

Technischer Bericht Nr. 15

Entwicklung einer Apparatur zur Untersuchung
unsymmetrischer Magnetisierungsvorgänge in Hinblick
auf den Aufzeichnungsvorgang beim Magnetton-Verfahren

Dipl.-Ing. G. SCHWANTKE

Technischer Bericht Nr. 15

Entwicklung einer Apparatur zur Untersuchung unsymmetrischer Magnetisierungsvorgänge in Hinblick auf den Aufzeichnungsvorgang beim Magnetton-Verfahren

Zusammenfassung

Für Untersuchungen der Magnetisierungsvorgänge, die beim Aufzeichnungsvorgang des Magnetton-Verfahrens auftreten, müssen Hysterese-Schleifen in zum O-Punkt unsymmetrischer Lage beobachtet werden. Es wird eine Apparatur beschrieben, die solche Schleifen auf einem Leuchtschirm sichtbar macht, indem die Magnetisierung der Probe direkt einen Elektronenstrahl auslenkt. Das Erregerfeld wird durch eine rein magnetisch wirksame Brückenschaltung kompensiert. Die anhand von Oszillogrammen diskutierten Ergebnisse machen das Prinzip des Aufspreehvorgangs deutlich.

Heinrich-Hertz-Institut für Schwingungsforschung

Der Bearbeiter

gez: Schwantke

(Dipl.-Ing. G. Schwantke)

Der Abteilungsleiter

gez: Cremer

(Prof. Dr.-Ing. L. Cremer)

Der Institutsdirektor

gez: Rothert

(Prof. Dr.-Ing. G. Rothert)

Berlin-Charlottenburg, den 20.7.1957

Entwicklung einer Apparatur zur Untersuchung unsymmetrischer Magnetisierungsvorgänge in Hinblick auf den Aufzeichnungsvorgang beim Magnetton-Verfahren

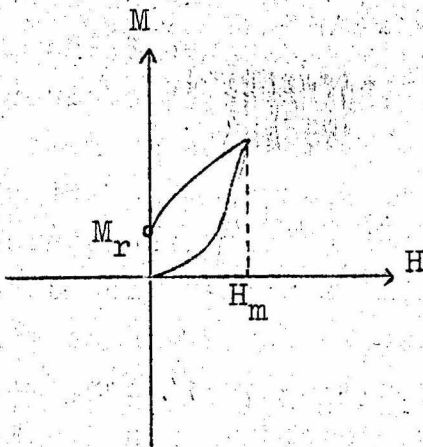
- I. Allgemeine Vorstellungen über den Mechanismus des Aufzeichnungsprozesses und die sich daraus ergebende experimentelle Aufgabenstellung.
- II. Erörterungen zur Wahl des Messprinzips der Apparatur.
- III. Beschreibung der Apparatur.
- IV. Diskussion der Ergebnisse.

I. Aufgabenstellung

Die Magnetisierungsvorgänge, die sich im Magnetband während des Vorbeilaufens am Sprechkopf unter der Wirkung des Spaltfeldes abspielen, sind noch immer wenig geklärt. Insbesondere ist die Erklärung der linearisierenden Wirkung der dem Sprechstrom überlagerten Hochfrequenz noch nicht befriedigend gelungen.

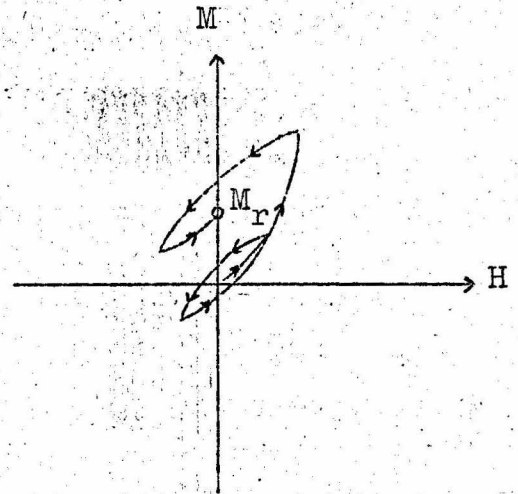
Die bisher leistungsfähigste Theorie in Hinblick auf die Deutung einer ganzen Reihe von Effekten, die von CAMRAS [1] aufgestellt wurde, setzt voraus, dass die Spaltausdehnung klein ist gegen die Hochfrequenz-Wellenlänge auf dem Band, so dass diese voll aufgezeichnet wird. Die in praktischen Fällen benutzten Grössenordnungen von Spaltbreite, Bandgeschwindigkeit und Ueberlagerungsfrequenz sind aber von diesem Grenzfall sehr weit entfernt.

Viel näher liegt der entgegengesetzte Grenzfall, dass die Spaltausdehnung gross ist gegen die HF-Wellenlänge, so dass während des Vorbeiwanderns eines Bandelementes am Spalt eine grössere Zahl von HF-Zyklen durchlaufen wird. Beide Grenzfälle werden schematisiert in Abb. 1 gegenübergestellt.



a) Grenzfall $S \ll \lambda_{HF}$

H_m = Feldstärke im
Feldmaximum



b) Grenzfall $S \gg \lambda_{HF}$

(aus zeichentechn. Grün-
den nur wenige Zyklen
angenommen)

S = Spaltbreite

λ_{HF} = Hochfrequenz-
wellenlänge

Abb. 1.

Für den zunächst wenig übersichtlichen Grenzfall b) hat WESTMIJZE [2] ein Schema angegeben, das durch Annäherung der gekrümmten Hysteresebahnen durch Geradenstücken den Vorgang erhellt. Abb. 2.

