

A83

Bericht Nr. 549

Über einen induktiven Standmesser

9453

Bericht des Technischen Prüfstandes Oppau

Nr. 549

Über einen induktiven Standmesser

Übersicht: Nach einem kurzen Überblick über die bekannteren induktiven Standmesser wie sie vorzugsweise zur Ermittlung von Flüssigkeitsständen u.a. Anwendung finden, wird eine neue Anordnung angegeben, die mit 3 Spulen nach Art eines sog. Schubtransformators, allerdings mit offenem Kern, arbeitet. Die drei Spulen sind koaxial angeordnet und ein von dem Messvorgang gesteuerter Eisenkern taucht in diese Spulen ein. Je nach dessen Stellung werden dann bei Beschickung der mittleren Spule mit Wechselspannung in den beiden äusseren grössere oder kleinere Spannungen induziert, die zur Standmessung herangezogen werden. Um den meist erwünschten linearen Zusammenhang zwischen Kernverschiebung und Ausschlag für eine längere Strecke zu erhalten, richtet man am vorteilhaftesten die Spannung jeder äusseren Spule für sich gleich und schaltet die Ströme der beiden Kreise gegeneinander.

Abgeschlossen am: 20. September 1943 Gr.

Bearbeiter: Dr. E. Schuch

Schuch

Die vorliegende Ausfertigung enthält

18 Textblätter

Bildblätter

Verteiler

Nr.	am	Empfänger	Nr.	am	Empfänger
1)	2.10.43	Hr. Amelin, Getriebeabteilung			
2)	"	Hr. Schütz, Bf. Zustand. Lab.			
3)	"	Hr. Biersig			
4)	"	Hr. Schuch			
5)	"	"			
6)	"	Murgstein			
10)	"	Wibo			

9454

Über einen induktiven Standmesser

1.) Einleitung

Zur Fernübertragung oder zur Ermittlung von Bewegungsvorgängen, von Standhöhen von Flüssigkeitsspiegeln, von Hebelstellungen usw. sind schon eine grosse Anzahl von Verfahren vorgeschlagen bzw. angewendet worden (1;2)^{*)}. Die entsprechenden Anordnungen seien im folgenden wegen ihres Hauptanwendungsgebietes zur Ermittlung von Standhöhen kurz Standmesser genannt. Unter den verschiedenen Verfahren spielen die induktiven infolge ihrer mannigfachen Vorzüge eine grosse Rolle. Sie beruhen alle auf der Messung der Änderung der Induktivität einer Spule bei Einschieben eines Eisenkerns. Eine Bewegung von stromführenden Feilen ist hier nicht erforderlich. Auch entfallen hierbei infolge Fehlens jeglicher Kontakte etwa dadurch hervorgerufene Schwierigkeiten.

Wegen dieser Vorzüge wurde daher, als im Technischen Prüfstand ein solcher Standmesser benötigt wurde, als Messverfahren das induktive gewählt. Nachdem orientierende Versuche mit einer Spulenanordnung der unten angegebenen Art als aussichtsvoll erscheinen liessen, damit einen Standmesser zu bauen, wurden eingehendere Versuche durchgeführt, mit dem Ziele, für eine möglichst lange Strecke einen linearen Zusammenhang zwischen Kernverschiebung und Ausschlag am Messinstrument zu erhalten. Wie weit das in einzelnen möglich war, zeigen die nach einem kurzen Überblick gebrachten Ausführungen.

2.) Überblick über bekanntere Ausführungen von induktiven Standmessern

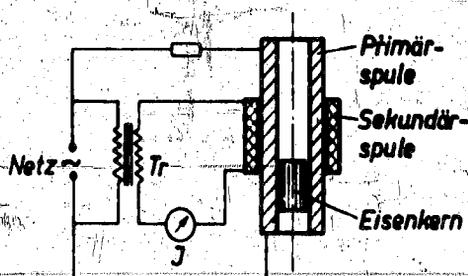
Die im folgenden angeführten induktiven Standmesser umfassen nur solche, die eine kontinuierliche Anzeige der zu messenden Standhöhe gestatten.

^{*)}Schrifttum am Ende des Berichts

Ganz allgemein besteht jeder vollständige Standmesser aus einem Geber, d.h. einer Spule oder Spulenanordnung, in der die Änderung der Induktivität durch Verschiebung eines Eisenkerns hervorgerufen wird und dem Empfänger, einem Messgerät, das diese Verschiebung anzeigt. Die meisten Anordnungen stellen die Änderung der Induktivität durch unmittelbare Spannungs- oder Strommessung fest. Im einfachsten Falle wird eine Spule an eine Wechselspannung angeschlossen und der aufgenommene Strom in Abhängigkeit von der Stellung des Eisenkerns (= Standhöhe) gemessen (3). Um die Abhängigkeit des Ausschlages von Schwankungen der angeschlossenen Wechselspannung zu beseitigen, kann man die Strommessung vorteilhaft mit einem Dreieisenquotientenmesser vornehmen (4), wobei dessen eine Spule von dem sich in Folge der Kernverschiebung ändernden Strom J_1 durchflossen wird, während die andere am Netz liegt und den Strom J_2 erhält. J_1/J_2 ist dann unabhängig von Netzspannungsschwankungen.

