeit σ gemessen.

Schritt 3: Die Differenzen von Real- und Imaginärteil ΔR und ΔX zwischen den Werten in Luft und über dem Werkstoff werden durch die jeweilige Kreisfrequenz ω dividiert und ergeben die $\omega\sigma$ -Ortskurve.

Schritt 4: Der Messbereich ergibt sich aus der gewünschten Messfrequenz ω und dem Bereich der zu messenden elektrischen Leitfähigkeit σ . Sollen z.B. elektrische Leitfähigkeiten σ im Bereich zwischen 25 S/m bis 100 S/m bei einer Kreisfrequenz ω von 1 MHz gemessen werden und steht ein Kalibrierkörper mit einer elektrischen Leitfähigkeit σ von 50 S/m zur Verfügung, muss die Kreisfrequenz ω von 500 kHz (für 100 S/m) bis 2 MHz (für 25 S/m) variiert

werden. Mit dieser daraus erhaltenen Ortskurve können aber z.B. ebenso eine elektrische Leitfähigkeit σ von 200 S/m mit 250kHz oder 12,5 S/m mit 4 MHz gemessen werden. Das Produkt von elektrischer Leitfähigkeit σ und Kreisfrequenz ω muss immer innerhalb der Kalibrierengrenzen $\omega * \sigma$ liegen.

5

Bei der Messung über einem unbekannten Werkstoff werden wieder die durch die Kreisfrequenz ω geteilten Differenzen von Real- und Imaginärteil $\Delta R/\omega$ und $\Delta X/\omega = \Delta L$ bestimmt. Dazu ergibt sich ein Punkt auf der $\omega\sigma$ -Ortskurve. Da die jeweilige Messfrequenz ω bekannt ist, kann nun die zugehörige elektrische Leitfähigkeit σ bestimmt werden.

10

Berechnet man mittels Simulation die $\omega\sigma$ -Ortskurven bei verschiedenen Abständen der elektrischen Spule zur Oberfläche eines Werkstoffs (Probe), dann liegen gleiche $\omega\sigma$ -Punkte näherungsweise auf Geraden, die in erster Näherung dem Phasenwinkel φ entsprechen.

15

Daraus kann man auf eine Abstandstoleranz (Lift-Off-Toleranz) der Werte schließen.

20

Das ist durchaus logisch: Entfernt man sich mit der elektrischen Spule vom Werkstoff (Oberfläche einer Probe), verringert sich die magnetische Feldstärke H im Werkstoff, was aber ebenso zu einer Verringerung der magnetischen Feldstärke H des im Werkstoff der Probe generierten Wirbelstromfeldes führt. Das Verhältnis von anregendem Feld zum Wirbelstromfeld wird durch den Phasenwinkel φ ausgedrückt und bleibt etwa gleich. Lediglich die Rückwirkung auf die elektrische Spule ist geringer und damit sinkt die Genauigkeit, mit der dieser Phasenwinkel φ bestimmt werden kann.

25

Man kann deshalb aus der Ortskurve auch eine Funktion $\omega\sigma = f(\varphi)$ bestimmen. Aus den gemessenen Differenzwerten $\Delta R/\omega$ und $\Delta X/\omega = \Delta L$ ermittelt man den Phasenwinkel φ , mit dem Phasenwinkel φ über diese Funktion den Wert $\omega\sigma$ und daraus mittels der Messfrequenz die Leitfähigkeit σ .

30

Auch aus den Differenzwerte $\Delta R/\omega$ und ΔL können Funktionen $\omega\sigma = f(\Delta R/\omega)$ bzw. $\omega\sigma = f(\Delta L)$ bestimmt und darüber die Leitfähigkeit σ ermittelt werden.

35

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird mittels eines Wirbelstromsensors ein elektrisches Wechselfeld durch eine an eine Sendespule angelegte elektrische Wechselspannung mit bekannter Messfrequenz ω innerhalb einer Probe angeregt und dadurch ein elektromagnetisches Wechselfeld, das dem elektrischen Wechselfeld entgegen gerichtet ist, ausgebildet, das mit einer Empfangsspule oder einem geeigneten Detektor detektiert und die komplexe Impedanz $Z = R + jX$ bestimmt wird,

wobei dieser Vorgang mit verschiedenen Messfrequenzen ω einmal in Luft und einmal mit den gleichen Messfrequenzen an einem Kalibrierkörper mit bekannter elektrischer Leitfähigkeit σ durchgeführt wird.

Dann kann in drei nachfolgend genannten Alternativen die elektrische Leitfähigkeit σ einer Probe bestimmt werden.

