

nungssprung doch gerne in Kauf nehmen. Gerade mit Rücksicht auf diese Schwingungserscheinungen dürften die im Abschnitt 9) beschriebenen Anordnungen manches Bedenkliche in sich bergen, denn dort haben wir es mit Induktivitäten oder Kapazitäten, die direkt an die zu schützende Leitung angeschlossen werden, zu tun.

Was nun die Größe der in Frage kommenden Selbstinduktionen und Kapazitäten betrifft, so kann man darüber heute auf Grund theoretischen Materials eigentlich nur wenig sagen und man wird sich in dieser Beziehung lieber auf die Erfahrungen der Praxis verlassen. Die Frage indessen, ob man der Drosselspule oder dem Kondensator den Vorzug geben soll, dürfte jedenfalls nur vom kommerziellen Standpunkt aus Interesse bieten.

Der Verfasser hofft, noch über an einer künstlichen Leitung sowie an einer größeren Hochspannungsanlage nach dieser Richtung hin anzustellende Versuche an dieser Stelle berichten zu können.

**Zusammenfassung.** Eine im Nebenschluß zu einer Doppelleitung liegende Kapazität mit vorgeschaltetem Widerstande wirkt ganz ähnlich wie eine geshuntete Drosselspule. Auch hier ergeben sich zu beiden Seiten der Anschlußstelle Spannungssprünge, deren Höhe sich mit dem vorgeschalteten Widerstande ändert. In bezug auf die Energieverhältnisse sind die betrachteten beiden Anordnungen vollkommen identisch, sofern nur die Selbstinduktion der Drosselspule und die Kapazität des Kondensators in einem bestimmten Verhältnis zu einander stehen, das nur vom Wellenwiderstand der Leitung zu beiden Seiten der Anschlußstelle abhängt.

Durch geeignete Kombination der drei Elemente: Konzentrierte Selbstinduktion, Kapazität und Widerstand kann man es erreichen, daß der einer Wanderwelle einmal entnommene Energiebeitrag dieser dauernd entzogen bleibt, und daß gleichzeitig unetstige Spannungssprünge unterdrückt werden.

Zur Vermeidung von Resonanzschwingungen muß das Verhältnis von Selbstinduktion zu Kapazität ganz bestimmte Bedingungen erfüllen.

Die Campos-Anordnung bietet einen Ersatz für Stufenschalter. Beim Vorstufenschalter wird die Überbrückung des Schutzwiderstandes durch rein mechanische Maßnahmen erreicht, bei der Campos-Anordnung gelingt dies auf rein elektrischem Wege.

## Eine neue Methode zur Aufnahme von Hysteresisschleifen.

Von

Dipl.-Ing. Arle Ytterberg, Chemnitz.

**1. Allgemeine Orientierung und Ziel.** Die gewöhnliche Methode Hysteresisschleifen aufzunehmen, bei der der Magnetisierungsstrom in Sprüngen von einem positiven zu einem negativen Maximum geändert und die jeweilige Änderung der Induktion mit dem ballistischen Galvanometer festgestellt wird, hat bekanntlich mehrere Nachteile. Sie erfordert ein sehr genaues Arbeiten, wenn die Schleife sich schließen soll, und wird dies nicht erreicht, so muß das Resultat durch eine umständliche Ausgleichsrechnung korrigiert werden. Außerdem gehen die, durch Erwärmung der magnetisierenden Spule hervorgerufenen, langsamen Änderungen des Stromes für die Ablesungen an dem Galvanometer verloren.

Diese Schwierigkeiten werden durch die von Evershed und Vignoles<sup>1)</sup> vorgeschlagene Methode umgangen. Bei dieser wird der zu untersuchende Eisenring mit zwei Wicklungen, die sich entgegenwirken, versehen. Durch die eine Wicklung wird das Eisen auf die höchste gewünschte Induktion gebracht und das Eisen durch wiederholtes Kommutieren auf die entsprechende Hysteresisschleife „eingeschliffen“. Dann wird durch die andere

<sup>1)</sup> Heinke, „Handbuch der Elektrotechnik“, Band II, Seite 302.