Die Messung an einer einzigen normal bewickelten Spule weist verschiedene Nachteile auf. Zunächst ist der lineare Messbereich ziemlich klein. Wie man ferner auch die Anfangsstellung wählen mag, immer ist der durch die Spule gehende Strom von Null verschieden. Ein weiterer Nachteil, der allerdings nur bei gewissen Verwendungszwecken eine Rolle spielt, ist das Auftreten elektromagnetischer Kräfte, die sich dahingehend auswirken, daß der Kern in die Spule hinein gezogen wird. (Prinzip der zuerst gebauten "Dreieisen-Instrumente".) Diese Nachteile vermeidet die folgende Anordnung (5). Auf einer längeren Spule, die Primärspule, sitzt eine kürzere, die Sekundärspule (Bild 1), die so gewickelt ist, dass der Ausschlag am Instrument J in vorgeschriebener Weise in Abhängigkeit von der Kernstellung zunimmt. Die Kompensation der an der Sekundärspule entstehenden Spannung und damit die Schaffung eines Nullpunktes in der Anfangsstellung wird durch den Transformator Tr erreicht. Da der Kern sich vollkommen in der Spule, also in einem homogenen Felde befindet, so treten hier keine elektromagnetischen Kräfte auf.

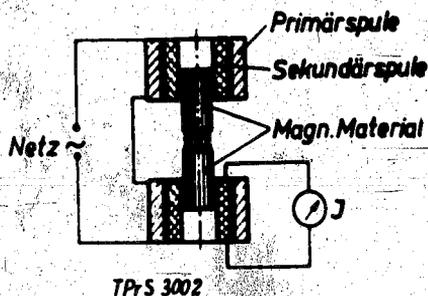
Bild 1



TA S 3002

Eine andere Anordnung (6) arbeitet aus dem gleichen Grunde mit 2 x 2 Spulen (2 Primär- und 2 Sekundärspulen) (Bild 2) und mit 2 Eisen-

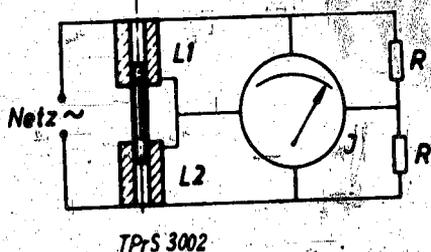
Bild 2



kernen, die durch ein nichtmagnetisches Material verbunden sind, dessen Länge so bemessen ist, dass die in der einen Primärspule nach der einen Richtung wirkende Kraft auf den Kern durch die in der zweiten Primärspule nach der anderen Richtung wirkende Kraft aufgehoben wird. Gemessen wird hier nach (6) die Spannung an einer der beiden Sekundärspulen.

Eine ganz andere Art der induktiven Messung von Bewegungsvergängen stellen die Steckenschaltungen dar (4). Man benutzt dabei sog. Doppeldrosseln und einen in beide Spulen hineinragenden, verschiebbaren Eisenkern. Die Anordnung und ein Schaltungsbeispiel gehen aus Bild 3 hervor. Durch die Verschiebung des Eisenkernes wird die Induktivität der

Bild 3



einer Spule erhöht, während gleichzeitig die der anderen verkleinert wird. Es ergibt sich also ein entsprechender Diagonalstrom, der mittels eines Doppelspul-Instrumentes angezeigt wird. Macht man die Spulen 100 mm lang und ordnet sie in einem Abstand von 60 mm an, so ergibt sich bei einem Eisenkern von 100 mm Länge in einem Bereich von insge-

samt 120 mm (+ 60 mm) Länge ein linearer Zusammenhang zwischen Kernstellung und Diagonalstrom.

Statt der Messung mit einem Instrument kann man auch zwei genau gleich gebaute Doppeldrosseln der obigen Art verwenden (4), deren Mitten miteinander verbunden sind, während die Enden an der Betriebsspannung liegen. Wird dann die eine Drossel wie oben verwendet, so stellt sich der Eisenkern der anderen Drossel automatisch auf die gleiche Höhe wie in der ersten ein, was zur Anzeige benutzt werden kann.

3.) Der neue Standmesser

a) allgemeines

Gegenüber den bekannten Anordnungen weist die im folgenden beschriebene mehrere Vorteile auf. Durch Verwendung von Gleichrichtern und Drehspulinstrumenten ist der Leistungsbedarf sehr viel geringer als bei Verwendung reiner Wechselstrominstrumente, sodass man kleinere Ausführungsformen wählen kann. Trotz der kleinen Abmessungen ist ausserdem die Netzspannung vollkommen von der Sekundärseite getrennt, die nur kleine Spannungen aufweist. Die auftretenden elektromagnetischen Kräfte sind allerdings bei der vorliegenden Anordnung nicht kompensiert (s. Seite 17). Sie betragen in der ungünstigsten Stellung des Eisenkerns je nach Ankerlänge etwa 12 - 14 g bei 150 mA Primärstrom.

