

(12)

# PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 3006/86

(51) Int.Cl.<sup>5</sup> : **G01N 27/72**  
**G01N 33/20**

(22) Anmeldetag: 12.11.1986

(42) Beginn der Patentdauer: 15.12.1989

(45) Ausgabetag: 10. 7.1990

(73) Patentinhaber:

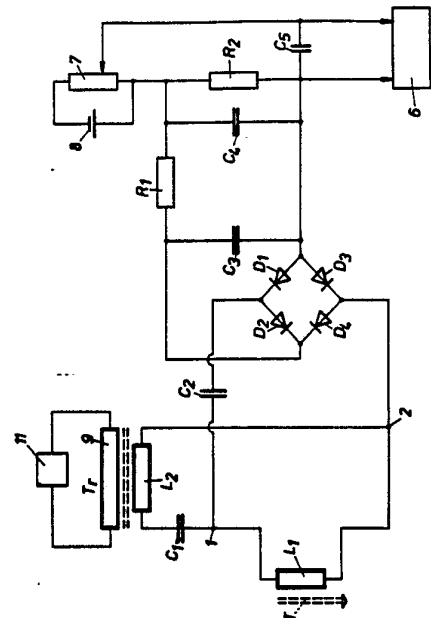
BÖHLER GESELLSCHAFT M.B.H.  
A-1010 WIEN (AT).

(72) Erfinder:

KUTILIN PAUL  
KAPFENBERG, STEIERMARK (AT).

(54) VERFAHREN UND MESSEINRICHTUNG ZUR BESTIMMUNG DES GEHALTES AN MAGNETISIERBARER SUBSTANZ IN EINER PROBE

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Meßeinrichtung zur Bestimmung des Gehaltes an magnetisierbarer Substanz, insbesondere von Ferrit und Martensit, in einer Probe, wobei die Meßeinrichtung eine vorzugsweise mit einem Eisenkern versehene Erregerspule für ein an die zu untersuchende Probe anzulegendes Magnetfeld, eine Auswerteschaltung sowie eine Anzeigeeinrichtung für den Gehalt an magnetisierbarer Substanz in der Probe proportionale Meßwerte aufweist. Zur Verbesserung der Meßgenauigkeit ist vorgesehen, daß an die Teil eines auf eine bestimmte Resonanzfrequenz abgestimmten und vorzugsweise im Einsatz in einem gewählten Arbeitspunkt betriebenen Schwingkreises ( $L_1, C_1, L_2, L_1, C_1, 10, L_R$ ) bildende Erregerspule ( $L_1$ ) eine bestimmte Meßfrequenz angelegt wird, und daß die Veränderung zumindest eines sich beim Anlegen der Erregerspule ( $L_1$ ) an die Probe (5) durch die sich ergebende neue Resonanzfrequenz des Schwingkreises ( $L_1, C_1, L_2, L_1, C_1, 10, 11_R$ ) verändernden Parameters des Schwingkreises, z.B. Stromspannung, Frequenz, bei unveränderter Betriebsfrequenz als dem Gehalt an magnetisierbarer Substanz proportionaler Meßwert gemessen bzw. angezeigt wird.



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Bestimmung des Gehaltes an magnetisierbarer Substanz, insbesondere von Ferrit und Martensit, in einer Probe, wobei mit einer vorzugsweise mit einem Eisenkern versehenen Erregerspule an die zu untersuchende Probe ein Magnetfeld angelegt wird. Ferner betrifft die Erfindung eine Meßeinrichtung zur Bestimmung des Gehaltes an magnetisierbarer Substanz, insbesondere von Ferrit und Martensit, in einer Probe, wobei die Meßeinrichtung eine vorzugsweise mit einem Eisenkern versehene Erregerspule für ein an die zu untersuchende Probe anzulegendes Magnetfeld, eine Auswerteschaltung sowie eine Anzeigeeinrichtung für dem Gehalt an magnetisierbarer Substanz in der Probe proportionale Meßwerte aufweist.

Eine Bestimmung des Gehaltes bzw. Anteiles magnetisierbarer Substanz in vorgegebenen Proben bzw. Werkstücken ist z. B. durch metallographische Untersuchungsmethoden, Röntgenbeugung, Untersuchung der Sättigungsmagnetisierung, Messungen mittels Magnetwaage, Berechnungen auf Grund der Analyse nach dem Schaeffler-Diagramm, magnetische auf dem Wirbelstromprinzip beruhende Ferritmeßgeräte (Fa. Förster, Type 1.053, Fa. Fischer, Type M 10 B) und andere Methoden möglich.

Der Gehalt an magnetischer Substanz, insbesondere der Gehalt an Ferrit, der ein Gefügebestandteil ist, der je nach Werkstofftyp unerwünscht oder auch in größeren %-Gehalten erforderlich ist, muß aus Qualitätssicherungsgründen sicher erfaßt werden. Für die Praxis ist jedoch eine zerstörungsfreie und schnelle Bestimmung z. B. an fertigen Werkstücken erforderlich.

Metallographische-, Röntgenstrahlenbeugungs-, Magnetwaage- und Sättigungsmagnetisierungsbestimmungen sind umständlich, nicht zerstörungsfrei und dadurch sind Messungen an Werkstücken oft nicht möglich. Die bekannten tragbaren Meßgeräte ermöglichen zwar zerstörungsfreie Ferritmessungen, haben aber systembedingte Fehlanzeigen bei höheren Ferritgehalten.

Ein bekanntes Ferritmeßgerät (Fa. Förster) besteht aus einem Meßgerät mit Bedienungselementen und Anzeige, sowie einem an dieses Gerät angeschlossenen Taster. Der Taster ist ein ferromagnetischer Stift der zwei Spulen trägt. Eine Spule wird durch einen Wechselstrom erregt (Primärwicklung) und induziert nach dem Induktionsgesetz  $e = k \cdot w \cdot f \cdot \phi$  ( $k$ ) = Konstante, ( $w$ ) = Windungszahl, ( $f$ ) = Spulenfläche, ( $\phi$ ) = Kraftfluß in der zweiten Spule (Sekundärwicklung) eine EMK. Bei Ankoppeln des Stiftes an eine Probe mit mehr oder weniger Ferritgehalt wird der magnetische Kraftfluß mehr oder weniger verändert, und somit entsteht, da die anderen Parameter unbeeinflusst bleiben, eine dem Ferritgehalt der Probe proportionale EMK.

Durch entsprechende Kalibrierung wird versucht bzw. in einem bestimmten Bereich auch erreicht, diese EMK dem Ferritgehalt der Probe proportional zuzuordnen.