Bei der ersten Alternative werden die Differenzen von Real- und Imaginärteil ΔR und ΔX der gemessenen Werte in Luft und über dem Kalibrierkörper durch die jeweilige Messfrequenz ω dividiert. Jedem Wertepaar $\Delta R/\omega$ und $\Delta X/\omega = \Delta L$ wird entsprechend der zugehörigen Messfrequenz ω und der bekannten Leitfähigkeit σ des Kalibrierkörpers ein Produkt $\omega\sigma$ zugeordnet und mit diesen Wertepaaren in einem Nyquist-Diagramm eine $\omega\sigma$ -Ortskurve dargestellt. Mit einer gemessenen Impedanz Z wird bei einer Messfrequenz ω an einer Probe mit unbekannter Leitfähigkeit σ ein Wertepaar $\Delta R/\omega$ und $\Delta X/\omega$ der Werte in Luft zu denen gemessenen Werten über der Probe wird diesem Wertepaar $\Delta R/\omega$ und $\Delta X/\omega = \Delta L$ ein Punkt aus der $\omega\sigma$ -Orstkurve und damit einen $\omega\sigma$ -Wert zugeordnet. Mit der bekannten Messfrequenz ω wird daraus die unbekannte elektrische Leitfähigkeit σ des Probenwerkstoffs bestimmt.

Bei der zweiten erfindungsgemäßen Alternative wird bei der Kalibrierung an einem Kalibrierkörper und Messung an einer Probe der Phasenwinkel $\varphi = \tan(\Delta X / \Delta R)$ berechnet und anstelle der $\omega\sigma$ -Ortskurve die Funktion des Produktes $\omega\sigma = f(\varphi)$ bestimmt, wobei beim Messen einer unbekannten Leitfähigkeit σ des Probenwerkstoffs mit dieser Funktion dem Phasenwinkel φ ein Produkt $\omega\sigma$ zugeordnet und so mit der bekannten Messfrequenz ω die elektrische Leitfähigkeit σ der Probe bestimmt wird.

Bei der dritten erfindungsgemäßen Alternative wird bei der Kalibrierung an einem Kalibrierkörper und Messung an einer Probe der Quotient $q = \Delta X / \Delta R$ oder sein Kehrwert $1/q$ berechnet. Anstelle der $\omega\sigma$ -Ortskurve wird die Funktion des Produktes $\omega\sigma = f(q)$ oder $\omega\sigma = f(1/q)$ bestimmt und beim Messen einer unbekannten Leitfähigkeit σ einer Probe mit dieser Funktion $f(q)$ oder $f(1/q)$ dem Quotient q oder $1/q$ wird ein Produkt $\omega\sigma$ zugeordnet und damit die elektrische Leitfähigkeit σ des Probenwerkstoffs bestimmt.

Die jeweilige Messfrequenz ω sollte in Abhängigkeit vom jeweiligen Messbereich der Leitfähigkeit σ so gewählt werden, dass das Produkt $\omega\sigma$ innerhalb der Grenzen der zuvor bestimmten $\omega\sigma$ -Ortskurve liegt. Als Messfrequenz sollte bevorzugt die Kreisfrequenz gewählt werden.

Bei der Kalibrierung an einem Kalibrierkörper an Luft sollten alle Messfrequenzen berücksichtigt werden, die später bei der Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit σ an Proben berücksichtigt werden.

Bei der Erfindung kann auch so vorgegangen werden, dass bei der Kalibrierung an einem Kalibrierkörper und Messung an einer Probe nur die Differenz des Realteils $\Delta R / \omega$ bestimmt wird. Anstelle der $\omega\sigma$ -Ortskurve wird die Funktion des Produktes $\omega\sigma = f(\Delta R / \omega)$ bestimmt; wobei beim Messen einer unbekannten Leitfähigkeit σ einer Probe mit dieser Funktion der Differenz $\Delta R / \omega$ ein Produkt $\omega\sigma$ zugeordnet und damit die elektrische Leitfähigkeit σ der Probe bestimmt wird.

Es ist aber auch möglich, bei der Kalibrierung an einem Kalibrierkörper und Messung an einer Probe die Differenz des Imaginärteils $\Delta X / \omega = \Delta L$ zu bestimmen. Anstelle der $\omega\sigma$ -Ortskurve wird dann die Funktion des Produktes $\omega\sigma = f(\Delta L)$ bestimmt, wobei beim Messen einer unbekannten Leitfähigkeit σ einer Probe mit dieser Funktion der Differenz ΔL ein Produkt $\omega\sigma$ zugeordnet und so die elektrischen Leitfähigkeit σ der Probe bestimmt werden kann.

Die Auswahl der Auswertung mit den vorab genannten Alternativen und Möglichkeiten, nämlich ob die $\omega\sigma$ -Ortskurve oder eine der abgeleiteten Funktionen für die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit σ genutzt wird, kann in Abhängigkeit der jeweiligen Messaufgabe vorgenommen werden. Dabei kann

beachtet werden, dass wenn im gewünschten Bereich die $\omega\sigma$ -Ortskurve sehr steil ansteigt oder abfällt, die Messwertschwankungen größer sind. Liefert eine der abgeleiteten Funktionen in diesem Bereich einen flacher ansteigenden bzw. abfallenden Kurvenverlauf sollte man sich wegen der kleineren Messwertschwankungen dafür entscheiden.

In der nachfolgenden Tabelle 4 ist anhand von Simulationsrechnungen, bei der eine ideale Spule für einen Wirbelstromsensor und eine Probe aus Kupfer berücksichtigt sind, Messwerte und berechnete Werte angegeben. Der Realteil in Luft ist Null und aus dem Imaginärteil kann man „L in Luft“ berechnen. Das ΔL ist die Differenz L – „L in Luft“. R – „R in Luft“ ist bei der Simulation identisch mit „Real“.