Die gewählte Anordnung ist folgende:

Drei normal bewickelte Spulen werden koaxial nebeneinander angeordnet. Bild 4 lässt die Spulen und den Primärstromkreis erkennen. Die Netzspannungsschwankungen werden durch Verwendung einer Eisenwasserstoffröhre weitgehend ausgeschaltet, die den grössten Teil der angelegten

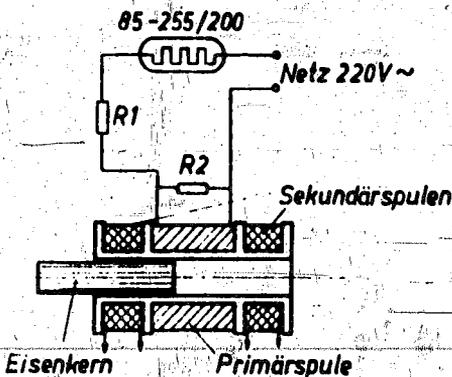


Bild 4
Primärstromkreis
des Standmessers

TP-S 3002

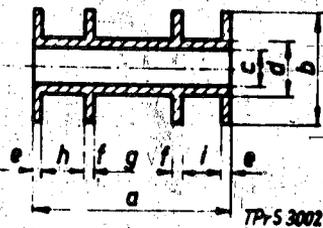
Spannung aufnimmt und dadurch besonders stabilisierend wirkt (max. -1,5 Ausschlagsänderung bei $\pm 10\%$ Netzspannungsschwankung). Um den Spannungsabfall an der Primärspule, also auch deren Strom ändern zu können, ist parallel zu ihr ein Widerstand (R_2) gelegt. Der Widerstand R_1 nimmt den noch restlichen Spannungsabfall auf.

Für die einzelnen Messungen wurde die Eisenwasserstoffröhre H. 85-255/200 verwendet und als Betriebsspannung die Netzspannung mit 220 V \sim gewählt. Der Widerstand R_1 wurde so eingestellt, dass der abfall an der Röhre 160-170 Volt betrug. Der Abfall an der Primärspule des Standmessers schwankt mit der Stellung des Eisenkerns und mit der Höhe des Stromes und betrug etwa 25-30 Volt bei 150 mA.

Der Eisenkern wird in Richtung der Spulenachse bewegt und ändert dadurch die Kopplung zwischen der Primär- und den Sekundärspulen. Nach dem Grade der Kopplung, richten sich die in letzteren jeweils hervorge-rufenen Spannungen, die im vorliegenden Falle auf zwei Arten zur Stand-messung herangezogen werden.

Angaben über die Daten der benutzten Spulen sind der folgenden Tabelle zu entnehmen. Der Eisenkern hatte durchweg 10 mm Durchmesser. Aus Bild 5 ist die Bedeutung der Buchstaben zu entnehmen.

Bild 5



Spule	a	b	c	d	e	f	g	h	i	Windungen und Drahtstärke	
										primär	sekundär
1	50	35	10	14	2,5	2	9	16	16	480 0,3 mm ϕ	2x1600 0,2 mm ϕ
2 +)	54	38	10	14	5	2	20	10	10	2000 0,2	2x1000 0,2
3	72	35	10	14	2,0	2,0	46	9	9	2350 0,3	2x1000 0,2

+) Der Durchmesser des ausgenutzten Wickelraumes war ungefähr gleich dem der anderen Spulen.

b) Messung der Differenz-Spannung

Die hierbei verwendete Schaltung zeigt Bild 6. Die beiden

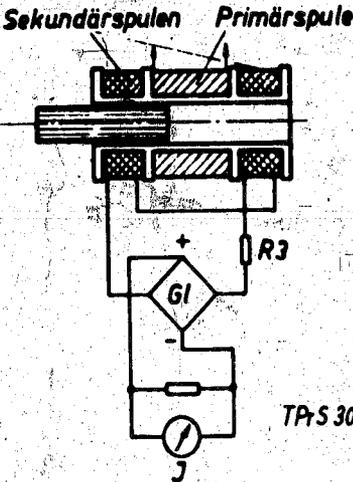


Bild 6

Sekundärstromkreis des Standmessers
für die Differenz-Spannungsmessung

ausseren Spulen sind im entgegengesetzten Sinne aneinander geschaltet. Die resultierende Spannung wird nach Doppelweggleichrichtung einem Drehspulinstrument zugeführt. Der Widerstand R_3 dient als Vorwiderstand und begrenzt den Strom. Obgleich bei der endgültigen Schaltung des Standmessers der Differenzstrom und nicht wie hier die Differenzspannung zur Messung herangezogen wurde, so seien doch im folgenden die erhaltenen Ergebnisse gebracht.

Bei allen Messungen wurde ein Schalttafelinstrument von Siemens & Halske (Klopfmesser) verwendet, das bei 20 Ohm Innenwiderstand einen Spannungsabfall von 7 mV aufwies, also einen Strom von 0,35 mA für den Endausschlag benötigte. Ein solch empfindliches Instrument wurde deshalb benutzt, weil es als einziges grösseres Schalttafelgerät kleineren Verbrauchs zur Verfügung stand. Der Gleichrichter war bei Vollausschlag mit

etwa 0,4 mA belastet. Befindet sich zunächst der Eisenkern vor der Spule, so ergibt sich kein Ausschlag, was allerdings nicht auf die Gegenkopplung der äusseren Spulen, sondern auf die geringe Kopplung mit der mittleren Spule zurückzuführen ist. Wird nun der Eisenkern durch die Spule hindurchgeschoben, so ergibt sich folgender Kurvenverlauf. Die Spannung steigt zunächst an und geht nach Erreichen eines Maximalwertes auf Null zurück. Dann steigt sie nochmals bis zu einem Maximalwert an und geht wieder auf Null zurück.