Bedingt durch das Transformatorprinzip ist jedoch, um ein großes Meßsignal zu erreichen, eine große Änderung des magnetischen Kraftflusses ( $\phi$ ) notwendig. Da ( $\phi$ ) aber eine Funktion von ( $B$ ) ist (magnetische Induktion, Fig. 1) und ( $B$ ) mit der relativen Permeabilität ( $\mu_r$ ) verknüpft ist, liegt der Arbeitspunkt dieser Meßgeräte im Bereich kleiner Feldstärke (bis 4 A/cm). Dies ist aber der Bereich des steilen Kurvenanstieges der Magnetisierungslinien und demzufolge ergibt sich ein großes ( $\mu_r$ ), wobei die Meßungenauigkeiten aufgrund des steilen Kurvenanstieges groß sind. Bei den relativ kleinen Feldstärken der bekannten Meßeinrichtungen sind, wie Fig. 2 zeigt, Überschneidungen von Kennlinien der relativen Permeabilität ( $\mu_r$ ) möglich, und es kann aus diesem Grund zu Fehlanzeigen kommen.

Bei relativ hohen Frequenzen der Erregermagnetfelder der Meßtaster (2 kHz) zeigen die Meßwerte eine Beeinflussung durch die elektrische Leitfähigkeit der zu messenden Werkstoffe. Wie Untersuchungen zeigen, sind erst bei ca. 500 Hz und darunter diese (aufgrund der Magnetfelder der durch das Erregerfeld in der untersuchten Probe induzierten Wirbelströme verursachten) Fehlanzeigen zu vernachlässigen. Die Wirbelstromverluste steigen mit der Leitfähigkeit und der Frequenz und üben eine Rückwirkung auf den Meßkreis aus.

Aufgabe der Erfindung ist die Entwicklung einer Meßeinrichtung mit vernachlässigbarem Einfluß der elektrischen Leitfähigkeit auf das Meßergebnis, bei der Gehalte an magnetisierbarer Substanz von 0 - 100 % genau feststellbar sind. Ferner sollen Ankopplungsfehler gering gehalten werden und der Einfluß von an den Proben vorhandenen Magnetisierungen weitgehend ausgeschaltet werden. Wünschenswert wäre der Einsatz einer Erregermagnetfeldstärke, die die Magnetisierungslinien nach dem Knick schneidet (Fig. 2), wo bereits der Trend der Magnetisierungskurven in Abhängigkeit des Gehaltes an magnetisierbarer Substanz in richtiger Relation steht.

Diese Ziele werden bei einem Verfahren der eingangs genannten Art dadurch erreicht, daß an die Teil eines auf eine bestimmte Resonanzfrequenz abgestimmten und vorzugsweise im Einsatz in einem gewählten Arbeitspunkt betriebenen Schwingkreises bildende Erregerspule eine bestimmte Meßfrequenz angelegt wird, und daß die Veränderung zumindest eines sich beim Anlegen der Erregerspule an die Probe durch die sich ergebende neue Resonanzfrequenz des Schwingkreises verändernden Parameters des Schwingkreises, z. B. Stromspannung, Frequenz, bei unveränderter Betriebsfrequenz als dem Gehalt an magnetisierbarer Substanz proportionaler Meßwert gemessen bzw. angezeigt wird. Eine Meßeinrichtung der eingangs genannten Art ist erfindungsgemäß dadurch gekennzeichnet, daß die Erregerspule Teil eines auf eine bestimmte Resonanzfrequenz abgestimmten und im Einsatz in einem gewählten Arbeitspunkt bzw. mit vorgegebener Meßfrequenz betriebenen Schwingkreises ist, daß zur Messung zumindest eines durch das empfangene, die Resonanzfrequenz des Schwingkreises neu festlegende Magnetfeld abgeänderten Parameters des Schwingkreises, z. B. Strom, Spannung, Frequenz, die Auswerteschaltung an den Schwingkreis angeschlossen ist, wobei der Schwingkreis von einer an sich bekannten

Serienresonanzschaltung der Erregerspule, eines Kondensators und einer Kopplungsspule zur Einspeisung der Betriebsfrequenz des Schwingkreises gebildet ist oder wobei der Schwingkreis von einer an sich bekannten Parallelresonanzschaltung der Erregerspule, eines Kondensators und einer Kopplungsspule zur Einspeisung der Betriebsfrequenz des Schwingkreises gebildet ist oder wobei der Schwingkreis wie an sich bekannt von der Erregerspule und einem ihr parallel oder in Serie geschalteten Kondensator gebildet ist, dieser Schwingkreis an einen NF-Generator angekoppelt ist bzw. einen Teil desselben bildet und die Veränderung der Resonanzfrequenz als sich verändernder Parameter des Schwingkreises der Auswerteschaltung zugeführt ist.

Die erfindungsgemäße Meßeinrichtung ermöglicht eine sehr genaue Bestimmung der Anteile an magnetisierbarer Substanz von 0 - 100 %, da die Erregerspule Teil eines abgestimmten Resonanzkreises ist und die Resonanzfrequenz eines Resonanzkreises auf Veränderungen der Parameter sehr empfindlich reagiert. Durch eine einfache Kalibrierungsmessung, bei der die Erregerspule nicht mit einer Probe kontaktiert ist, kann der Nullpunkt der Messung exakt eingestellt werden. Der Skalenendpunkt ergibt sich bei Messung einer Probe, die zu 100 % aus magnetisierbarer Substanz (z. B. reinem Ferrit) besteht.

Wenn der Schwingkreis von einer Serienresonanzschaltung gebildet ist, ist es vorteilhaft, wenn die Auswerteschaltung zur Messung des Spannungsabfalles als sich verändernder Parameter des Schwingkreises an der Erregerspule beiderseits der Erregerspule angeschlossen ist. Wenn der Schwingkreis von einer Parallelresonanzschaltung gebildet ist, ist vorgesehen, daß die Auswerteschaltung zur Messung des Stromwertes als sich verändernder Parameter in der Parallelresonanzschaltung beiderseitig an einen zwischen dem Kondensator und der Erregerspule eingeschalteten Widerstand angeschlossen ist. Diese Ausführungsformen stellen einfach aufgebaute, im Betrieb robuste, nicht sonderlich temperaturempfindliche und genau anzeigende Meßeinrichtungen dar.

Große Meßbereiche für die an den Resonanzkreisen abgenommenen Meßwerte, erhält man, wenn als Betriebsfrequenz des Schwingkreises eine im Frequenzbereich der größte Steigung aufweisenden Flankenabschnitte der Resonanzkurve gelegene Frequenz vorgesehen ist.

Wenn der Schwingkreis auf eine bestimmte Resonanzfrequenz abgestimmt ist und als sich verändernder Parameter die Resonanzfrequenzänderung des Schwingkreises abgefühlt wird, wird eine sehr empfindliche Meßeinrichtung erhalten, die sehr exakte Meßergebnisse liefert.