Die Spalten Frequenz, Real(-teil) und Imag(-inärteil) sind Werte, die aus der Simulation erhalten worden sind. L und R/ ω sind die durch ω geteilten Werte.

Aus den Spalten, in denen die Werte unterstrichen sind, ergibt sich die $\omega\sigma$ -Ortskurve: R/ ω für die Abszisse, ΔL für die Ordinate. Für jeden Punkt der $\omega\sigma$ -Ortskurve ist ein $\omega\sigma$ -Wert zugeordnet, so dass bei bekannter Messfrequenz ω ein Wert für die entsprechende elektrische Leitfähigkeit σ einfach bestimmt werden kann.

In Spalten, in denen die Werte fett gedruckt sind, sowie jeweils die Spalte ΔL oder R/ ω ergeben zusammen mit der $\omega\sigma$ -Spalte, die abgeleiteten Funktionen $\omega\sigma=f(\Phi)$, $\omega\sigma=f(\Delta L/(R/\omega))$, $\omega\sigma=f(R/\omega)$ und $\omega\sigma=f(\Delta L)$.

„Real“ und „Imag“ sind die Werte für Luft, „Cu Real“ und „Cu Imag“ sind die zugehörigen Werte für eine Probe aus Kupfer:

$$\Delta L = (\text{Imag}) - \text{Cu Imag} / \omega\sigma$$

$$R/\omega = (\text{Cu Real} - \text{Real}) / \omega\sigma$$

Daraus ergibt sich aus den Spalten, in denen die Werte unterstrichen sind, in äquivalenter Weise die bestimmte $\omega\sigma$ -Ortskurve.

Tabelle 4

P9x5
Kupfer
L in Luft

58 *10e6 S/m
484,13 nH

	Frequenz	Real[Ω]	Imag[Ω]	L [nH]	$R/\omega \ln Qs$	$\frac{AL}{nH}$	$\frac{\omega \sigma}{2\pi}$	φ	$\varphi [^\circ]$	$\Delta L/(R/\omega)$
5	0	0,013215	1,2338	392,74	<u>4,207</u>	<u>91,388</u>	<u>29</u>	1,52480	87,36710	21,724888
	1	0,019005	2,4594	391,44	<u>3,025</u>	<u>92,693</u>	<u>58</u>	1,53818	88,13354	30,6439774
	2	0,023449	3,6836	390,85	<u>2,488</u>	<u>93,276</u>	<u>87</u>	1,54413	88,47464	37,4891545
	3	0,027196	4,9072	390,51	<u>2,164</u>	<u>93,616</u>	<u>116</u>	1,54768	88,67826	43,2555368
	4	0,030498	6,1303	390,28	<u>1,942</u>	<u>93,851</u>	<u>145</u>	1,55011	88,81744	48,336677
	5	0,033482	7,3531	390,11	<u>1,776</u>	<u>94,024</u>	<u>174</u>	1,55191	88,92031	52,9319148
	6	0,036227	8,5756	389,97	<u>1,647</u>	<u>94,162</u>	<u>203</u>	1,55330	89,00032	57,157942
	7	0,038782	9,798	389,86	<u>1,543</u>	<u>94,268</u>	<u>232</u>	1,55443	89,06480	61,0890403
10	8	0,041182	11,02	389,76	<u>1,457</u>	<u>94,366</u>	<u>261</u>	1,55536	89,11832	64,7867893
	9	0,043452	12,242	389,69	<u>1,383</u>	<u>94,444</u>	<u>290</u>	1,55615	89,16357	68,2809525
	10	0,04561	13,464	389,62	<u>1,320</u>	<u>94,507</u>	<u>319</u>	1,55683	89,20250	71,6035594
	11	0,047673	14,686	389,57	<u>1,265</u>	<u>94,560</u>	<u>348</u>	1,55742	89,23643	74,7746678
	12	0,049651	15,908	389,52	<u>1,216</u>	<u>94,605</u>	<u>377</u>	1,55795	89,26637	77,8156963
	13	0,051555	17,13	389,49	<u>1,172</u>	<u>94,644</u>	<u>406</u>	1,55841	89,29303	80,7394342
	14	0,053392	18,351	389,43	<u>1,133</u>	<u>94,698</u>	<u>435</u>	1,55883	89,31713	83,5783624
15	15	0,055168	19,573	389,40	<u>1,098</u>	<u>94,726</u>	<u>464</u>	1,55921	89,33879	86,305654
	16	0,05689	20,794	389,36	<u>1,065</u>	<u>94,769</u>	<u>493</u>	1,55956	89,35863	88,9647515
	17	0,058562	22,016	389,34	<u>1,036</u>	<u>94,790</u>	<u>522</u>	1,55987	89,37667	91,5286211
	18	0,060188	23,237	389,30	<u>1,008</u>	<u>94,826</u>	<u>551</u>	1,56016	89,39338	94,0385709
	19	0,061772	24,459	389,29	<u>0,983</u>	<u>94,841</u>	<u>580</u>	1,56043	89,40871	96,4658405
	20	0,063317	25,68	389,26	<u>0,960</u>	<u>94,871</u>	<u>609</u>	1,56068	89,42302	98,8483708
	21	0,064825	26,901	389,23	<u>0,938</u>	<u>94,898</u>	<u>638</u>	1,56091	89,43635	101,175113
	22	0,066299	28,123	389,22	<u>0,918</u>	<u>94,909</u>	<u>667</u>	1,56113	89,44872	103,434005
	23	0,067742	29,344	389,20	<u>0,898</u>	<u>94,932</u>	<u>696</u>	1,56133	89,46038	105,657723
	24	0,069153	30,565	389,18	<u>0,881</u>	<u>94,953</u>	<u>725</u>	1,56152	89,47134	107,838559
20	25	0,07054	31,786	389,16	<u>0,864</u>	<u>94,972</u>	<u>754</u>	1,56170	89,48164	109,969581