Wicklung plötzlich eine gewisse Stromstärke geschickt, wobei die Induktion um einen entsprechenden Betrag, der auf dem Galvanometer abgelesen wird, abfällt. Dann wird dieser Strom wieder ausgeschaltet, so daß die ursprüngliche MMK. wiederkehrt. Diese zweite Wicklung muß so bemessen sein, daß dadurch die MMK. der ersten vernichtet und eine ebenso große negative MMK. erzeugt werden kann, d. h. sie muß doppelt so viele AW. geben können wie die erste Wicklung.

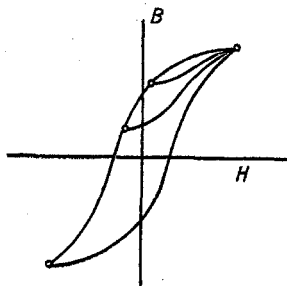


Fig. 1.

Nun hat die Hysteresisschleife die Eigenschaft, daß, wenn man von dem Umkehrpunkt der Schleife ausgehend die MMK. beliebig verkleinert und dann die ursprüngliche MMK. wieder herstellt, so stellt sich die Induktion auf den ursprünglichen Betrag wieder ein, was damit zusammenhängt, daß dieser MMK. nur eine Induktion entspricht. Der Anfangszustand wird also wieder hergestellt, und durch Einschalten einer anderen Stromstärke in die zweite Wicklung kann ein zweiter Punkt der Schleife aufgenommen werden usw. Der Vorgang ist in der Abb. 1, die die Abhängigkeit der Induktion  $B$  von der Feldstärke  $H$  veranschaulicht, dargestellt.

Der Vorteil ist dann der, daß der Anfangszustand zwischen jeder Ablesung wieder hergestellt wird und kontrolliert werden kann. Stellt es sich heraus, daß während der Ablesung die Stromstärke in der ersten Wicklung sich etwas geändert hat, so kann die richtige Stromstärke wieder einreguliert werden. Außerdem wird jeder Punkt unabhängig von den anderen für sich bestimmt, und die Ablesungsfehler addieren sich nicht wie bei der alten Methode.

Diese Methode hat allerdings den Nachteil, daß zwei getrennte Wicklungen nötig sind, wodurch die Kosten für die Anordnung verdreifacht werden. Da der Wicklungsraum in dem Eisenring beschränkt ist, so werden die Spulen bedeutend mehr erwärmt als bei der alten Methode, was sehr unangenehm ist, weil der Widerstand sich durch die Erwärmung stark ändert.

**2. Beschreibung der neuen Methode.** Es soll hier eine neue Methode beschrieben werden, die auf demselben Prinzip beruht, bei der aber nur eine Wicklung verwendet wird. Die hierbei verwendete Schaltung ist in der Abb. 2 wiedergegeben. Auf dem zu untersuchenden Eisenring befindet sich außer der an das Galvanometer angeschlossenen Wicklung  $w$  nur eine magnetisierende Wicklung  $W$ . Diese ist über das Amperemeter  $A$  an die mittleren Kontakte  $k_1, k_2$  eines Umschalters ohne Unterbrechung  $U$  angeschlossen. Die unteren Kontakte  $k_3, k_4$  des Umschalters sind über einen Widerstand  $R_1$  an die Batterie  $B$  angeschlossen.

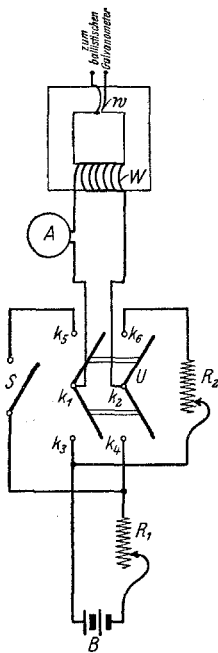


Fig. 2.