Bevorzugt ist es, daß die Feldstärke des von der Erregerspule an die Probe angelegten Magnetfeldes zwischen 20 und 200 A/cm, vorzugsweise 30 und 100 A/cm, insbesondere zwischen 50 u. 70 A/cm liegt. Bei Verwendung derartig hoher Magnetfelder erreicht man, daß Ankopplungsfehler des Tasters keine so große Rolle spielen, wie bei der Verwendung geringer Feldstärken. Überdies werden übliche in den Proben vorhandene Restmagnetisierungen beseitigt bzw. beeinflussen nicht das Meßergebnis. Ferner liegen die gemessenen Magnetisierungslinien in einer richtigen Reihung bezogen auf die Substanz (ferromagnetisch, ferritisch usw.) vor (Fig. 1 bzw. 2).

Zur Aufbringung derartiger Magnetfelder ist es vorteilhaft, wenn die Erregerspule einen an das zu untersuchende Werkstück anlegbaren, vorzugsweise ferritischen, Tastkern umgibt und von einem vorzugsweise zylindrischen Magnetjoch umgeben ist, dessen eines Ende mit dem Tastkern verbunden und dessen anderes Ende vom Tastkern überragt ist. Dies ermöglicht den Aufbau eines handlichen Tasters, der gut mit der Probe kontaktierbar ist und dessen Magnetfluß genau und gut an die Proben ankoppelbar ist.

Zur Signalauswertung ist es einfach, wenn der Anzeigenvorrichtung als Auswerteschaltung für das Meßsignal ein Brückengleichrichter und eine Siebkette vorgeschaltet sind.

Im folgenden wird die Erfindung anhand der Zeichnung näher erläutert.

Es zeigen: Fig. 1 ein Diagramm mit Magnetisierungslinien, Fig. 2 ein Diagramm mit Permeabilitätskurven, Fig. 3 ein Prinzip-Schaltschema einer erfindungsgemäßen Meßeinrichtung, Fig. 4 ein Schema für die Ableitung des Meßsignals, Fig. 5 ein Schaltschema eines Parallelresonanzkreises für die erfindungsgemäße Meßeinrichtung, Fig. 6 ein Schaltschema eines Schwingkreises, der an einen NF-Generator gekoppelt bzw. ein Teil dieses Generators ist, Fig. 6a ein Schema für die Ableitung des Meßsignals und Fig. 7 schematisch den Aufbau eines Tasters mit Erregerspule.

Fig. 1 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen der an eine Probe angelegten Feldstärke und der in der Probe auftretenden magnetischen Induktion. Die Kurven (A) und (B) sind hierbei für unlegierten Stahl, die Kurve (C) für Elektrolyteisen und die Kurve (D) für Duplexstahl, also 2-phasigen Stahl, charakteristisch. Mit ( $H_B$ ) ist der Feldstärkenbereich der bekannten Ferritmeßgeräte gekennzeichnet, mit ( $H_M$ ) die Feldstärke der erfindungsgemäßen Meßeinrichtung angegeben. Man erkennt, daß die bekannten Meßgeräte mit einer Feldstärke arbeiten, bei der sich ein schleifender Schnitt mit den Magnetisierungslinien ergibt.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm der relativen Permeabilität ( $\mu_r$ ) in Abhängigkeit von der Feldstärke ( $H$ ) des an die Probe angelegten Erregermagnetfeldes ( $H_B$ ) und ( $H_M$ ).

Die Permeabilitätskurven besitzen in dem Bereich niedriger Meßmagnetfeldstärken Überschneidungen, z. B. überschneiden sich die Kurven für Elektrolyteisen und Duplexstahl, sodaß bei niedrigen Meßmagnetfeldstärken Irrtümer bei der Beurteilung der Meßergebnisse auftreten können. Bei der Meßfeldstärke ( $H_M$ ) des erfindungsgemäßen Meßgerätes treten jedoch derartige Irrtümer nicht auf, da die einzelnen Permeabilitätskurven

bereits in der Reihung entsprechend ihrer relativen Permeabilität geordnet sind. In Fig. 1 werden die Magnetisierungslinien als Neukurven bzw. Erstkurven angeführt.

Fig. 3 zeigt ein prinzipielles Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Meßeinrichtung. Eine Erregerspule ( $L_1$ ) eines Tasters (T) bildet mit einem Kondensator ( $C_1$ ) und einer Induktivität ( $L_2$ ) einen Serienresonanzkreis, der eine bestimmte Resonanzfrequenz aufweist. Über einen Koppeltransformator mit einer Primärspule (9) und der Spule ( $L_2$ ) als Sekundärspule, der von einem Frequenzgenerator (11) gespeist ist, wird die gewählte Betriebsfrequenz, die innerhalb des Resonanzbereiches liegt, über die Induktivität ( $L_2$ ) in den Resonanzkreis ( $L_1$ - $C_1$ - $L_2$ ) eingespeist. Unter Resonanzbereich wird jener Frequenzbereich verstanden, in dem ein Resonanzverhalten des Resonanzkreises auftritt. Vorteilhafterweise werden Resonanzfrequenzen von etwa 400 - 1500 Hz und Betriebsfrequenzen von etwa 100 - 400 Hz gewählt. Vorteilhafterweise liegt die Betriebsfrequenz bei etwa 200 Hz, wenn eine Resonanzfrequenz von etwa 500 Hz vorgegeben ist.

Bevorzugt ist es, wenn die Frequenz des Frequenzgenerators (11) und seine Spannung möglichst konstant gehalten werden.

Als Meßsignal einer derartigen Serienresonanzschaltung wird der Spannungsabfall an der Erregerspule ( $L_1$ ) an den Punkten (1) und (2) abgenommen. Über einen Koppelkondensator ( $C_2$ ) wird das Meßsignal über eine Diodenbrücke ( $D_1, D_2, D_3, D_4$ ) zu einem Siebglied bestehend aus den Bauteilen ( $C_3, R_1, C_4, R_2$  und  $C_5$ ) geleitet und gelangt zur Anzeigevorrichtung (6). Die Anzeigevorrichtung (6) wird von einer Batterie (8) über ein Potentiometer (7) mit einer veränderlichen Spannung zum Nullpunktsabgleich versorgt.