In den Figuren 1 bis 5 sind mit den Werten aus Tabelle 4 erstellte Diagramme gezeigt.

5

Figur 1 ist dabei ein Diagramm der Beziehung ΔL zu R/ω ,

Figur 2 ist dabei ein Diagramm der Beziehung $\omega\sigma$ zu φ ,

10

Figur 3 ist ein Diagramm der Beziehung $\omega\sigma$ zu $\Delta L/(R/\omega)$,

Figur 4 ist ein Diagramm der Beziehung $\omega\sigma$ zu ΔL und

Figur 5 ist ein Diagramm der Beziehung $\omega\sigma$ zu R/ω .

15

Patentansprüche

5

1. Verfahren zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit an Proben mittels eines Wirbelstromsensors, bei dem ein elektrisches Wechsel-
- feld durch eine an eine Sendespule angelegte elektrische Wechsel-
- spannung mit bekannter Messfrequenz ω innerhalb einer Probe ange-
- regt und dadurch ein elektromagnetisches Wechselfeld, das dem
- elektrischen Wechselfeld entgegen gerichtet ist, ausgebildet wird, das
- mit einer Empfangsspule oder einem geeigneten Detektor detektiert
- und die komplexe Impedanz $Z = R + jX$ bestimmt wird,

10

15

wobei dieser Vorgang mit verschiedenen Messfrequenzen ω einmal in Luft und einmal mit den gleichen Messfrequenzen ω an einem Kalibrierkörper mit bekannter elektrischer Leitfähigkeit σ durchgeführt wird;

20

woraufhin die Differenzen von Real- und Imaginärteil ΔR und ΔX der gemessenen Werte in Luft und über dem Kalibrierkörper durch die jeweilige Messfrequenz ω dividiert werden; wobei jedem Wertepaar $\Delta R/\omega$ und $\Delta X/\omega = \Delta L$ entsprechend der zugehörigen Messfrequenz ω und der bekannten Leitfähigkeit σ des Kalibrierkörpers ein Produkt $\omega\sigma$ zugeordnet wird und

25

mit diesen Wertepaaren in einem Nyquist-Diagramm eine $\omega\sigma$ -Ortskurve dargestellt wird; wobei

30

mit einer gemessenen Impedanz Z bei einer Messfrequenz ω einer Probe mit unbekannter Leitfähigkeit σ ein Wertepaar $\Delta R/\omega$ und $\Delta X/\omega$ der Werte in Luft zu den gemessenen Werten über der Probe gebildet wird und diesem Wertepaar $\Delta R/\omega$ und $\Delta X/\omega = \Delta L$ ein Punkt aus der $\omega\sigma$ -Orstkurve und damit einen $\omega\sigma$ -Wert zugeordnet wird und mit der bekannten Messfrequenz ω wird daraus die unbekannte elektrische Leitfähigkeit σ des Probenwerkstoffs bestimmt