Bei gleicher Windungszahl der äusseren Spulen sind die Maxima gleich hoch und ihr Abstand voneinander hängt bei der gleichen Spule nur von der Länge des Eisenkerns ab. Bild 7 zeigt solche Kurven für einen

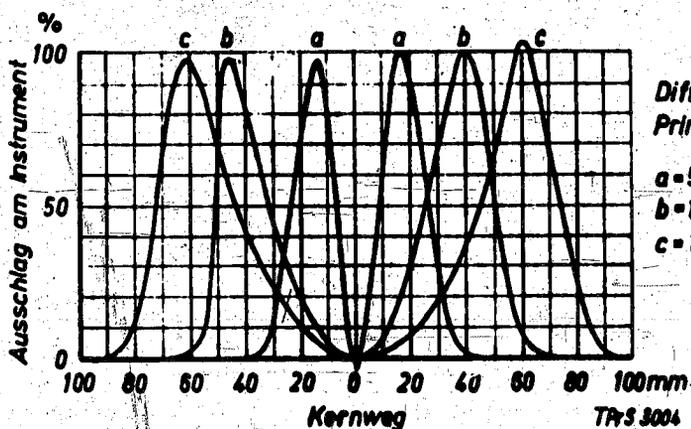


Bild 7

Differenzspannungen für
Primärstrom von 150 mA

- a = 50 mm Eisenkern
- b = 100 mm "
- c = 150 mm "

Primärstrom von 150 mA für die Spule 1. Als Nullpunkt ist darin, wie bei allen hier gebrachten Kurven die Stellung des Kerns gewählt, in der die in den beiden äusseren Spulen induzierten Spannungen gleich gross sind. Bei gleicher Windungszahl ist in diesem Punkte die Kopplung dieser Spulen mit der Primärspule gleich gross und folglich die Differenzspannung gleich Null. Der Widerstand R_2 von Bild 6 wurde jeweils so eingestellt, dass die

grösste auftretende Differenzspannung gerade Vollausschlag (= 100%) am Instrument hervorrief. Die absoluten Grössen interessieren hier nicht. Sie verhalten sich bei Kernen von 50, 100 und 150 mm Länge etwa wie 1:2:3 bei 150 mA Primärstrom. Sie haben im vorliegenden Fall die Grösse von etwa 0,3 bis 0,9 Volt bei etwa 0,4 mA. Betrachtet man die Kurvenverläufe, so zeigt sich, dass für den 50 mm Kern der Ausschlag im Nullpunkt viel schneller anwächst als an den beiden Enden. Das geradlinige Stück ist hier grösser als in den äusseren Kurvenästen. Es ist daher ratsam, für Messzwecke die mittleren Kurvenäste zu verwenden. Der Messbereich beträgt hier etwa 10 mA. Dieser angenähert geradlinige Verlauf lässt sich dadurch vergrössern, dass man den Kern etwas länger wählt. So beträgt bei einem 65 mm langen Kern der verwendbare Bereich etwa 12 mA. Macht man den Kern noch länger, so kommt man bei Verwendung obiger Spule zu den anderen Kurven des Bildes 7. Die mittleren Kurvenäste sind hier nach unten konvex und nur die äusseren Kurvenastenzweige zeigen noch, wie auch bei dem 50 mm Kern, für eine gewisse Strecke Geradlinigkeit. Doch gehen die Differenzspannungen langsamer als in den mittleren Kurvenästen des 50 mm Kerns auf Null zurück.

Da die Differenzspannung in der symmetrischen Stellung des Kerns Null ist, der gestreckte Kurvenverlauf für den 50 mm Kern aber erst etwas später beginnt, so wählt man bei der Verwendung der Anordnung vorteilhafter den Nullpunkt der Messung entsprechend dem Beginn des geradlinigen Teils. Der dadurch verlorengehende Teil der Instrumentenskala beträgt etwa 10%, was durchaus tragbar erscheint. Um Doppeldeutigkeit wegen der Haarnadelform des Kurvenverlaufs auszuschliessen, muss man noch den Kernweg irgendwie begrenzen.

Die Kurven des Bildes 7 gelten nur für einen Primärstrom von 150 mA. Für kleinere Ströme ergibt sich auch für den 50 mm Kern nicht mehr das schnelle Ansteigen in der Nähe des Nullpunktes, dagegen ergeben grössere Ströme noch etwas günstigere Verläufe. So kann z.B. bei 200 mA und dem 50 mm Kern der elektrische Nullpunkt schon auf etwa 5% der Skala gesetzt werden.

Wählt man die Abmessungen der Spulen anders als im vorliegenden Fall, so ergeben sich grundsätzlich die gleichen Kurvenverläufe. Insbesondere bringt es keine Änderung mit sich, wenn man bei gleicher Gesamtlänge der drei Spulen, die mittlere grösser und dafür die äusseren kleiner wählt. Jedoch ist eine solche Anordnung etwas günstiger, weil man mehr Amperewindungen (bei 150 mA 30 CAW) erhält und daher die Sekundärspulen höhere Spannungen liefern. So können bei einer solchen Spule (Spule 2) von 2000 Windungen (Widerstand etwa 95 Ohm) primär und 2 x 1000 Windungen (2 x 50 Ohm) sekundär bei 150 mA und einem 150 mm langen Kern Spannungen bis zu etwa 3 Volt bei 0,4 mA entnommen werden.