Die erfindungsgemäße Meßeinrichtung nutzt die Änderung der Induktivität der Spule ( $L_1$ ) bei Ankopplung an eine Probe (5) aus. Diese Erregerspule ( $L_1$ ) befindet sich auf bzw. um einen ferritischen Tastkern (4), wie er z. B. in Fig. 7 näher dargestellt ist. Bei Ankopplung des Tastkerns (4) an Luft würde die in Fig. 4 dargestellte Kurve für 0 % Ferrit im Schwingkreis meßbar sein, wenn die Betriebsfrequenz entsprechend variiert würde. Bei gegebener Induktivität der Erregerspule ( $L_1$ ), gegebener Induktivität der Sekundärspule ( $L_2$ ) und gegebener Kapazität des Kondensators ( $C_1$ ) fließt bei der gewählten Meß- bzw. Betriebsfrequenz ( $Hz_M$ ) durch die Erregerspule ( $L_1$ ) der Strom ( $I_0$ ), der einem Ferritgehalt von 0 % entspricht. Die gewählte, den Arbeitspunkt bestimmende Betriebsfrequenz liegt in der Praxis vorteilhafterweise unterhalb der Resonanzfrequenz, um Wirbelstrombeeinflussungen des Meßergebnisses möglichst auszuschalten. Derartige Beeinflussungen ergeben sich bei Messungen mit höheren Frequenzen, sodaß erfindungsgemäß mit im Bereich der linken Flanke der Resonanzkurven gelegenen Frequenzen gemessen wird; die von der Transformatorspule (9) in den Resonanzkreis eingespeiste Meßfrequenz ist in Fig. 4 mit ( $Hz_M$ ) bezeichnet.

Wenn eine magnetisierbare Substanz enthaltende Probe (5) an die Erregerspule ( $L_1$ ) angekoppelt wird, bedingt die geänderte Induktivität der Erregerspule ( $L_1$ ) eine Änderung der Resonanzbedingungen des Serienresonanzkreises. Es erfolgt eine Änderung des Resonanzverhaltens, d. h. die Resonanzfrequenz sinkt, wie es in Fig. 4 für die Ankopplung an eine 100 % Ferrit enthaltende Probe dargestellt ist. Bei der gewählten Betriebsfrequenz ( $Hz_M$ ) fließt durch die Erregerspule ( $L_1$ ) ein Strom ( $I_{100}$ ), der dem Meßsignal für 100 % Ferrit entspricht. Der Unterschied zwischen den Meßwerten ( $I_{100}$  bzw.  $I_0$ ) entspricht einem Meßbereich von 0 - 100 % magnetisierbarer Substanz, im vorliegenden Fall Ferrit.

Bei Messungen einer Probe mit z. B. 50 % Ferritgehalt würde sich eine Resonanzkurve einstellen, die zwischen den Kurven für 0 % Ferrit und 100 % Ferrit liegt und deren Schnittpunkt mit der Betriebsfrequenz ( $Hz_M$ ) dem einem 50 %igen Ferritgehalt in der Probe entsprechenden Stromfluß proportional wäre.

Mit mehreren Messungen kann somit eine genaue Kalibrierung der Meßeinrichtung vorgenommen werden.

Der erfindungsgemäßen Meßeinrichtung ist das Meßprinzip zugrundegelegt, daß bei an Luft angekoppelter Erregerspule ( $L_1$ ) nur die Induktivität dieser Spule die Resonanzfrequenz des Serienresonanzkreises bestimmt, da ( $C_1$ ) und ( $L_2$ ) fix vorgegebene Größen sind. Bedingt wird die Induktivität der Erregerspule durch deren Windungszahl und die magnetischen Kenndaten des magnetisierbaren Teiles des Tasters (T), insbesondere des ferritischen Kernes bzw. Tastkernes (4) des Tasters (T). Koppelt man den Tastkern (4) an ein Werkstück (5) an, wie Fig. 7 zeigt, wird durch das durch den Magnetfluß ( $\phi$ ) im Werkstück (5) hervorgerufene induzierte Magnetfeld die Induktivität der Erregerspule ( $L_1$ ) verändert und es ändert sich das Resonanzverhalten bzw. die Resonanzfrequenz des Serienresonanzkreises.

Fig. 5 zeigt ein ähnliches Meßprinzip, jedoch sind die Erregerspule ( $L_1$ ), der Kondensator ( $C_1$ ) und die Sekundärwicklung des Transformators (9) zu einem Parallelresonanzschwingkreis zusammengefaßt, dessen Resonanzverhalten dem eines Serienresonanzkreises im wesentlichen entspricht. Die Meßwerte werden an den Punkten (1) und (2) eines Widerstandes ( $R_3$ ) abgenommen, der zwischen der Erregerspule ( $L_1$ ) und dem Kondensator ( $C_1$ ) eingeschaltet ist.

Fig. 6 zeigt eine Ausführungsform, bei der die Erregerspule ( $L_1$ ) mit dem Taster (T) und der Kondensator

( $C_1$ ) einen Schwingkreis bilden, der Bestandteil eines, einen Transistor (10) und eine Rückkoppelungsspule ( $L_R$ ) umfassenden NF-Generators ist. Mit Hilfe des Transistors (10) und der Rückkoppelungsspule ( $L_R$ ) wird der Schwingkreis ( $L_1-C_1$ ) zu Resonanzschwingungen angeregt. Im Falle einer Änderung der Induktivität durch Ankoppeln der Erregerspule ( $L_1$ ) an eine magnetisierbare Substanz enthaltende Probe ändert sich die Induktivität ( $L_1$ ) und die Frequenz des Schwingkreises nimmt ab bzw. verschiebt sich zu niedrigeren Frequenzen, wie in Fig. 6a angedeutet ist. Als Meßsignale wird die Frequenzänderung über einen Widerstand ( $R_4$ ) an den Punkten (1) und (2) abgenommen.

Die Differenz der Frequenzen gemessen bei 0 % Ferrit, d. h. Erregerspule ( $L_1$ ) an Luft, und 100 % magnetisierbarer Substanz, d. h. Erregerspule ( $L_1$ ) in Kontakt mit z. B. 100 %igem Ferrit, ergibt die Meßbereichsskala für die Meßeinrichtung.

Fig. 7 zeigt schematisch den Aufbau eines Tasters (T). Der Tastkern (4) wird von der Erregerspule ( $L_1$ ) umgeben, die ihrerseits von einem zylindrischen magnetischen Joch (3) umgeben wird. Man erkennt die magnetischen Feldlinien, die von dem Tastkern (4) ausgehen und in das Werkstück (5) eindringen, und zum Joch (3) rückgeführt sind, sodaß sich ein geschlossener magnetischer Kreis ergibt.

Vorteilhafterweise wird die Betriebsfrequenz für den Schwingkreis derart bemessen, daß sich die ergebenden Änderungen der gemessenen Parameter in Flankenbereichen der Resonanzkurven ergeben, die eine relative große Änderung der Parameter in Abhängigkeit vom Gehalt an magnetisierbarer Substanz ergeben, d. h. in Flankenbereichen, die große Steigung aufweisen.

Die erfindungsgemäße Meßeinrichtung ist für alle magnetisierbaren Substanzen einsetzbar, d. h. für ferromagnetische, martensitische, ferritische und sämtliche andere magnetisierbare bzw. magnetische Substanzen.

Bemerkt wird ferner, daß anstelle der Diodenbrücke ( $D_1 - D_4$ ) auch eine elektronische Auswertung, z. B. mit Hilfe eines Diskriminators od. dgl., erfolgen kann.