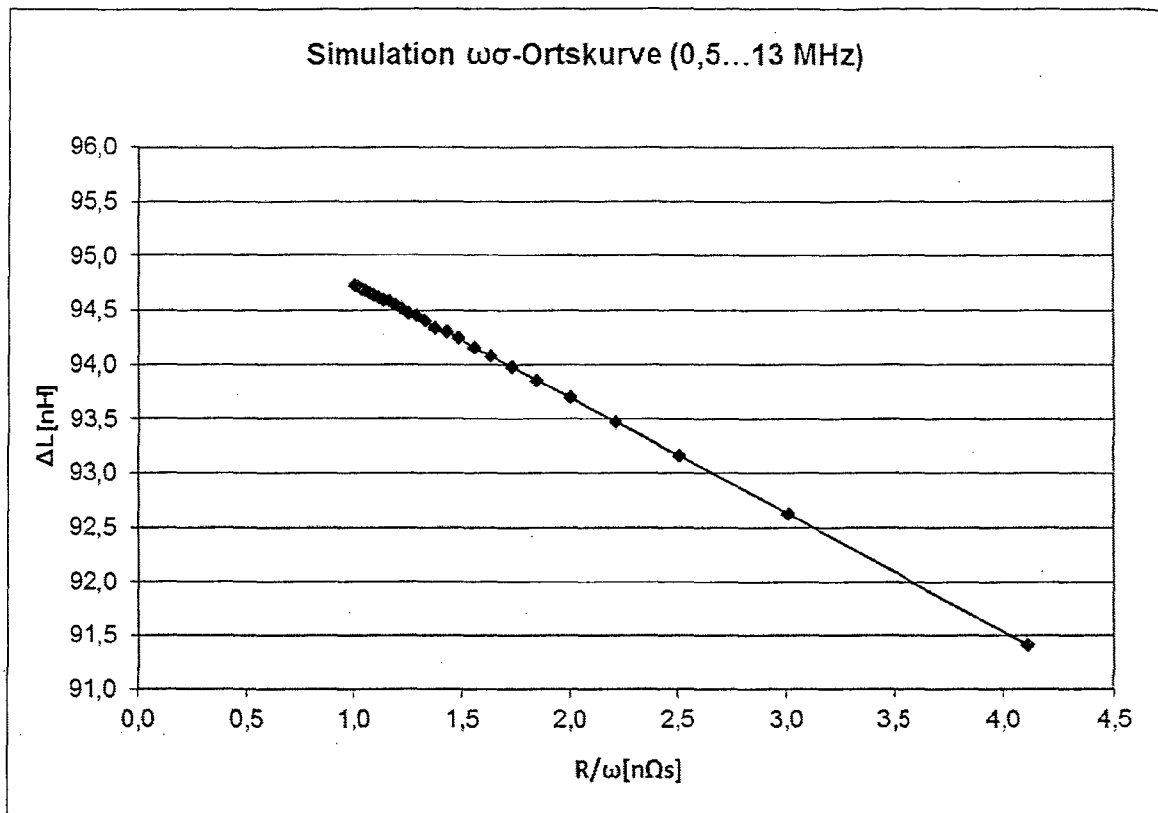
35

oder

- 5 bei der Kalibrierung an einem Kalibrierkörper und Messung an einer Probe der Phasenwinkel $\varphi = \tan(\Delta X / \Delta R)$ berechnet wird und anstelle der $\omega\sigma$ -Ortskurve die Funktion des Produktes $\omega\sigma = f(\varphi)$ bestimmt wird, wobei beim Messen einer unbekannten Leitfähigkeit σ des Probenwerkstoffs mit dieser Funktion dem Phasenwinkel φ ein Produkt $\omega\sigma$ zugeordnet und so mit der bekannten Messfrequenz ω die elektrische Leitfähigkeit σ der Probe bestimmt wird
- oder
- 10 bei der Kalibrierung an einem Kalibrierkörper und Messung an einer Probe der Quotient $q = \Delta X / \Delta R$ oder sein Kehrwert $1/q$ berechnet wird und anstelle der $\omega\sigma$ -Ortskurve die Funktion des Produktes $\omega\sigma = f(q)$ oder $\omega\sigma = f(1/q)$ bestimmt wird und beim Messen einer unbekannten Leitfähigkeit σ einer Probe mit dieser Funktion $f(q)$ oder $f(1/q)$ dem Quotient q oder $1/q$ ein Produkt $\omega\sigma$ zugeordnet und damit die elektrische Leitfähigkeit σ des Probenwerkstoffs bestimmt wird.
- 15
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweilige Messfrequenz ω in Abhängigkeit vom jeweiligen Messbereich der Leitfähigkeit σ so gewählt wird, dass das Produkt $\omega\sigma$ innerhalb der Grenzen der zuvor bestimmten $\omega\sigma$ -Ortskurve liegt.
- 20
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Kalibrierung an einem Kalibrierkörper und Messung an einer Probe nur die Differenz des Realteils $\Delta R / \omega$ bestimmt wird und anstelle der $\omega\sigma$ -Ortskurve die Funktion des Produktes $\omega\sigma = f(\Delta R / \omega)$ bestimmt wird; wobei beim Messen einer unbekannten Leitfähigkeit σ einer Probe mit dieser Funktion der Differenz $\Delta R / \omega$ ein Produkt $\omega\sigma$ zugeordnet und damit die elektrische Leitfähigkeit σ der Probe bestimmt wird.
- 25
4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Kalibrierung an einem Kalibrierkörper und Messung an einer Probe die Differenz des Imaginärteils $\Delta X / \omega = \Delta L$ bestimmt wird und anstelle der $\omega\sigma$ -Ortskurve die Funktion des Produktes $\omega\sigma = f(\Delta L)$ bestimmt wird, wobei beim Messen einer unbekannten Leitfähigkeit σ einer Probe mit dieser Funktion der Differenz ΔL ein
- 30