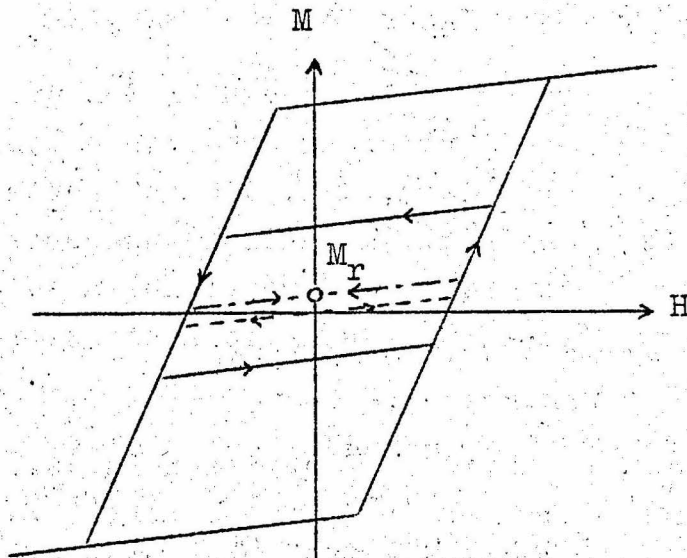


Abb. 2. Schema von WESTMIJZE

Das Ueberwiegen reversibler Magnetisierungsänderungen bei sehr kleinen und das der irreversiblen bei sehr grossen Feldstärken wird dabei dahingehend schematisiert, dass unterhalb einer gewissen "kritischen" Feldstärke die Zyklen auf einem (gestrichelten) reversiblen geraden Ast verlaufen. Wird dieser Wert überschritten, so biegt die Magnetisierungsbahn mit einem Knick in den steilen Grenzastr ein. Der ganze Zyklus bildet sich dann ab in einem Parallelogramm, das nach Massgabe der NF-Phase eine mehr oder weniger unsymmetrische Lage zum O-Punkt einnimmt. Wird die Feldstärkenamplitude noch grösser, so bläht sich die Schleife weiter auf, so dass grössere Stücke der steilen Grenzäste durchlaufen werden, bis schliesslich die Sättigungsäste erreicht werden. Nimmt nun das Feld für das betrachtete Banelement wieder ab, indem es den Spalt verlässt, so bildet sich in gleicher Weise die Schleife wieder zurück, bis die HF-Amplitude die "kritische" Feldstärke erreicht. Ist in diesem Augenblick der Phasenwert des NF-Feldes $\neq 0$, so hat sich die Schleife auf einen reversiblen (strich-punktiert) Ast zusammengezogen, der nicht durch den O-Punkt geht und auf dem sich alle weiteren Zyklen abspielen, bis zuletzt der Schnittpunkt mit der M-Achse als endgültiger Remanenzwert erreicht wird.

Man übersieht leicht, dass nach dieser Konstruktion tatsächlich ein linearer Zusammenhang besteht zwischen der NF-Phase und dem erreichten Remanenzwert, sofern nur im Feldmaximum die "kritische" Feldstärke überschritten wurde.

Nachdem so unsere Vorstellungen über den prinzipiellen Mechanismus eine gewisse Orientierung erhalten haben, kann man darangehen, das Modell zu verfeinern, d.h. die in Wahrheit sicher zu erwartenden Krümmungen der Magnetisierungsäste zu berücksichtigen. Der Uebergang von vorwiegend reversiblen zu irreversiblen Magnetisierungsänderungen geht ja kontinuierlich vor sich.

Die einfachste solche Näherung stellt die Anfangsäste durch Parabeln dar, die für einen gewissen Feldstärkenwert mit stetiger Tangente übergehen in Geradenstücke. Weitere Erhöhung verlängert nur die Geradenstücke, die unter sich parallel sind.

Abb. 3.

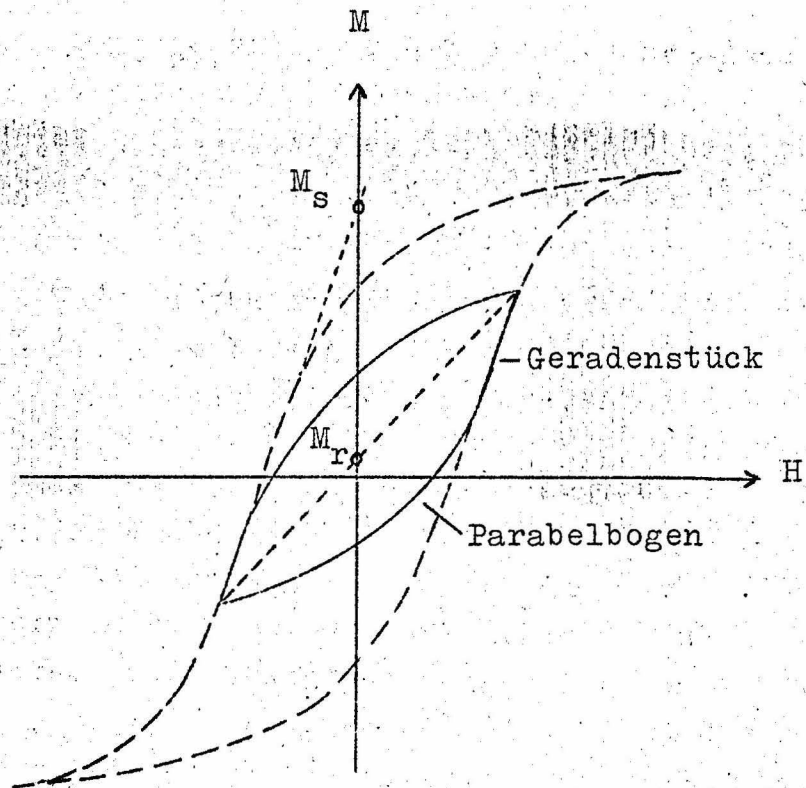


Abb. 3. Verbesserte Näherung der Hystereseschleifen

Auch für diesen Fall zeigt die Rechnung, wie hier nicht näher ausgeführt werden soll, dass ein linearer Zusammenhang besteht zwischen der Phase des NF-Feldes und dem erreichten Remanenzwert. Es gilt für tiefe Tonfrequenzen:

$$M_r = M_s \cdot \frac{i_{NF}}{i_{HF}} \quad \begin{array}{l} M_r = \text{Remanenz} \\ M_s = \text{Sättigungsremanenz} \end{array}$$

genau wie für das Schema von WESTMIJZE. Der Vorteil der Verfeinerung besteht darin, auch Aussagen über den Frequenzgang bei höheren Frequenzen machen zu können.