Vorteilhaft ist es bei der erfindungsgemäßen Meßeinrichtung, daß sich bei Änderung der Induktivität der Erregerspule ( $L_1$ ) durch Ankoppeln an ein magnetisierbares Werkstück (5) der Stromfluß durch die Induktivität ( $L_1$ ) erhöht; dadurch ergibt sich ein höherer Spannungsabfall an der Erregerspule, der die Messung vereinfacht. Da gleichzeitig im Bereich von Resonanzkurven mit großer Steigung bzw. mit zunehmender Steigung gemessen wird, ist insbesondere auch in Bereichen mit hohen Gehalten an magnetisierbarer Substanz eine genaue Messung möglich.

In Tabelle 1 sind die Ergebnisse von Messungen an einem Ferrit-Probensatz beruhend auf einer metallographischen Ferritstrichgitterauswertung, beruhend auf den Meßgeräten M 10B der Fa. Fischer nach Drei-Punkt-Eichung bzw. nach Ein-Punkt-Eichung sowie beruhend auf der erfindungsgemäßen Meßeinrichtung angeführt. Man erkennt, daß die Meßergebnisse mit der erfindungsgemäßen Meßeinrichtung mit den Meßergebnissen gemäß der metallographischen Ferrit-Strichgitterauswertung sehr gut übereinstimmen und insbesondere in Bereichen mit hohen Anteilen von Ferrit eine ausgezeichnete Übereinstimmung der Meßwerte bestand, während mit den herkömmlichen Geräten ausgesprochen große Meßwertabweichungen erhalten wurden.

Aufgrund der hohen verwendeten Feldstärke von z. B. 60 A/cm bei der erfindungsgemäßen Meßeinrichtung werden die magnetischen Werte der Proben im flachen Kurvenverlauf der Magnetisierungsabhängigkeit ( $dB/dH$ ) gemessen. In diesem Bereich steht jedoch die relative Permeabilität in einem direkt proportionalen Zusammenhang mit dem Gehalt der Werkstoffe an magnetisierbarer Substanz, sodaß eindeutig zuordenbare Meßwerte vorliegen.

Tabelle 1

## Meßversuche an einem Ferrit-Probensatz der Qualitäten A 903-So und A 905-So

| Schmelze | Probe-Nr. | Spez. Widerstand | Metallograf. Ferrit Strichgitterauswertung | Fischer M10B 3 Pkt. Eichung 2,7/9,6/29,6 % | Fischer M10B 1 Pkt. Eichung 100 % | Erfindungsgemäße Meßeinrichtung |
|----------|-----------|------------------|--|--|-----------------------------------|---------------------------------|
| 10468    | 6         | 0,869 m          | 39,9 %                                     | 43,1±1 %                                   | 42,3 %                            | 41,2±0,4 %                      |
| 10683    | 7         | 0,849 "          | 44,3 %                                     | 45,2±0,6 %                                 | 43,2 %                            | 46,3±0,4 %                      |
| 10463    | 8         | 0,880 "          | 45,9 %                                     | 48,9±1,8 %                                 | 45,9 %                            | 45,9±0,8 %                      |
| 10462    | 9         | 0,880 "          | 68,6 %                                     | 76,7±3,1 %                                 | 74,9 %                            | 69,1±1 %                        |
| 10466    | 10        | 0,842 "          | 71,7 %                                     | 64,8±1,9 %                                 | 63,0 %                            | 72,0±1,4 %                      |
| 10461    | 11        | 0,908 "          | 86,2 %                                     | 101,3±2,4 %                                | 95,9 %                            | 88,2±1,3 %                      |
| 10681    | 12        | 0,720 "          | 93,4 %                                     | 85,5±2,5 %                                 | 82,5 %                            | 91,2±1,1 %                      |
| 10460    | 13        | 0,885 "          | 97,9 %                                     | 91,0±5,3 %                                 | 87,9 %                            | 97,4±1,7 %                      |

5

## PATENTANSPRÜCHE

10

1. Verfahren zur Bestimmung des Gehaltes an magnetisierbarer Substanz, insbesondere von Ferrit und Martensit, in einer Probe, wobei mit einer vorzugsweise mit einem Eisenkern versehenen Erregerspule an die zu untersuchende Probe ein Magnetfeld angelegt wird, **dadurch gekennzeichnet**, daß an die Teil eines auf eine bestimmte Resonanzfrequenz abgestimmten und vorzugsweise im Einsatz in einem gewählten Arbeitspunkt betriebenen Schwingkreises bildende Erregerspule eine bestimmte Meßfrequenz angelegt wird, und daß die

15

20

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Betriebsfrequenz des Schwingkreises eine im Frequenzbereich der größte Steigung aufweisenden Flankenabschnitte der Resonanzfrequenzkurve gelegene Frequenz gewählt wird.

25

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Feldstärke des von der Erregerspule an die Probe angelegten Magnetfeldes eine Feldstärke zwischen 20 und 200, vorzugsweise 30 und 100, insbesondere zwischen 50 und 70 A/cm, gewählt wird.

30

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Betriebsfrequenz Frequenzen zwischen 100 und 300 Hz, vorzugsweise um etwa 200 Hz, eingesetzt werden.

35

5. Meßeinrichtung zur Bestimmung des Gehaltes an magnetisierbarer Substanz, insbesondere von Ferrit und Martensit, in einer Probe, wobei die Meßeinrichtung eine vorzugsweise mit einem Eisenkern versehene Erregerspule für ein an die zu untersuchende Probe anzulegendes Magnetfeld, eine Auswerteschaltung sowie eine Anzeigeeinrichtung für dem Gehalt an magnetisierbarer Substanz in der Probe proportionale Meßwerte aufweist, zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Erregerspule ( $L_1$ ) Teil eines auf eine bestimmte Resonanzfrequenz abgestimmten und im Einsatz in einem gewählten Arbeitspunkt bzw. mit vorgegebener Meßfrequenz betriebenen Schwingkreises ( $L_1, C_1, L_2; L_1, C_1, 10, L_R$ ) ist, daß zur Messung zumindest eines durch das empfangene, die Resonanzfrequenz des Schwingkreises neu festlegende Magnetfeld abgeänderten Parameters des Schwingkreises ( $L_1, C_1, L_2; L_1, C_1, 10, L_R$ ), z. B. Strom, Spannung, Frequenz, die Auswerteschaltung an den Schwingkreis angeschlossen ist, wobei der Schwingkreis von einer an sich bekannten Serienresonanzschaltung der Erregerspule ( $L_1$ ), eines Kondensators ( $C_1$ ) und einer Kopplungsspule ( $L_2$ ) zur Einspeisung der Betriebsfrequenz des Schwingkreises gebildet ist oder wobei der Schwingkreis von einer an sich bekannten Parallelresonanzschaltung der Erregerspule ( $L_1$ ), eines Kondensators ( $C_1$ ) und einer Kopplungsspule ( $L_2$ ) zur Einspeisung der Betriebsfrequenz des Schwingkreises gebildet ist oder wobei der Schwingkreis wie an sich bekannt von der Erregerspule ( $L_1$ ) und einem ihr parallel oder in Serie geschalteten Kondensator ( $C_1$ ) gebildet ist, dieser Schwingkreis an einen NF-Generator ( $10, L_R$ ) angekoppelt ist bzw. einen Teil desselben bildet und die Veränderung der Resonanzfrequenz als sich verändernder Parameter des Schwingkreises der Auswerteschaltung zugeführt ist.