Eine Vergrößerung der Wickelraumlänge der mittleren Spule bei gleichzeitigem Auseinanderrücken der äusseren Spule (Spule 3) wirkt sich insofern günstig aus, als dann noch der 100 mm lange Eisenkern zur Messung geeignete Kurven liefert. Ziemlich geradlinigen Verlauf im mittleren Kurventeil hat man hier für etwa 20 mm. Auch der Kurvenverlauf für den 150 mm langen Kern ist hierbei weniger durchgebogen.

Es gibt indessen ein Mittel, das Durchhängen der mittleren Kurvenstücke für längere Kerne zu verringern bzw. sogar in ein Durchbiegen nach oben überzuführen. Man gibt den beiden äusseren Spulen verschiedene Windungszahlen. Dann wird das eine Maximum kleiner als das andere, sie behalten jedoch ihre Lage bei. Aber die Stelle, an der die Differenzspannung gleich Null ist (Nullpunkt der Abszisse), rückt jetzt näher nach dem kleineren Maximum zu. Die Kurve wird also vollends unsymmetrisch. Dafür wird der eine Anstieg länger. Bild 8 zeigt solche Kurven. Die Änderung des

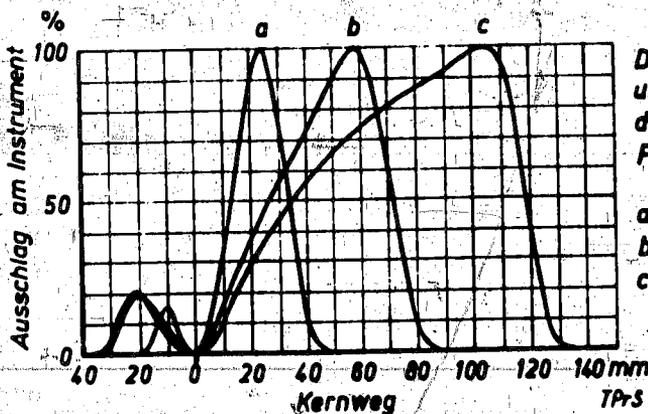


Bild 8

Differenzspannungen bei ungleicher Windungszahl der äusseren Spulen
Primärstrom 200 mA

a = 50 mm Eisenkern
b = 100 mm "
c = 150 mm "

9463

Kurvenverlaufs ist danach nur für längere Kerne von Bedeutung. Durch andere Wahl des Primärstromes oder auch der sekundären Windungszahlen (im hier genannten Falle 1100 und 1600, Spulenabmessungen etwa wie bei Spule 3) ist dabei nach den vorliegenden Erfahrungen an den anderen Spulen Geradlinigkeit für eine längere Strecke erreichbar (s. weiter unten). Doch wurde hier nicht weiter darauf eingegangen, da die auf Grund der dargestellten Verhältnisse angestellten Überlegungen die Heranziehung des Differenzstromes zur Messung aussichtreicher erscheinen liessen.

Dass die Messung der Spannungsdifferenz nur dann Vorteile gegenüber der Messung an einer Spule bietet, wenn man die mittleren Kurvenäste benutzt, lässt sich rein qualitativ auch anhand des für eine einzelne äussere Spule aufgenommenen Spannungsverlaufes leicht einsehen. Solche Kurven zeigt das Bild 9a für verschiedene Kernlängen und einen Strom

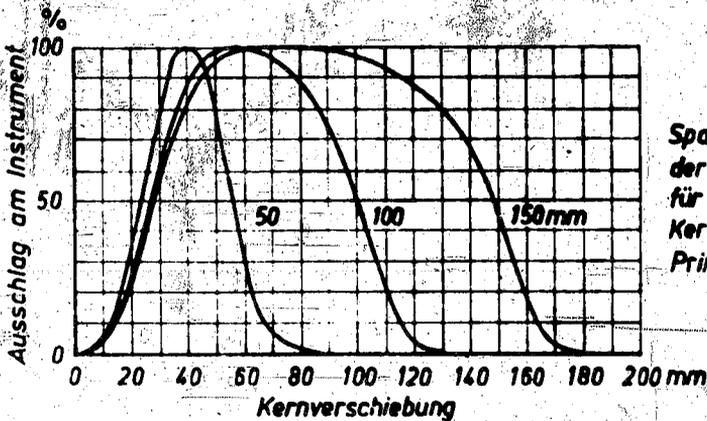


Bild 9a
Spannungen an einer
der äusseren Spulen
für verschiedene
Kernlängen.
Primärstrom 150 mA

von 150 mA. Als Nullpunkt ist hierin die Stellung des Kernes gewählt, bei der sich noch keine Spannung ergibt. Da die Primär- und die Sekundärspule nebeneinander angeordnet sind, sind die Kurven nicht ganz symmetrisch in Bezug auf ihr Maximum. Für jede der beiden äusseren Spulen ergibt sich eine solche Spannungskurve. Da wir die äusseren Spulen gegeneinanderschalten, ergibt sich die resultierende Spannung als Differenz der Einzelspannungen, wenn wir die Annahme machen, dass Phasenverschiebungen nicht auftreten. Da nach der Differenzbildung erst gleichgerichtet wird, müssen beide Kurven seitenvertauscht nebeneinander liegen. Für die Konstruktion der Differenzkurve ist zunächst nur unbekannt, in welchem Abstand die Kurven nebeneinander liegen. Nehmen wir nun an, sie lägen so, dass die Einzelkurven sich bei einem Ausschlag von 50% überschneiden (Bild 9b, 150 mm Kern).