Dabei gelten folgende Voraussetzungen:

- 1.) Die Schleifen lassen sich in der beschriebenen Weise durch Parabelbögen und Geradenstücke annähern.
- 2.) Schleifen in symmetrischer und unsymmetrischer Lage zum O-Punkt sind bei gleicher HF-Amplitude kongruent.
- 3.) Die Auslenkung etwa durch ein Gleichfeld bei gleicher

HF-Amplitude geschieht längs linearer Äste.

- 4.) Bei der Zusammenziehung der Schleifen bei Verminderung des Wechselfeldes wandern die Umkehrpunkte längs der Tangente des zugehörigen auf- oder absteigenden Astes.

Diese Voraussetzungen bedürfen natürlich der experimentellen Prüfung. Eine solche Prüfung in Verbindung mit einer allgemeineren Abbildung des Aufzeichnungsvorgangs ist das Ziel dieser Arbeit.

Da die ferromagnetischen Eigenschaften der verschiedenen Materialien stark variieren, sollen die Untersuchungen an solchem Ferritpulver vorgenommen werden, wie es für die Herstellung von Magnetbändern praktisch verwendet wird.

II. Das Messprinzip

Zur Vereinfachung der Analyse sollen die sehr schnell verlaufenden Vorgänge am Sprechkopf zeitlich gedehnt werden. Bei den in Frage kommenden Frequenzen sind bei den extrem niedrig-permeablen Ferriten kaum wesentliche Relaxationserscheinungen zu erwarten. Daher soll die Hochfrequenz durch ein 50 Hz-Wechselfeld, der NF-Phasenwert durch ein Gleichfeld repräsentiert werden. Bei höheren Frequenzen wäre es schwierig, infolge der unvermeidlichen Induktivität der Anordnung eine genügende Wechselspannung aufzubringen. Die zur Magnetisierung erforderlichen Feldstärken liegen nämlich um den Faktor 10^3 höher als bei Weicheisen. Ausserdem würden die erheblichen Ummagnetisierungsverluste gute Kühlvorrichtungen nötig machen, wenn man nicht nur Kurzzeitimpulse beobachten will.

Selbstverständlich können die Messungen nur an einer makroskopischen, homogen magnetisierten Probe vorgenommen werden. Da die ganze Gestalt der 50 Hz-Schleifen interessiert, sind nur oszillographische Methoden geeignet.

Das Problem lässt nur solche magnetischen Messprinzipien zu, die Gleich- und Wechselfelder gleichzeitig zu messen ge-

statten. Es fallen daher alle mit Induktionsspulen arbeitenden Verfahren wegen ihres differenzierenden Charakters fort, sowie auch alle statischen, die ballistische Galvanometer oder dergl. verwenden.

Als zur Messung geeignet bleiben übrig:

- a) Hall-Effekt an Wismutfolien (ATM 391 - 2 und 6)
- b) Messung mit Hilfe eines Magnetrons (ATM 391 - 3)
- c) Messung mit Förster-Sonde (ATM 392 - 1)
- d) Direkte magnetische Ablenkung eines Elektronenstrahls.

Keines der genannten Verfahren liegt einem handelsüblichen Messgerät zugrunde. Daher fiel die Wahl auf Methode d), die den geringsten apparativen Aufwand versprach, ein Umstand, der bei den zur Zeit der Planung noch sehr beschränkten Haushaltsmitteln des HHI entscheidend ins Gewicht fiel. Insbesondere ist ein Gleichstrom-Messverstärker nur in diesem Fall entbehrlich. Ueberdies schien dieser Weg deshalb interessant, da er zu magnetischen Messungen bisher noch nicht beschritten wurde.

Die Probe - entsprechendes Ferritpulver - ist also in einer stromdurchflossenen Spule zu magnetisieren, und das Feld eben dieser Magnetisierung muss auf den Elektronenstrahl einer Kathodenstrahlröhre einwirken. Die Ablenkung hängt dann linear davon ab.

Die Sättigungsfeldstärken für das zu untersuchende Magnetpulver liegen in der Grössenordnung 1000 A/cm gegenüber etwa 1 A/cm bei üblichen Dynamoblechen. Es sind daher grosse Erregerwicklungen erforderlich, deren Querschnitt ein mehrfaches des Probenquerschnitts ist. Andererseits liegt die mittlere Permeabilität des Pulvers zwischen 2 und 10, je nach Sorte, liegt also in der gleichen Grössenordnung wie die Magnetisierbarkeit der Luft. Das Hauptproblem besteht also darin, das unvermeidliche Streufeld der Erregerwicklung vom Messfeld der Probe zu trennen. Bei der hier beschriebenen Apparatur wurde eine rein magnetisch wirksame Kompensationsschaltung verwendet. Diese wurde aus einer Reihe von Vorversuchen entwickelt.

III. Beschreibung der Apparatur

Eine schematische Skizze der Ablenkanordnung in der Ansicht von oben zeigt Abb. 4, wobei die Kathodenstrahlröhre vertikal steht.