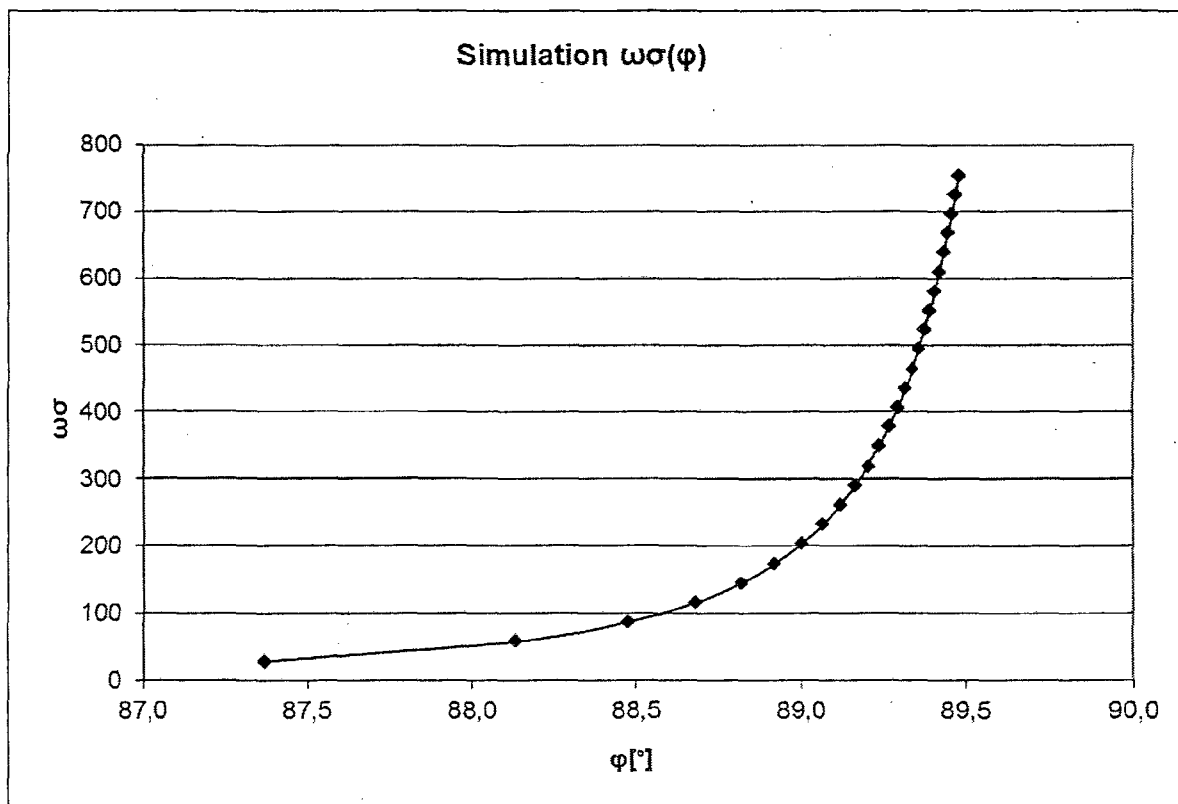
Produkt $\omega\sigma$ zugeordnet und so die elektrischen Leitfähigkeit σ der Probe bestimmt wird.

- 5
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Berechnung der Werte der Ortskurve und der abgeleiteten Funktionen statt der Kreisfrequenz $\omega = 2\pi f$ die Frequenz f genutzt wird, also anstelle $\omega\sigma$ mit $f\sigma$ gearbeitet wird.
- 10
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kalibrierung an einem Kalibrierkörper mit bekannter elektrischer Leitfähigkeit σ an Luft für alle Messfrequenzen f , ω durchgeführt wird.



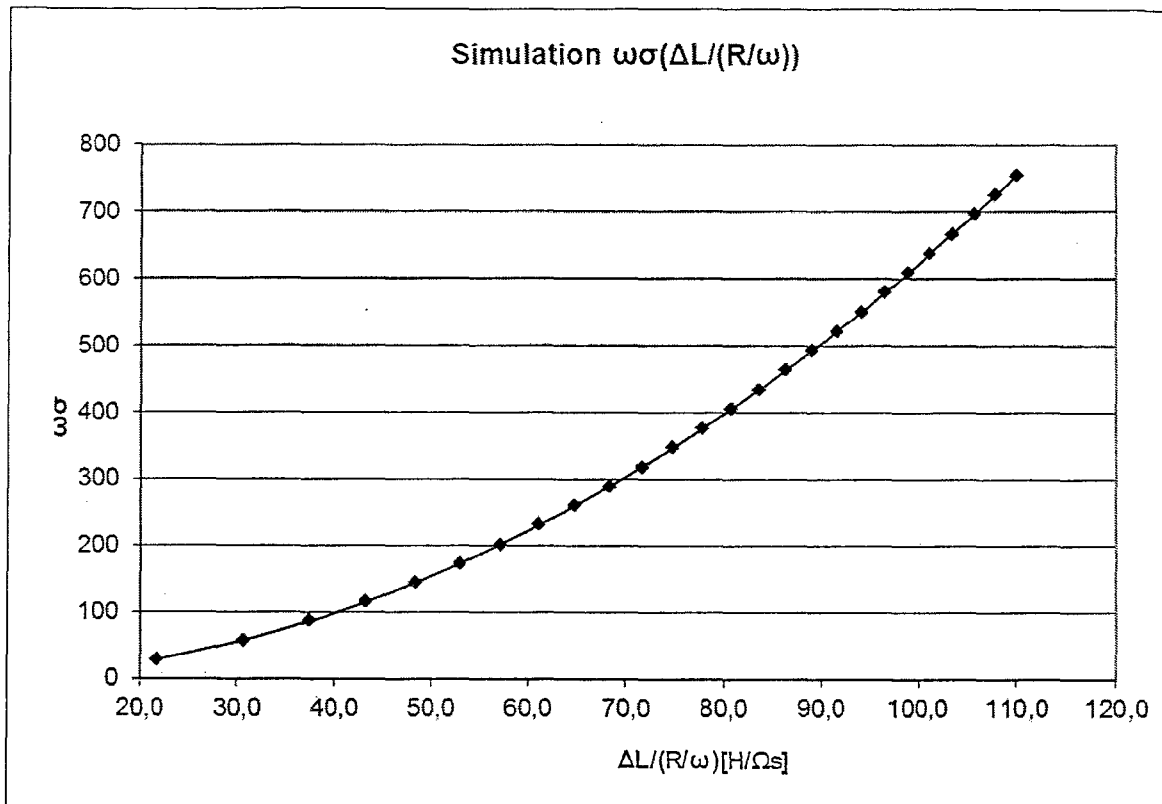
Mit Simulation berechnete $\omega\sigma$ -Ortskurve über Cu 100% IACS und von dieser abgeleitet