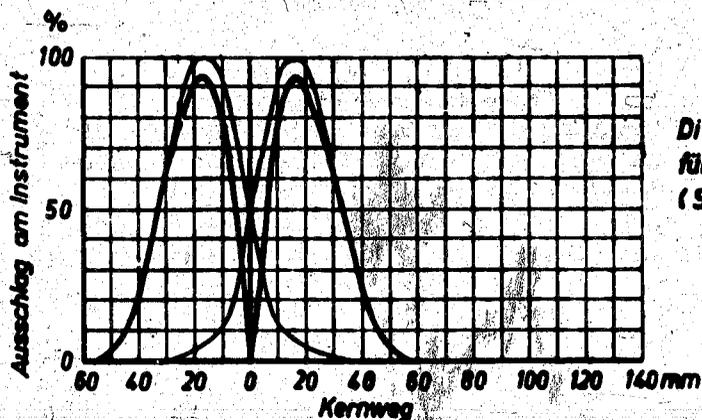


Bild 9b

Differenz-Spannung
für 50mm Kern
(Schnittpunkt bei 50%)
(konstruiert)

Da wir dann im geradlinigen Kurventeil arbeiten, ergibt sich ein geradliniges Einlaufen in den Nullpunkt. Hier ist also theoretisch eine Spitze. Die inneren Kurvenäste haben etwa die doppelte Steigung der äusseren. Nun läßt unsere Kurve a des Bildes 7 wohl schnelles Einlaufen in den Nullpunkt erkennen, jedoch ist die Steigung der auf- und absteigenden Äste nicht so sehr unterschiedlich. Ausserdem sind die Maxima kleiner als bei nur einer Spule, wie ebenfalls experimentell festgestellt wurde. Solche Kurvenverläufe ergeben sich aber dann, wenn die beiden einzelnen Kurven näher beisammen liegen (Bild 9c).

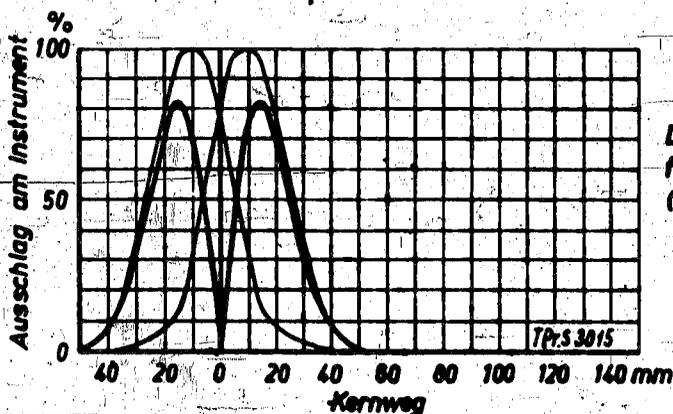


Bild 9c

Differenz-Spannung
für 50mm Kern
(Schnittpunkt bei 80%)
(konstruiert)

Sind also die Lage der einzelnen Spannungskurven zueinander und ihre Verläufe bekannt, so lässt sich auch die hier interessierende Differenz-Spannung ungefähr angeben. Vor allem geht aus den Einzelkurven hervor, dass die resultierenden Spannungen in den mittleren Ästen immer schärfer in den Nullpunkt einlaufen als in den Äusseren.

Die Kurvenverläufe für die längeren Eisenkerne lassen sich entsprechend erklären. Man übersieht so auch das Verhalten bei ungleichen Windungszahlen. So ist z.B. bei den Kurven b und c der Abbildung 8 der Einfluss der einen Spule zu gering. Man muss daher entweder die Windungszahlen beider Spulen mehr einander annähern oder teilweise schon durch Verringerung des Primärstromes die Kurvenverläufe der einzelnen Spulen an sich schon etwas günstiger gestalten.

c) Messung des Differenzstromes

Das besprochene geradlinige Annähern der Kurven an den Nullpunkt lässt sich infolge der Nichtlinearität der Gleichrichter in der angegebenen Schaltung nicht verwirklichen. Die anfängliche Krümmung wird also immer vorhanden sein. Ausser diesem Nachteil ergibt sich, dass infolge der bereits erwähnten Doppeldeutigkeit nur einer der beiden Kurvenäste verwendet werden kann, was eine schlechte Ausnützung der Anordnung bedeutet.

Misst man dagegen statt der Differenzspannung den Differenzstrom, so entfallen diese beide Nachteile. Die entsprechende Schaltung zeigt Bild 10. +)

+) Daten für ein Anwendungsbeispiel:

Spule 2 Primärstrom 100 mA
Sekundärströme je 1,45 mA

Instrument 7 mV 8Ω von S.u.H.