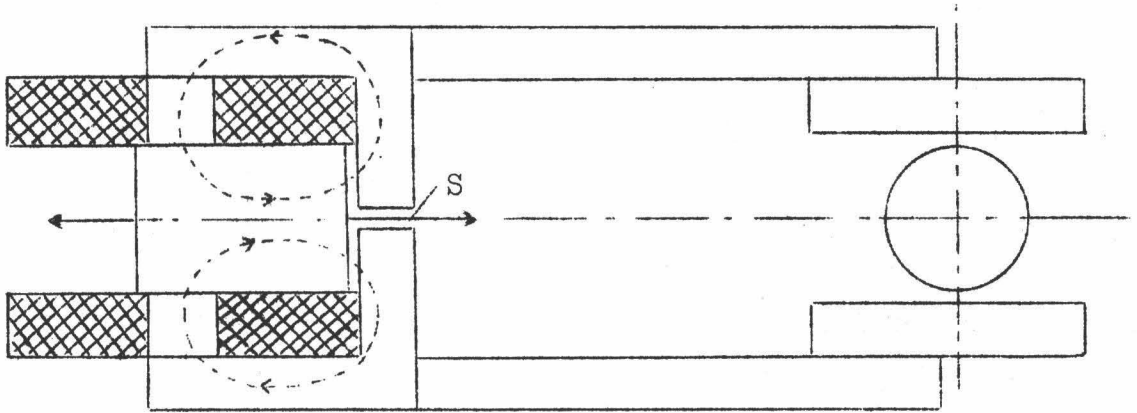


Abb. 4. Ablenksystem mit magnetischer Kompensation

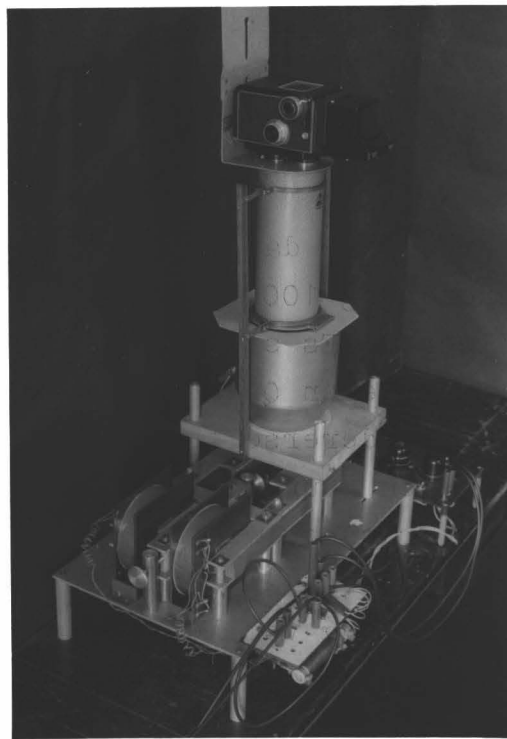


Abb. 4 a. Gesamtansicht der Versuchsanordnung

Die Konstruktion ist gekennzeichnet durch die Bedingung, handelsübliche Transformatorenbleche als Magnetpfad zu verwenden. Zwei kurze Spulen bilden zwei magnetische Kreise, wobei die Magnetflüsse über den Eisenweg in Pfeilrichtung verlaufen. Mit dem beweglichen mittleren Eisenpaket kann der gemeinsame Luftspalt verstellt werden. Die Ströme in den Spulen sind so gepolt, dass der Spannungsabfall am Luftspalt S der Differenz der Magnetflüsse beider Spulen proportional ist. Einer der beiden Spulenkörper enthält nun das zu untersuchende Ferritpulver, so dass die magnetische Potentialdifferenz am Luftspalt S dem durch die Probenmagnetisierung erzeugten Zusatzfluss proportional ist. Durch einen magnetischen Nebenschluss hohen Widerstandes wird diese Potentialdifferenz auf die Ablenkpole der Oszillographenröhre übertragen. Die Ablenkung des Elektronenstrahls ist damit - wie gefordert - der Probenmagnetisierung proportional.

Die Ablenkung in der anderen Koordinate, die der erregenden Feldstärke proportional sein muss, wird rein elektrostatisch durch den Spannungsabfall an einem Ohm'schen Widerstand im Erregerstromkreis bewirkt.

Die Führung des Magnetflusses auf einem Eisenwege ist aus folgenden Gründen notwendig:

- 1.) Die Probe soll homogen magnetisiert werden. Das wäre ohne Verwendung von Eisen nur in einer sehr langen Spule möglich. Für eine solche reicht aber bei der hohen notwendigen Erregung die zur Verfügung stehende Energie nicht aus.
- 2.) Die Kompensation muss für ein gewisses räumliches Gebiet erfüllt sein, in dem sich der Elektronenstrahl bewegt. Da sich nun aber Erreger- und Kompensationsspule an etwas verschiedenen Stellen befinden müssen, sind die zugehörigen Flüsse gemeinsam zusammenzufassen und zu leiten.
- 3.) Das ablenkende Feld wird zwischen den Proben homogenisiert. Ein reines Luftfeld wäre stark ortsabhängig und würde eine Bildverzeichnung hervorrufen, weil der abgelenkte Elektronenstrahl ein anderes Raumgebiet durchläuft als der unabgelenkte.

Eine Verfälschung des Ergebnisses durch den Eisenweg hat man nicht zu befürchten, da die Permeabilität üblicher Trafo-Bleche ~ 3 Grössenordnungen über dem der Probe liegt. Man kann sich daher auch leisten, den Eisenweg 10 - 20 mal so gross zu wählen als die Probenlänge. Um sicher zu gehen, wurde der Kompensationsfluss in analoger Weise über einen Eisenweg geführt, denn der Eisenfehler ist ja proportional der Summe Messfeld + Störfeld, wobei das letztere wesentlich grösser ist [1 : 8 bis 1 : 9, gemessen auf der Röhre]. Eine rein lineare Kompensation - z.B. elektrostatisch - würde den Eisenfehler um eine Grössenordnung heraufsetzen.

Die geforderte Homogenität des Feldes im Spuleninnenraum wird etwas gestört durch den Luftspalt im Magnetkreis. Nun ist die Probenlänge 30 mm, der Luftspalt 1 - 3 mm, wobei dessen Querschnitt effektiv grösser ist als der Probenquerschnitt durch die Parallelschaltung mit dem Spalt des anderen Kreises. Der magnetische Aussenwiderstand wurde daher als hinreichend klein gegen den Innenwiderstand der Proben angesehen.