Fig.1



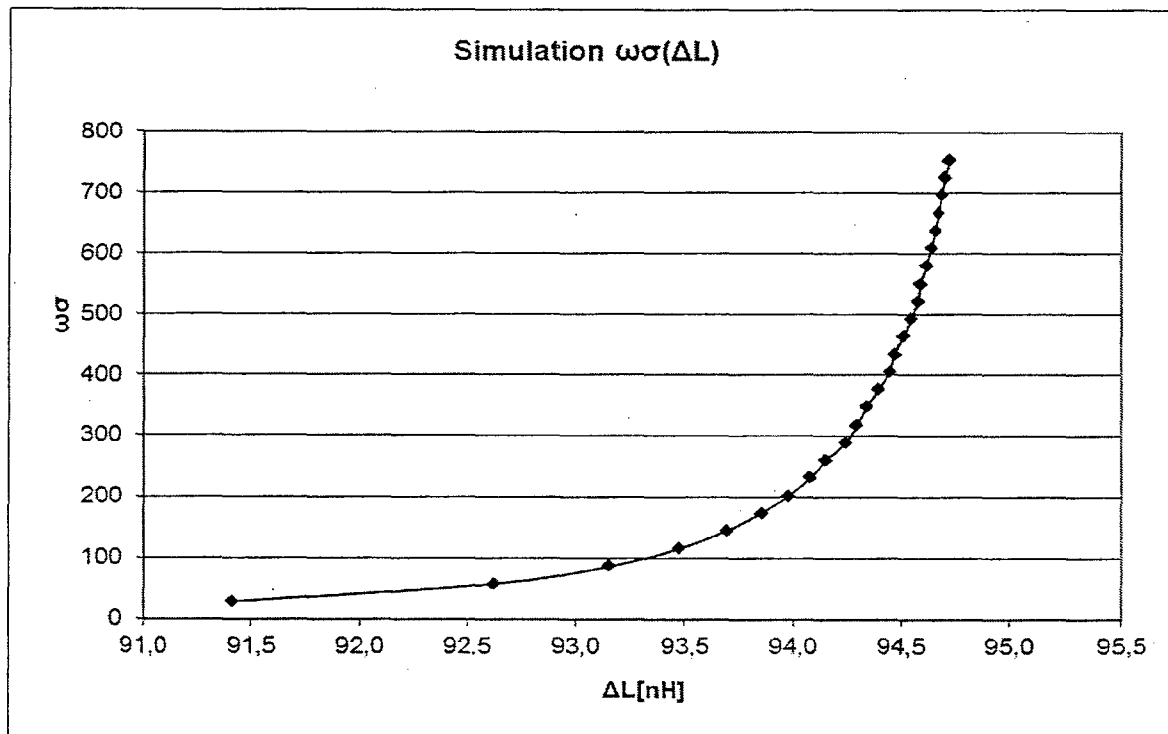
$$\omega\sigma = f(\varphi) = \tan(\Delta L/(R/\omega))$$