40

45

50

6. Meßeinrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Auswerteschaltung zur Messung des Spannungsabfalles als sich verändernder Parameter des Schwingkreises an der Erregerspule ( $L_1$ ) beiderseits der Erregerspule ( $L_1$ ) angeschlossen ist (Fig. 3).

55

7. Meßeinrichtung nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Auswerteschaltung zur Messung des Stromwertes als sich verändernder Parameter in der Parallelresonanzschaltung beiderseitig an einen zwischen dem Kondensator ( $C_1$ ) und der Erregerspule ( $L_1$ ) eingeschalteten Widerstand ( $R_3$ ) angeschlossen ist (Fig. 5).

8. Meßeinrichtung nach einem der Ansprüche 5 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Erregerspule ( $L_1$ ) einen an das zu untersuchende Werkstück (5) anlegbaren, vorzugsweise ferritischen, Tastkern (4) umgibt und von einem vorzugsweise zylindrischen Magnetjoch (3) umgeben ist, dessen eines Ende mit dem Tastkern (4) verbunden und dessen anderes Ende vom Tastkern (4) überragt ist (Fig. 7).

5

10

Hiezu 5 Blatt Zeichnungen

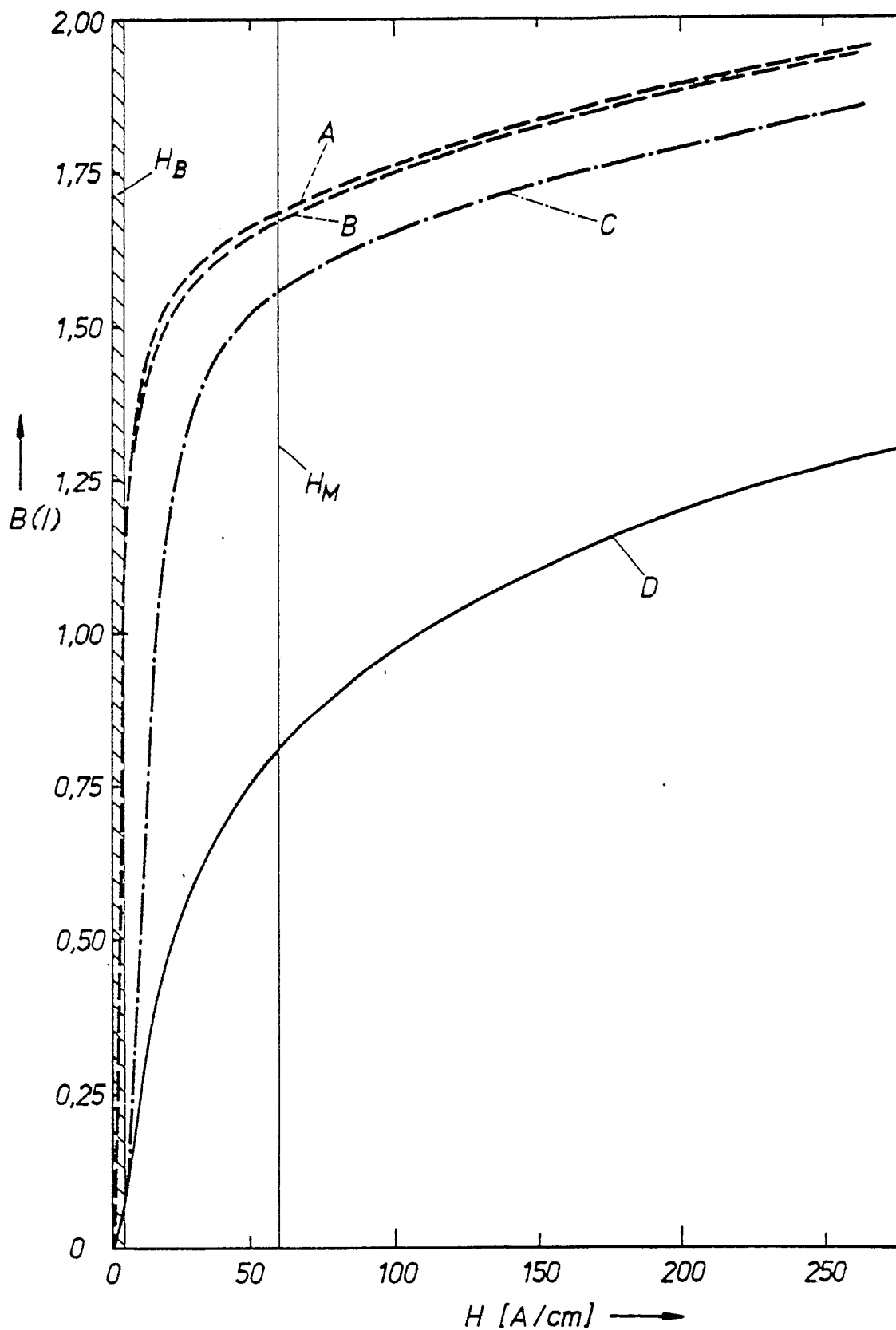
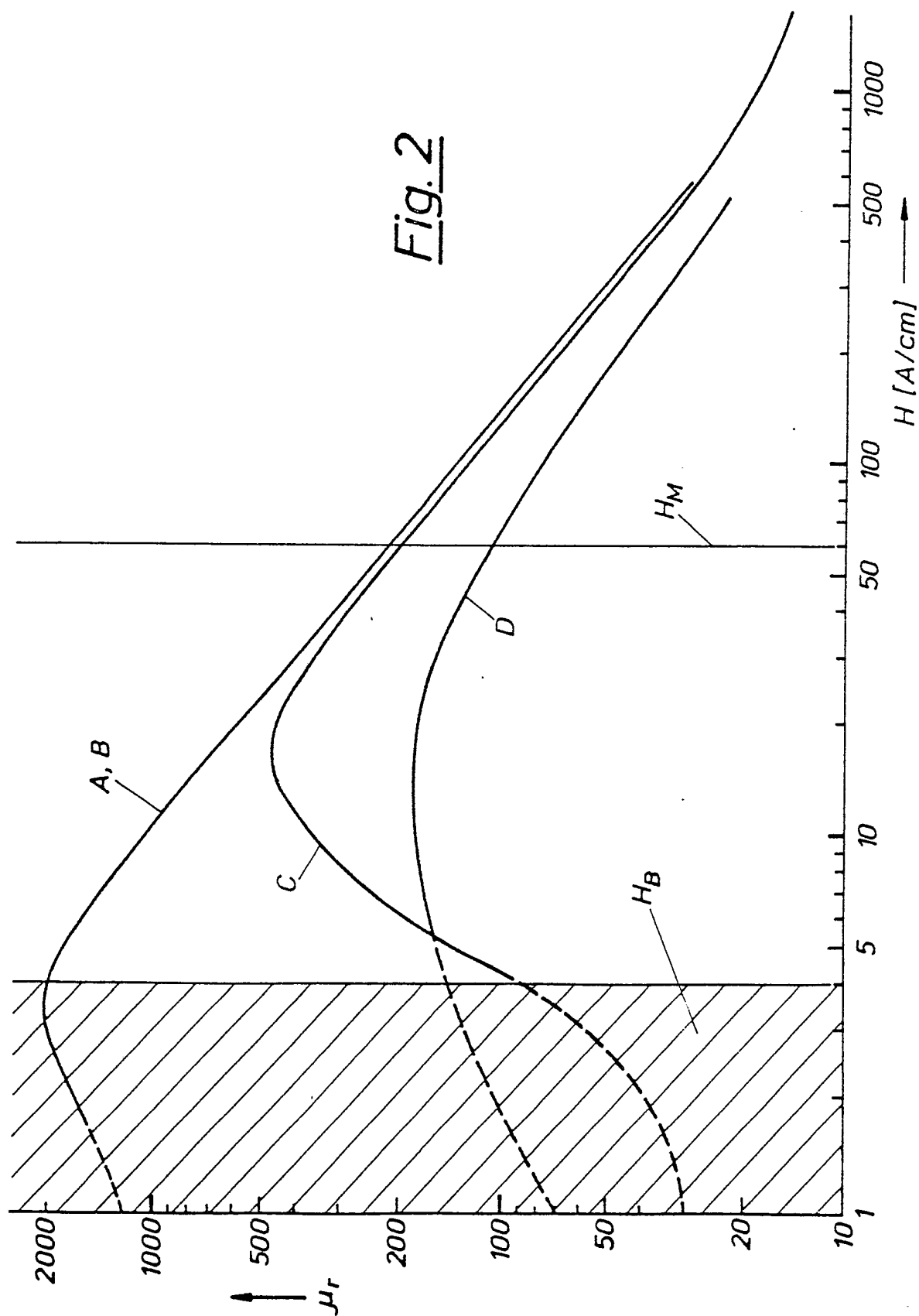