Eine weitere Folge des Luftspaltes ist eine Scherung der beobachteten Schleifen. Das liesse sich korrigieren, indem man die Röhre - und damit die H-Achse gegen die M-Achse - um einen gewissen Winkel verdreht, so dass man die Schleifen in einem schiefwinkligen Koordinatensystem betrachtet. Es lässt sich leicht zeigen, dass das gerade auf die Scherungstransformation (bzw. die Umkehrung) hinausläuft. Davon wurde aber abgesehen, da die hier zu untersuchenden Probleme davon nicht beeinflusst werden. Ueberdies führen auch beim wirklichen Aufsprechvorgang Teile des magnetischen Weges über Luftspalte.

Zur Anzeige wurde die Telefunkenhöhre DG 13 - 14 verwendet, die zur Erhöhung der Empfindlichkeit mit geringerer Anodenspannung (1 kV mit 2 kV Beschleunigungspotential) betrieben wurde. Die Verstellung des Luftspaltes wurde zur Feineinstellung der Kompensation verwendet, die Anodenspannung für die Regulierung des M-Ausschlages.

Die Röhre wurde durch einen eisernen Abschirmzylinder, der die Umgebung der Ablenkpole ausspart, vor Streufeldern geschützt.

Anfangs ergab sich noch eine Bildverzeichnung dadurch, dass Erreger- und Kompensationsspule in dieser Schaltung einen Quadrupol bilden, dessen Störeinfluss zunächst weder durch Eisenweg noch durch Röhrenabschirmung ganz unterdrückt werden konnte. Die H-Achse und ihre Parallelen zeigten eine leichte Krümmung.

Die Korrektur dieses Effektes konnte elektrostatisch vorgenommen werden, da die Röhre noch ein freies Plattenpaar enthielt. An dieses wurde eine Spannung gelegt, die an einem nichtlinearen Schaltglied entstand, das vom Erregerstromkreis versorgt wird. Als solches diente die Hintereinanderschaltung von jeweils 3 Dioden in Zweiwegschaltung. Jede Diode muss mit möglichst geringer Spannung betrieben werden, damit man den gleichmässig gekrümmten Teil der Kennlinie nicht überschreitet. Die Korrekturspannung wird dann so eingestellt, dass auf dem Schirm beide Sättigungsäste parallel stehen.

IV. Diskussion der Ergebnisse

Die Bilder wurden mit einem Rolleicord-Satz aufgenommen, wie er für oszillographische Zwecke vorgesehen ist. Auf jedes Bild wurde ein Koordinatensystem aufgenommen, indem jeweils eine der Ablenkungen ausgeschaltet wurde, sowie die Sättigungsschleife zur besseren Orientierung über die Lage kleinerer, überwiegend asymmetrischer Schleifen. Die untersuchte Probe bestand aus Ferritpulver der BASF, wie es zur Magnetbandherstellung verwendet wird.

Wir betrachten nun die Oszillogramme der Schleifen unter den verschiedenen Bedingungen im Hinblick auf die S. 4 formulierten Hypothesen.

Abb. 5 a) zeigt eine symmetrische Schleife, deren Feldstärkeamplitude etwas grösser ist als die Koerzitivkraft und die natürlich - wie alle der kleineren Schleifen - ganz im Inneren der Sättigungsschleife liegt. Die steilen Äste sind, wie erwartet, tatsächlich nahezu Geraden, die Äste geringerer Steigung stärker gekrümmt. Die Näherung der letzten als Parabeln ist allerdings insofern ungenau, als das Mass der Krümmung nach

der Seite hin zunimmt, wo sie stetig in den geraden Teil übergehen. Die wahre Schleifenform liegt zwischen dem Grenzfall der aus Parabelbögen und Geraden zusammengesetzten Form und dem Parallelogramm.

Die Abb. 5 b-e) zeigen Schleifen gleicher Wechselamplitude mit wachsender Auslenkung aus der symmetrischen Lage durch ein entsprechendes Gleichfeld. Die zweite Hypothese, die die Kongruenz dieser Schleife mit der symmetrischen forderte, ist nur sehr schlecht erfüllt. Vielmehr zeigt sich auch schon bei sehr kleinen Auslenkungen aus der symmetrischen Lage eine Abweichung mit klarer Tendenz. Bei kleiner positiver Auslenkung bildet sich am oberen Umkehrpunkt eine sättigungsähnliche Einschnürung. Zugleich nimmt die Steigung des dorthin führenden linearen Astes ab, während der übrige Teil der Schleife - abgesehen von der Verschiebung - sich nicht wesentlich ändert.

Bei zunehmender Auslenkung (Abb. 5 c,d,e) verstärkt sich die Sättigungseinschnürung am oberen Umkehrpunkt und verringert sich weiter die Steigung des dorthin führenden Astes. Zugleich verkleinert sich die von der Schleife eingehüllte Fläche auch dadurch, dass der im Bereich $H < 0$ liegende lineare Ast sich verkürzt. Mit anderen Worten: Bei einer positiven Auslenkung der Schleife wandert der untere Umkehrungspunkt entlang der Grenzlinie - also einer Geraden -, wohingegen die Bewegung des oberen mit seiner Umgebung durch Sättigungstendenzen gehemmt wird. Dadurch schrumpft die Schleife.

Die Beobachtung, dass Sättigungstendenzen bei der Auslenkung der Schleifen von Anfang an mitspielen, macht erneut fraglich, wie durch Hochfrequenzüberlagerung beim Aufsprechvorgang eine lineare Kennlinie entstehen kann. Es wird sich jedoch zeigen, dass im Hinblick auf den Aufsprechvorgang in einem Anfangsgebiet sich dabei zwei Effekte kompensieren. Die Sättigungseinschnürung auf der einen Seite und die sättigungsgehemmte Bewegung des (in unserem Beispiel) oberen Umkehrpunktes.

Abb. 5. f zeigt den überdeckten Bereich, der entsteht, wenn asymmetrische Schleifen gleicher Wechselamplitude (wie 5 a - 5 e) in vielen Stufen übereinandergelegt werden. Man erkennt

einen grösseren linearen Bereich als Hüllkurve. Allerdings muss dabei beachtet werden, dass jeweils nur ein Umkehrpunkt auf einer linearen Bahn (die annähernd mit dem entsprechenden Ast der Sättigungsschleife übereinstimmt) verläuft, während der andere in den gekrümmten Teil fällt, wie Abb. 5 b - e) gezeigt haben. Die Hüllkurve kann daher nur sehr bedingt als Abbild einer Aufsprechkennlinie bewertet werden.