5 mA Gleichrichter

$R_1 = 260\Omega$ } Bild 4
 $R_2 = 110\Omega$ }

$R_3 = 1500\Omega$

$R_4 = 1400\Omega$

Parallelwiderstand zum Instrument 200Ω

Serienwiderstand 50Ω

} Bild 10

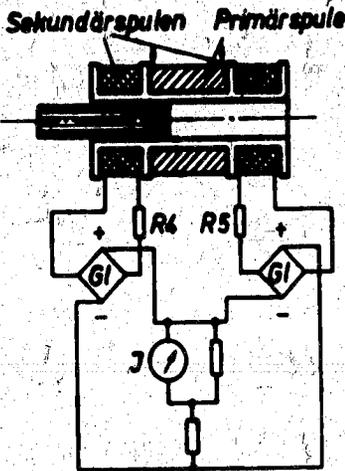


Bild 10

Sekundärstromkreis des Standmessers für die Differenz-Strommessung

TPrS 3003

Die Widerstände R_4 und R_5 dienen dazu, die von jeder der beiden Spulen gelieferten Höchstströme auf 1 mA zu begrenzen (= Nennströme der Gleichrichter). Die einzelnen Ströme werden zunächst gleichgerichtet und dann in zueinander umgekehrtem Sinne auf ein Drehspulinstrument gegeben. Dadurch wird erreicht, dass im Nullpunkt (= sicheriger Nullpunkt) die einzelnen Ströme durch die Gleichrichter wesentlich von Null verschieden sind und diese also dort im linearen Gebiet arbeiten. Die Folge ist, dass jetzt die Kurven gerade durch den Nullpunkt gehen und der lineare Messbereich etwa doppelt so gross wie vorher ist. Bild 11 zeigt zunächst konstruierte Kurven, wobei die Einzelstromkurven identisch mit den Spannungskurven gewählt und berücksichtigt wurde, dass hier erst nach der Gleichrichtung die Differenzbildung erfolgt. Die Einzelkurven liegen daher spiegelbildlich versetzt und seitevertauscht zueinander. Bild 12 zeigt eine mit der Spule 2 aufgenommene Kurve (1) für einen 0,5 m langen

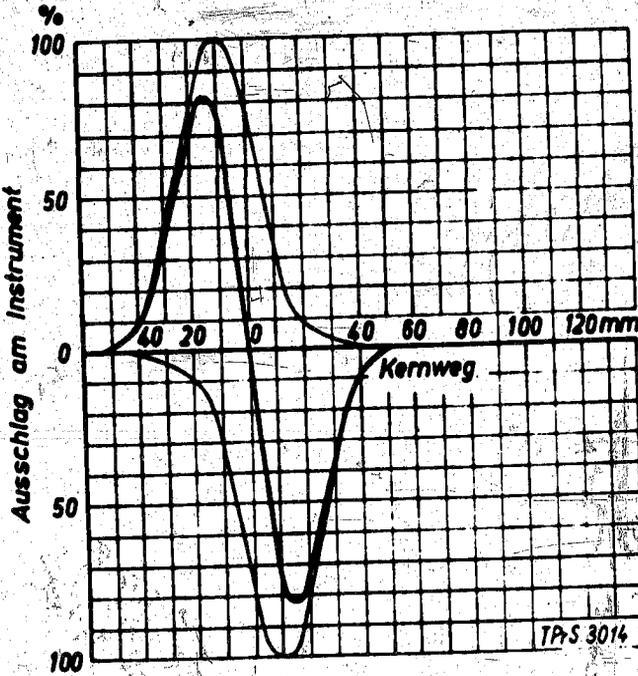


Bild 11
Differenz-Strom
für 50mm Kern
(Schnittpunkt
bei 80%)
(konstruiert)

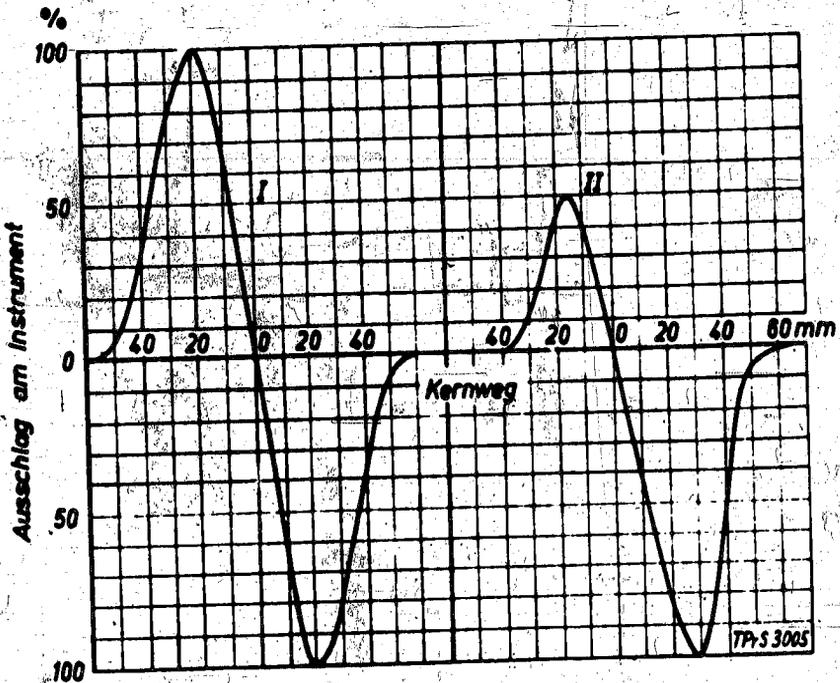


Bild 12 Differenzströme bei gleichen (I) und ungleichen Strömen (II)
in den äußeren Spulen. Kernlänge=65mm, Primärstrom=150mA