Mit dieser Anordnung wird nun die Hysteresisschleife folgendermaßen aufgenommen. Zuerst wird der Widerstand  $R_2$  kurzgeschlossen und der Schalter  $S$  geschlossen. Der Umschalter  $U$  wird z. B. nach unten gelegt und dann die Stromstärke mit dem Widerstand  $R_1$  auf einen passenden Betrag einreguliert. Dann wird der Strom durch Umschalten des Umschalters mehrmals kommutiert. Der Schalter  $U$  wird nun nach unten gelegt, der Schalter  $S$  geöffnet und der Widerstand  $R_2$  auf einen passenden Betrag einreguliert. Nun wird der Schalter  $U$  bloß so weit umgelegt, daß die Messer gleichzeitig  $k_3$  und  $k_4$  bzw.  $k_5$  und  $k_6$  berühren, was durch Unterklemmen eines Stückes Holz oder dergleichen erzielt werden kann. Der Widerstand  $R_2$  ist dabei parallel zur Wicklung  $W$  geschaltet und bewirkt

eine Vergrößerung des Spannungsabfalles in dem Widerstand  $R_1$ ; die Wicklung  $W$  wird einer kleineren Spannung ausgesetzt, und die Stromstärke in der Wicklung fällt ab, während das Galvanometer die erfolgte Verkleinerung der Induktion anzeigt. Hierauf wird der Schalter  $U$  wieder nach unten geschaltet. Vor der nächsten Ablesung wird der Widerstand  $R_2$  auf einen kleineren Betrag einreguliert usw., bis er kurzgeschlossen wird und der Strom, in der Wicklung Null wird. Dann wird der Schalter  $S$  geschlossen und der Widerstand  $R_2$  auf einen großen Betrag einreguliert. Der Schalter  $U$  wird bei den jetzt folgenden Ablesungen so weit umgelegt, daß die Verbindung mit  $k_3$  und  $k_4$  gelöst wird. Hierbei kehrt die Stromrichtung um und stellt sich auf einen kleineren als den ursprünglichen Betrag ein, weil dabei der Widerstand  $R_2$  mit  $R_1$  in Serie geschaltet ist.

Das Amperemeter  $A$  muß entweder ein Wechselstrom- oder ein Gleichstrominstrument mit doppelseitigem Ausschlage sein, wenn man es nicht vorzieht, die Stromrichtung durch einen Kommutator beizubehalten.

**3. Kritik der neuen Methode.** Nun könnte man gegen diese Methode vielleicht den Einwand machen, daß E. Gumlich und Erich Schmidt<sup>1)</sup> bei Untersuchungen an weichem Eisen gefunden haben, daß die Größe der maximalen Induktion und die von der Schleife eingeschlossene Fläche von der Größe der Sprünge abhängig sind, wonach es unzulässig sein müßte, mit so großen Sprüngen zu arbeiten. Ihre Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

$B_{\max}$ bei kontinuierlicher Ummagnetisierung	$B_{\max}$ bei sprunghafter Ummagnetisierung	Die Hysteresisverluste bei sprunghafter in % von denjenigen bei kont. Magnetisierung	Zahl der Sprünge zwischen $+B_{\max}$ und $-B_{\max}$
13090	13080	95 %	50
„	13070	92	30
„	13140	80	8
„	13300	—	2
16320	16320	97	110
„	16320	95	30
„	16340	84	8
„	16330	—	2
18530	18530	97	109
„	18520	95	32
„	18520	93	9
„	18530	—	2