Wie hier nur ergänzend mitgeteilt werden soll, erhält man ganz analoge Oszillogramme für kleinere Wechselamplituden, solange sie grösser sind als die Koerzitivkraft. Die Hüllkurven und damit die Bahnen, längs derer sich die Umkehrpunkte verschieben, stimmen im Rahmen der Messgenauigkeit überein. Die einzelne Schleife unterscheidet sich im wesentlichen von Abb. 5 a) nur durch Verkürzung der linearen Äste, wie auch die Hypothese verlangte. Diese Eigenschaft lässt sich auch an Abb. 6 a) ablesen, die symmetrischen Schleifen verschiedener Wechselamplitude enthält.

Die Abb. 6 - 7) enthalten rein demonstrative Bilder zum Aufzeichnungsvorgang beim Magnetton. Abb. 6 b) zeigt verschiedene Stadien im anklingenden Spaltfeld-Bereich, Abb. 6 c) das gleiche für den abklingenden Teil. Man erkennt, wie durch die unsymmetrische Lage und Art der Zusammenziehung der Wechschleife ein Remanenzpunkt > 0 erreicht wird. Ein Umkehrpunkt der folgenden Schleife liegt stets auf der vorigen, was der Hypothese 4) auf S. 5 entspricht. Dabei wurde, wie auch bei den folgenden Aufnahmen, das Verhältnis $H = /H_0$ konstant gehalten, wie es für die Verhältnisse bei tiefen Frequenzen gilt. Abb. 6 a) kann aufgefasst werden als Abbild des gleichen Vorgangs in einer Sprechpause. In diesem Fall gleichen sich die Bilder für den an- und absteigenden Feldbereich.

Zur übersichtlichen Darstellung der Vorgänge, die sich am Sprechkopf abspielen, kann die Umkehrpunktskurve dienen, d.h. die Bahnen der beiden Umkehrpunkte, die sich auf der Achse $H = 0$ treffen. Diese kann man unmittelbar sichtbar machen, indem man sehr viele Schleifen übereinanderphotographiert, wie es in Abb. 7) ff. geschehen ist. Da der Umkehrpunkt auf dem

Bild etwas heller erscheint, hebt sich dadurch die Umkehrpunktskurve deutlich heraus.

In Abb. 7 a) ist der Fall der Sprechpause, in b) und c) der Verlauf im an- und abklingenden Feldbereich dargestellt. Im Oszillogramm a) sind beide Aeste der Umkehrpunktskurve völlig symmetrisch, sie treffen sich im O-Punkt. Das ist auch genau der Vorgang, der sich an der ablaufenden Kante des Löschkopfes abspielt. In 7 c) ist dagegen die Umkehrpunktskurve nicht nur durch die Gleichfeld-Auslenkung parallel verschoben, sondern beide Aeste unterscheiden sich wesentlich im Verlauf. Während der untere Umkehrpunkt sehr lange dem entsprechenden Ast der Sättigungsschleife folgt, löst sich der obere früh ab und bewegt sich mit geringerer Steigung auf die Ordinate zu. Das hat zur Folge, dass ein wesentlich höherer Remanenzwert erreicht wird, als man auf Grund des Masses der Unsymmetrie, d.h. des Verhältnisses $H = /H_{\sim}$ unter der Kongruenzhypothese erwarten sollte.

Die Lage der Umkehrpunkte bei einer gewissen Schleifengrösse ist also - entgegen den Hypothesen der Theorie - kein genügender Anhaltspunkt für den schliesslich erreichten Remanenzwert. Um darüber näher Auskunft zu erhalten, betrachten wir Abb. 8). Hier sind sechs Schleifen gleicher Wechselamplitude aufgenommen, die durch das Gleichfeld äquidistant ausgelenkt sind. Man kann sich vorstellen, dass dieser Zustand an einer gewissen Stelle nach Durchlaufen des Feldmaximums eintritt. In der Umgebung dieser Stelle beginnt die eigentliche Aufzeichnung, die Vorgeschichte geht nicht ein. Der von jeder Ausgangsschleife aus erreichte Remanenzpunkt ist ebenfalls im Oszillogramm eingetragen, wobei wieder das Verhältnis $H = /H_{\sim}$ beim Abmagnetisieren konstant gehalten wurde.

Während die unteren Umkehrpunkte ebenfalls äquidistant fast auf einer Geraden liegen, drängen sie sich oben in nicht linearer Weise zusammen. Der erreichte Remanenzwert ist nun keineswegs etwa der Mittelwert zwischen der Lage des oberen und unteren Umkehrpunktes, sondern liegt erheblich höher, bei kleinen Auslenkungen etwa das doppelte. Uebrigens lässt sich in Abb. 8) aus der Lage der Remanenzpunkte in grösseren Zügen der Verlauf

der Uebertragungskennlinie entnehmen. In der Nähe des O-Punktes einen annähernd linearen Teil, später zunehmende Sättigungs-krümmung.

Die Ursache der unerwartet hohen Remanenzwerte suchen die Oszillogramme 9 a - c) zu erhellen. Es ist je eine Schleife der Gruppe Abb. 8) herausgegriffen und für jede der Abmagnetisierungsvorgang in Form der Umkehrpunktkurve dargestellt, für a) im symmetrischen Fall, b) etwa in der Grenzlage des linearen Aussteuerungsbereichs, c) im Sättigungsteil der Aussteuerung. Bei dem Vergleich von 9 a) und 9 b) wird deutlich, wie die Erhöhung des Remanenzwertes gegenüber dem hypothetischen Fall kongruenter Schleifen zustandekommt. Die Formänderung der Schleife bei Auslenkung aus der symmetrischen Lage tendiert gerade in dieser Richtung. Man liest aus Abb. 9) für positive Auslenkung ab:

- 1.) Die (bereits anhand der Abb. 5) besprochene) Sättigungseinschnürung hat zur Folge, dass der obere Ast der Umkehrpunktskurve mit sehr geringer Steilheit beginnt (noch deutlicher sichtbar an Abb. 9 c).
- 2.) Die Steilheit des fallenden Astes der Schleife vor dem unteren Umkehrpunkt wächst, die des steigenden vor dem oberen vermindert sich. Da die Umkehrpunktskurve anfangs diesen Aesten folgt, wird auch dadurch die Remanenz erhöht.