Fig. 1





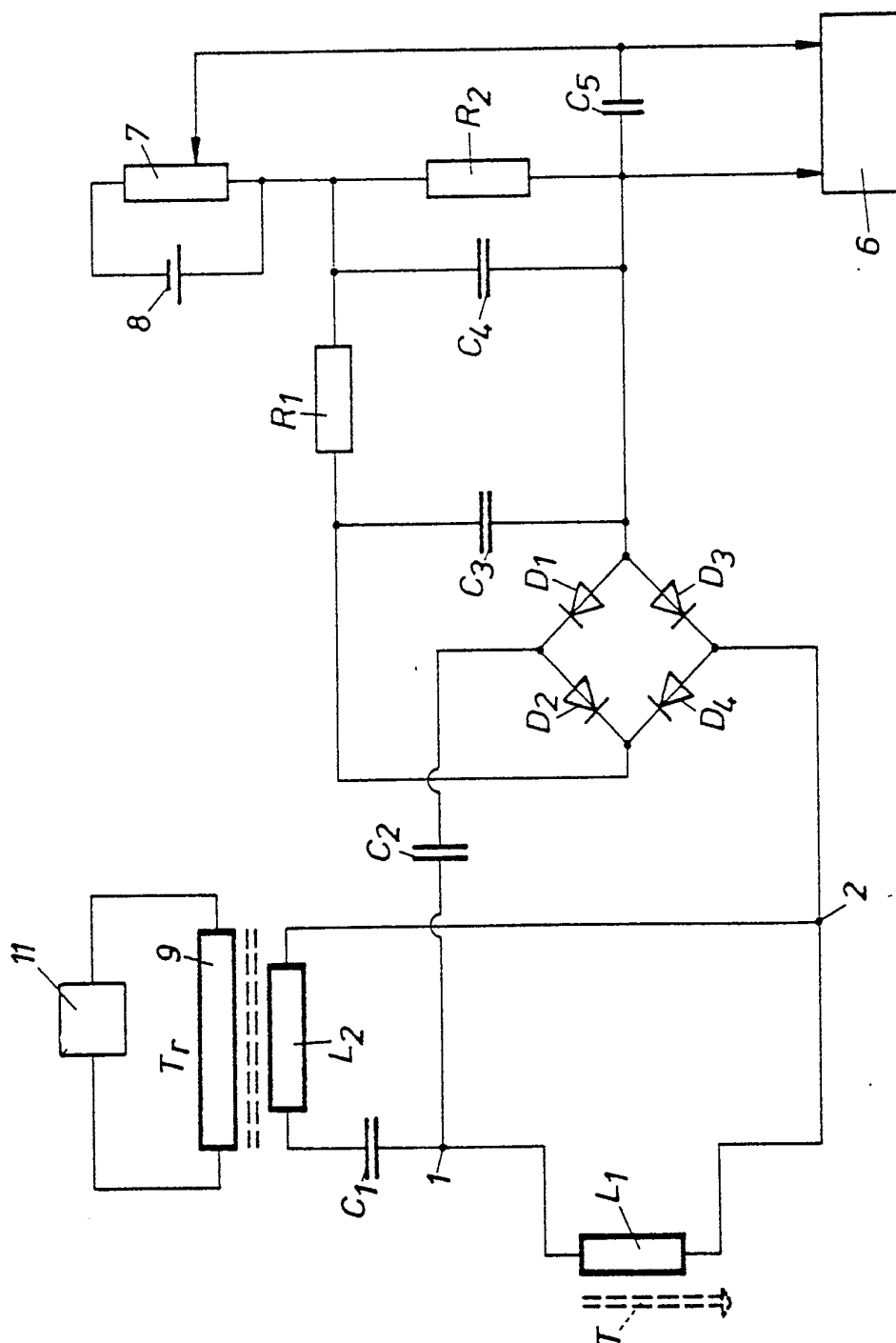


Fig. 3

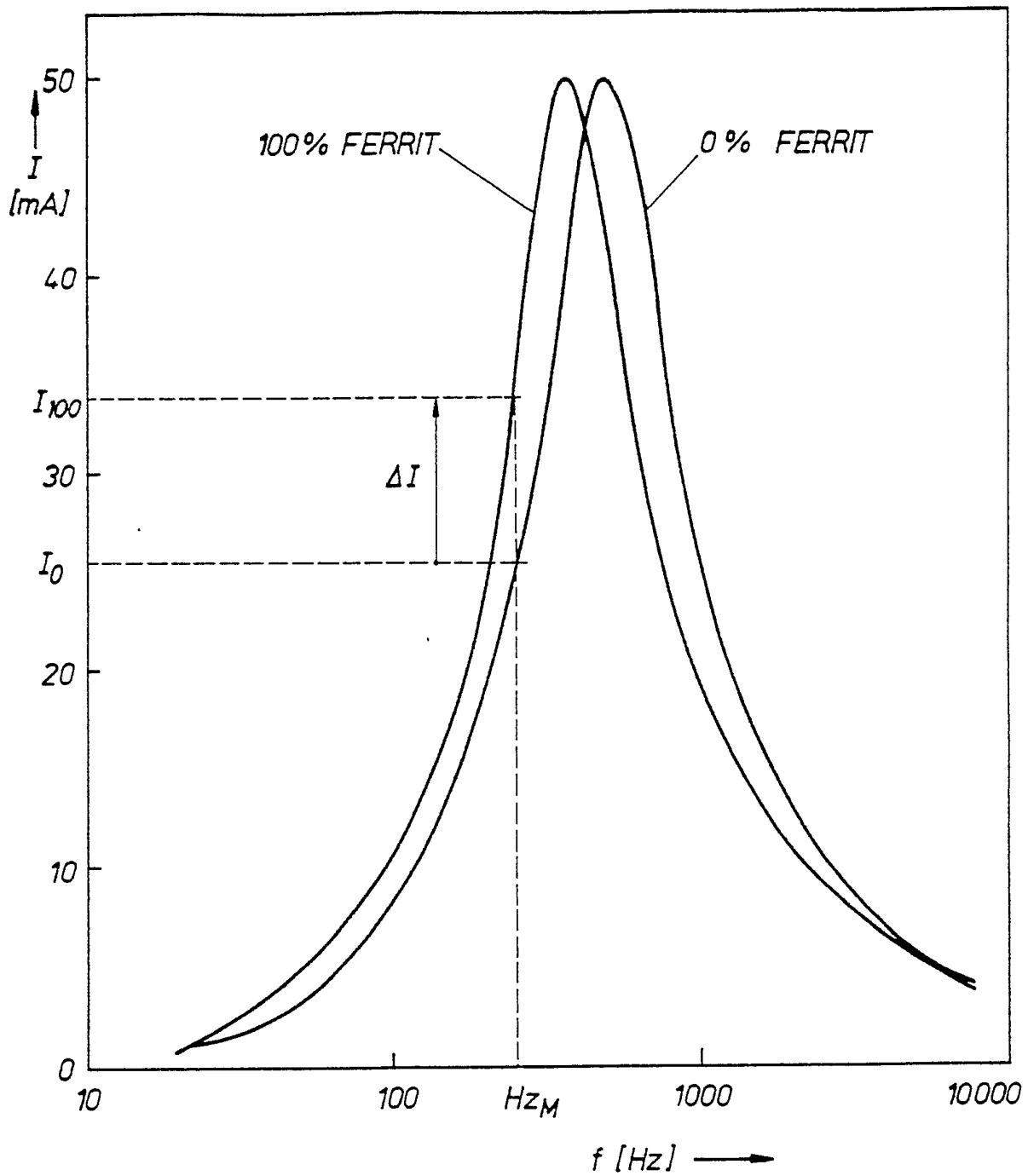


Fig. 4

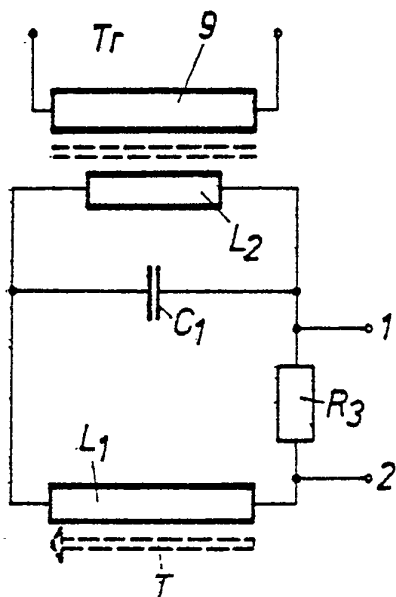