Nun ist aber zu bemerken, daß es nicht allein auf die Größe der Sprünge, sondern wesentlich auf die Schnelligkeit, mit der von einem Zustande in einen anderen übergegangen wird, ankommt. „Plötzliche“ Sprünge gibt es überhaupt nicht; der Magnetisierungsstrom verläuft als Funktion der Zeit fast immer auf einer logarithmischen Kurve mit einer kleineren oder größeren Zeitkonstante. Die genannten Autoren haben dies nicht näher berücksichtigt und geben deshalb leider nicht die Zeitkonstante der Änderung an. Es dürfte aber anzunehmen sein, daß sie durch Verwendung hoher Vorschaltwiderstände eine sehr rasche Änderung hervorgerufen haben. Für gewöhnlich aber ändert sich die Stromstärke wegen der Selbstinduktion der Magnetisierungsspule verhältnismäßig langsam, und dann ist es belanglos, ob die Schleife in einem Schlag oder in Absätzen durchgelaufen wird.

Dr.-Ing. F. Holm<sup>2)</sup> hat mit Vorteil die Methode von Evershed und Vignoles verwendet und das Resultat mit den bei Wechselstrom von 50 Perioden auftretenden Hysteresisverlusten verglichen, wobei die beiden Meßmethoden eine vollkommene Übereinstimmung zeigten. Bekanntlich stimmen die mit der alten ballistischen Methode bestimmten Hysteresisverluste ebenfalls sehr gut mit den bei Wechselstrom gemessenen

<sup>1)</sup> ETZ. 1900, S. 233.

<sup>2)</sup> Untersuchungen über magnetische Hysteresis, Diss. Berlin 1912.

überein. Andererseits darf das Verhältnis zwischen dem Ohmschen Widerstand und dem Selbstinduktionskoeffizienten des Kreises nicht allzu klein gewählt werden, da dabei das ballistische Galvanometer nicht seinen vollen Ausschlag macht. Eine Berechnung zeigt jedoch, daß diese Gefahr nicht besonders groß ist, da das Galvanometer sich ein kleines Stück aus der Nullage entfernen darf, ehe die Induktion auf ihren Endbetrag gekommen ist, ohne daß dies einen merkbaren Einfluß auf das Resultat hat.

Die Abb. 3 zeigt den schematischen Verlauf des Magnetisierungsstromes beim Umschalten des Schalters U. Im Punkte A wird die Wicklung zuerst kurzgeschlossen, und der Strom sinkt auf einer logarithmischen Kurve, die sich asymptotisch der Nullinie nähert, ab.

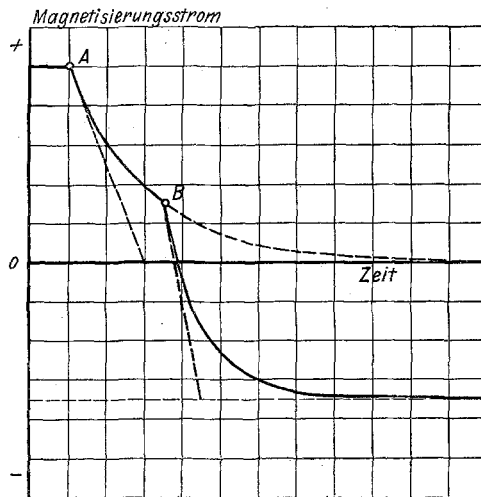


Fig. 3.

Im Punkte B hat sich die Umschaltung vollzogen, und der Strom sinkt weiter auf einer anderen logarithmischen Kurve, die eine kleinere Zeitkonstante hat, weil nunmehr der Ohmsche Widerstand mit dem Widerstand  $R_2$  vergrößert worden ist, bis der Strom den erwünschten negativen Betrag erreicht hat. Von einer urplötzlichen Änderung kann unter normalen Umständen nicht die Rede sein.

Es dürfte deshalb anzunehmen sein, daß die Methode gute Resultate liefern wird.

**4. Zusammenfassung.** Es wird eine neue Methode zur Aufnahme von Hysteresisschleifen beschrieben, welche auf der Verwendung des ballistischen Galvanometers beruht, bei der aber die bekannten Schwierigkeiten bei der alten ballistischen Methode umgangen werden.