Eisenkern, der bei der endgültigen Ausführung verwendet wurde. Wir haben Geradlinigkeit für nahezu 30 mm, die für den hier geforderten Zweck völlig ausreicht. Durch unseren Nullpunkt verläuft die Kurve geradlinig. Es kehrt sich hier die Stromrichtung zu Instrument um. Wenn man also den geradlinigen Bereich ganz ausnutzen will, so muss man entweder das Instrument umschalten, anschließen oder den rechnungsbem. Nullpunkt in die Mitte der Skala legen. Nimmt man längere Eisenkerne, so ergeben sich erwartungsgemäss durchgebogene Kurven und keine Geraden mehr. Auch der unsymmetrische Fall kann hier Anwendung finden, indem man einfach die Stroms. etwas verschieden macht. So ist in Bild 12 die Kurve II unter sonst gleichen Bedingungen wie I aber bei verschiedenen Sekundärströmen aufgenommen; sie zeigt auch insgesamt für nahezu 30 mm Geradlinigkeit, etwa 20 mm lang nach der einen und 10 mm nach der anderen Seite vom Nullpunkt aus. Bei einem geforderten Messbereich von 20 mm kann man daher hier ohne Verlegung des Nullpunktes arbeiten.

Ganz allgemein lassen sich alle bei der Spannungsdifferenzmessung erhaltenen Ergebnisse nach hier übertragen, da in beiden Schaltungen nur lineare Operationen mit den für die einzelnen Spulen erhaltenen Kurven vorgenommen werden. So erhält man für die Differenzstrommessung überall dort Geradlinigkeit, wo sie sich für die Spannungsmessung ergibt.

Fordert man für eine längere Strecke (mehr als 25-30 mm) Geradlinigkeit, so geht man am vorteilhaftesten zu einem anderen Spulenaufbau über, da sich sonst die Unsymmetrien in den Spannungskurven nach Bild 9a zu nachteilig auswirken. Man macht die mittlere Spule länger, sodass sich der Kern immer in einem homogenen Magnetfeld bewegt (wie in Bild 1) und bringt die Sekundärspulen auf die Primärspule auf. Dann wird Symmetrie der Einzelspannungskurven erreicht und man erhält so bessere Geradlinigkeit für den Differenzstrom bzw. spannung. Der Abstand der Sekundärspulen richtet sich danach, für welche Strecke man Geradlinigkeit wünscht. Im ganzen wird jedoch diese Anordnung wesentlich grösser sein.

Die Schaltung für die Differenzstrommessung hat eine gewisse Ähnlichkeit mit der Doppeldrossel-Anordnung nach Bild 3. Vor allem sind die Kurvenverläufe genau die gleichen. Die Ähnlichkeit erstreckt sich jedoch nur darauf, dass in zwei Spulen eine Spannung entsteht. In Bild 3 liegen beide Spulen hintereinander an einer konstanten Spannung, der Netzspannung, in Bild 10 dagegen stellt sich die Gesamtspannung entsprechend der Kopplung mit der mittleren Spule ein. Weiter ist die Schaltung nach Bild 5 eine Brückenschaltung, die Widerstände bilden den einen Zweig, die Induktivitäten den anderen. In unserem Falle haben die Widerstände nur die Aufgabe, die von den einzelnen Spulen gelieferten Ströme auf die gewünschten Werte zu bringen. Die Wirkungsweise ist also hier eine grundsätzlich andere. Im übrigen weist die neue Anordnung gegenüber der nach Bild 3 die bereits oben erwähnten Vorteile auf.

Da im vorliegenden Falle das Auftreten magnetischer Kräfte ohne Bedeutung war, wurde auf deren Kompensation kein Wert gelegt. Indessen lassen sich diese Kräfte beispielsweise dadurch beseitigen, dass man durchweg den bereits auf Seite 16 angegebenen Spulenaufbau wählt. Man kann aber auch nach Bild 2 durch Verwendung einer weiteren Spule und entsprechender Unterteilung des Kerns die magnetischen Kräfte unwirksam machen.

Schrifttum

- 1.) P.M. Pflüger Die Fernmessverfahren ATM V 380-2
- 2.) G. Keinath Die Technik elektrischer Messgeräte 1928 II Bd. S. 313
- 3.) DRP Nr. 221590 von 1909 Vorrichtung zur kontinuierlichen Registrierung von in Hohlkörpern eingeschlossenen Flüssigkeitssäulen, bei welcher die Kapazität oder Induktanz des die Registriervorrichtung enthaltenden Stromkreises durch einen von der Flüssigkeitssäule bewegten Körper geändert wird.
- 4.) W. Geyger Induktive Fernübertragung von Bewegungsvorgängen ATM V 3822-I -dort weiteres Schrifttum-
- 5.) DRP 369132 von 1923 Elektromagnetische Anzeigevorrichtung für Flüssigkeits-, Gas- und Dampfmengen
- 6.) DRP 651765 von 1935 Strömungsmengenmesser für Gase und Flüssigkeiten