Fig. 5

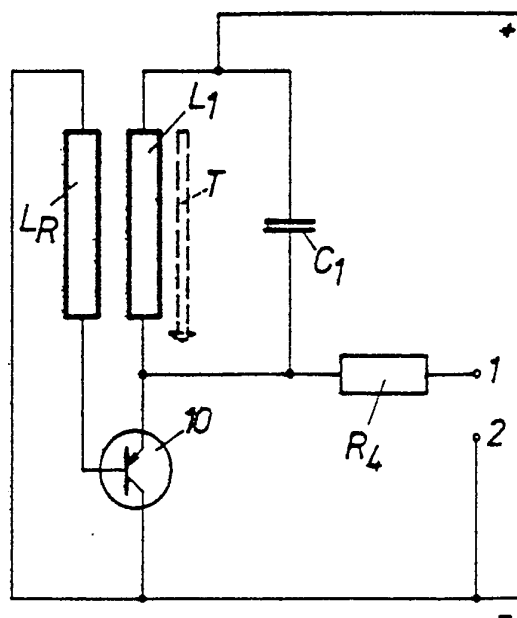


Fig. 6

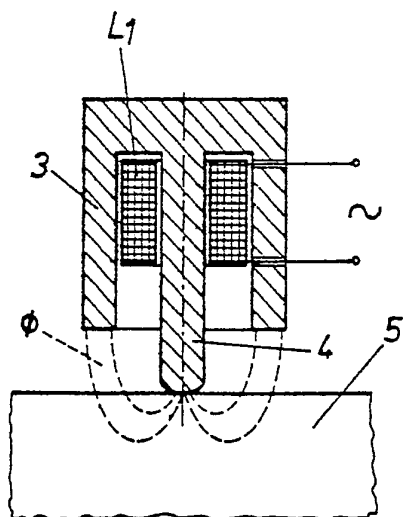


Fig. 7

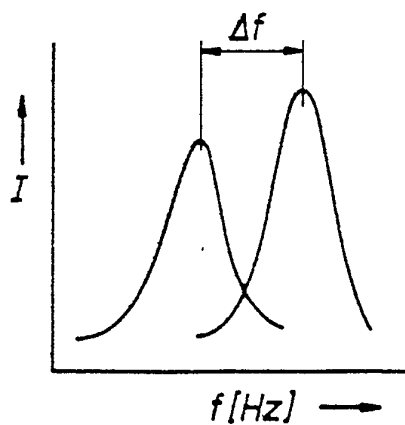


Fig. 6a