Fig. 2



$$\omega\sigma = f(\Delta L/(R/\omega))$$

Fig. 3



$$\omega\sigma = f(\Delta L)$$

Fig. 4

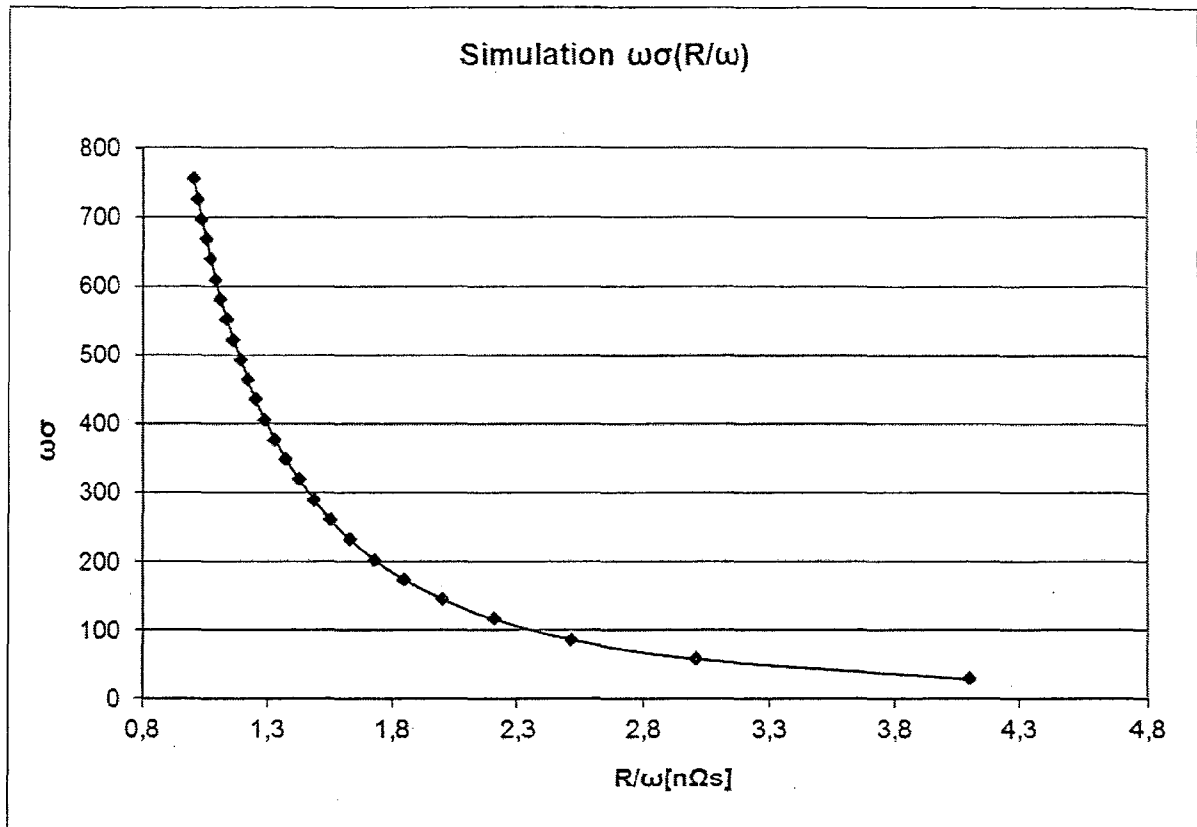
 $\omega\sigma = f(R/\omega)$

Fig. 5

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/055101

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01N27/80 G01N27/90
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EP0-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	M. B. MILETIC ET AL: "The [omega][sigma] method: A new contactless comparison method for measuring electrical conductivity of nonferromagnetic conductors", REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, vol. 68, no. 9, 1 January 1997 (1997-01-01), page 3523, XP055115878, ISSN: 0034-6748, DOI: 10.1063/1.1148317 the whole document ----- -/--	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent 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 when the document is taken alone

"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

Date of the actual completion of the international search

29 April 2014

Date of mailing of the international search report

08/05/2014

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ruchaud, Nicolas

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2014/055101

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	BLITZ ET AL: "Eddy current testing of metals", MATERIALS AND DESIGN, LONDON, GB, vol. 8, no. 6, 1 November 1987 (1987-11-01), pages 340-345, XP024153867, ISSN: 0261-3069, DOI: 10.1016/0261-3069(87)90084-7 [retrieved on 1987-11-01] page 340, column 1, line 1 - page 342, column 3, line 59 -----	1-6
A	US 2012/043962 A1 (WANG CHANGTING [US] ET AL) 23 February 2012 (2012-02-23) abstract paragraphs [0026] - [0028], [0040] -----	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2014/055101

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2012043962 A1	23-02-2012	US 2012043962 A1	23-02-2012
		WO 2012024096 A1	23-02-2012

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2014/055101

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. G01N27/80 G01N27/90
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherhierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
G01N

Recherhierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherhierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EP0-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	M. B. MILETIC ET AL: "The [omega][sigma] method: A new contactless comparison method for measuring electrical conductivity of nonferromagnetic conductors", REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS, Bd. 68, Nr. 9, 1. Januar 1997 (1997-01-01) , Seite 3523, XP055115878, ISSN: 0034-6748, DOI: 10.1063/1.1148317 das ganze Dokument ----- -/-	1-6



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. 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

"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 allein aufgrund dieser Veröffentlichung 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 Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

29. April 2014

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

08/05/2014

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Ruchaud, Nicolas

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2014/055101

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	BLITZ ET AL: "Eddy current testing of metals", MATERIALS AND DESIGN, LONDON, GB, Bd. 8, Nr. 6, 1. November 1987 (1987-11-01), Seiten 340-345, XP024153867, ISSN: 0261-3069, DOI: 10.1016/0261-3069(87)90084-7 [gefunden am 1987-11-01] Seite 340, Spalte 1, Zeile 1 - Seite 342, Spalte 3, Zeile 59 -----	1-6
A	US 2012/043962 A1 (WANG CHANGTING [US] ET AL) 23. Februar 2012 (2012-02-23) Zusammenfassung Absätze [0026] - [0028], [0040] -----	1-6

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

PCT/EP2014/055101

Im Recherchenbericht
angeführtes Patentdokument

Datum der
Veröffentlichung

Mitglied(er) der Patentfamilie

Datum der
Veröffentlichung

US 2012043962 A1

23-02-2012

US	2012043962	A1
WO	2012024096	A1

23-02-2012

23-02-2012