Da diese Effekte etwas unübersichtlich sind, kann man sie sich an einem Ersatzmodell klarmachen, das eine Erweiterung des

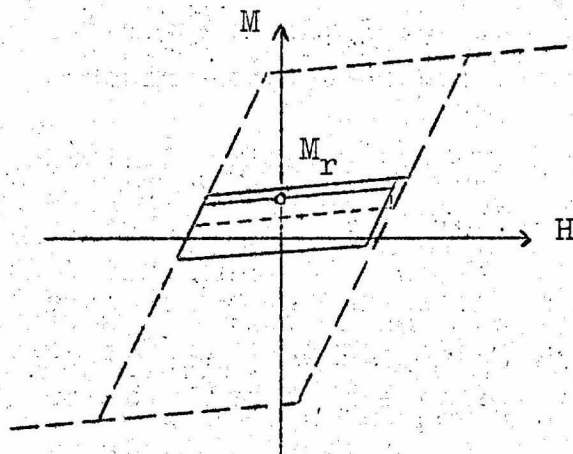


Abb. 10 Wirkung der Sättigungseinschnürung auf die Remanenzhöhung

WESTMIJZE - Modells darstellt. Dabei beziehen wir noch den Effekt (2) in (1) ein, betrachten also nur die Sättigungseinschnürung.

Ohne Sättigungseinschnürung würde sich die Schleife auf die gestrichelte Linie zusammenziehen (s.o.), bei Berücksichtigung der Einschnürung endet sie auf der darüber liegenden ausgezogenen Linie. Es wird auch klar, dass infolge der stark unterschiedlichen Steilheit der berandenden Äste selbst geringe Einschnürungen erhebliche Remanenz erhöhungen verursachen. Mit der naheliegenden Annahme, dass die Parallelverschiebung des aufsteigenden steilen Astes linear vom Mass der Unsymmetrie, also vom Verhältnis $H = /H_{\sim}$ abhängt, ist auch die Remanenz-erhöhung ein linearer Effekt. Damit bleibt dann der insges. erreichte Remanenzwert prop. dem Verhältnis $\frac{H_{\sim}}{H_{\sim}}$, was für den Aufsprechvorgang heisst, dem Verhältnis $\frac{i_{NF}}{i_{HF}}$.

Schematisierend können wir noch einmal zusammenfassen:

Die Erzeugung der remanenten Magnetisierung beim Magnetton-Verfahren beruht auf zwei Effekten.

- a) Eine Parallelverschiebung der Schleifen gegenüber dem symmetrischen Fall, indem ein NF-Phasenwert der HF überlagert wird, wobei wir uns vorstellen, symmetrische und unsymmetrische Schleifen seien kongruent.
- b) Eine Formänderung der Schleifen, prägnant darzustellen durch die Sättigungseinschnürung in der Nähe eines Umkehrpunktes, wobei wir uns vorstellen können, die Schleife behielte ihre symmetrische Lage bei.

Beide Effekte tragen etwa zu gleichen Teilen zur Remanenz bei. Nun wurde schon bei der Diskussion der Abb. 5 darauf hingewiesen, dass die Parallelverschiebung der Schleife schon bei geringen Auslenkungen und dann zunehmend gebremst wird, weil der (in unserem Beispiel) obere Umkehrpunkt in das Gebiet der Sättigung hineinragt. Würde man also eine Kennlinie der Remanenz erzeugung für den Effekt (a) allein gewinnen können, so wäre ein Verlauf

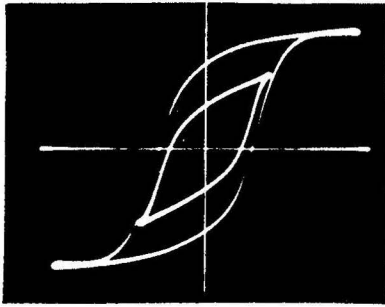
mit zunehmender negativer Krümmung zu erwarten. Die Sättigung führt zu einer unterlinearen Abweichung. Im Gegensatz dazu kommt der Effekt (b) erst durch die Sättigung zustande. Die Kennlinie dieses Effektes allein würde daher in einem Anfangsgebiet zu einer überlinearen Abweichung führen.

In der Summation der Beiträge beider Effekte ist damit das Prinzip aller linearitätsverbessernden Gegenkopplungsschaltungen auf natürliche Weise verwirklicht: die Kombination je einer Kennlinie mit über- und unterlinearer Tendenz. Man darf wohl hierin den tiefsten Grund für die hohe Qualität erblicken, die das Hochfrequenz-Magnettonverfahren erreichen konnte.

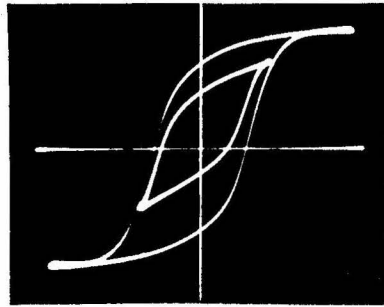
Natürlich ist es nicht möglich und auch nicht lohnend, diese komplizierten Verhältnisse in einem theoretischen Modell im einzelnen nachzubilden. Das in Kap. I dargelegte Verfahren der Darstellung der Schleifen aus Geraden und Parabelästen mit Kongruenzeigenschaft kann daher beibehalten werden, allerdings nicht im Sinne einer guten Näherung der realen Verhältnisse, sondern im Sinne einer vereinfachten Ersatzvorstellung. Dabei ist nur zu berücksichtigen, dass die reale Remanenzserhöhung formal zu etwa der doppelten Steigung der Grenzlinien führt, als die reale Sättigungsschleife besitzt.

L i t e r a t u r

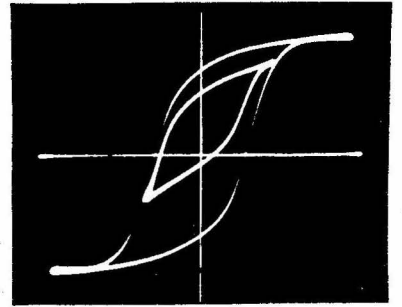
- [1] M. CAMRAS, Proceedings I.R.E., Vol.37 (1949), S.569-573,
- [2] W.K. WESTMIJZE, Philips' Techn. Rundschau, Bd. 14
(1952/53), S. 289 - 302.



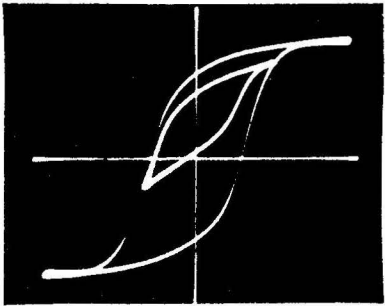
a)



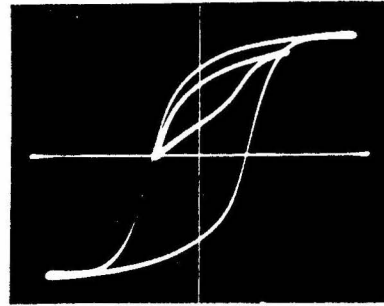
b)



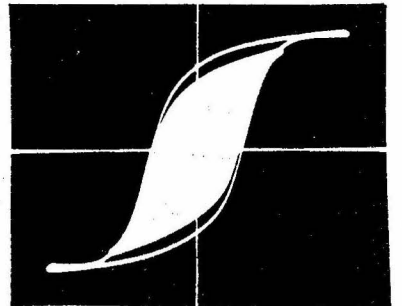
c)



d)

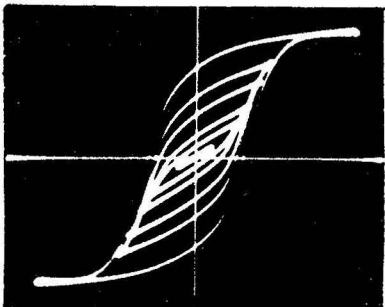


e)

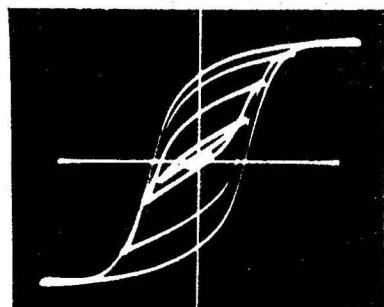


f)

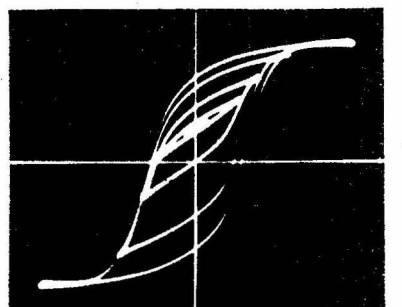
Abb. 5. Symmetrische und asymmetrische HF-Schleifen mit Hüllbereich



a)



b)



c)

Abb. 6. Aufspreichvorgang in einigen Stadien

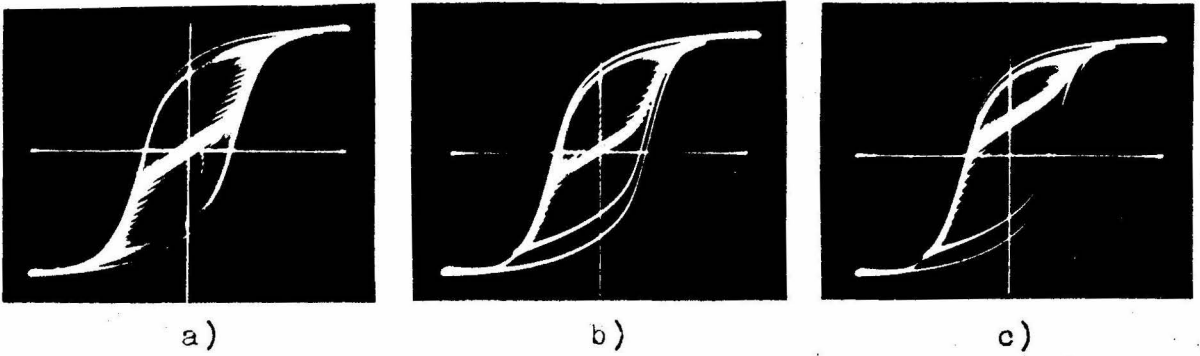


Abb. 7. Umkehrpunktskurven zum Aufsprechvorgang

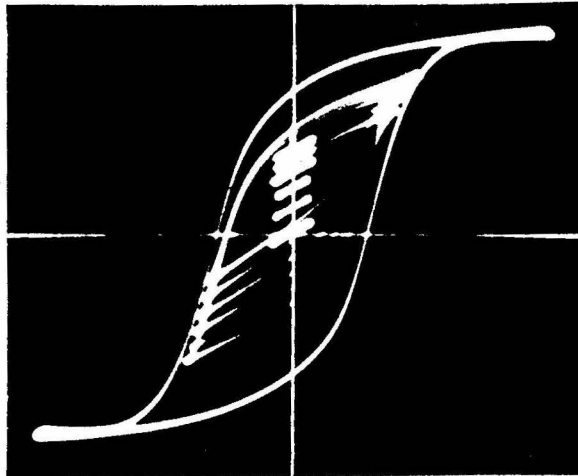


Abb. 8. Ausgangsschleifen und Remanenzpunkte bei äquidistanten Gleichfelddauslenkungen

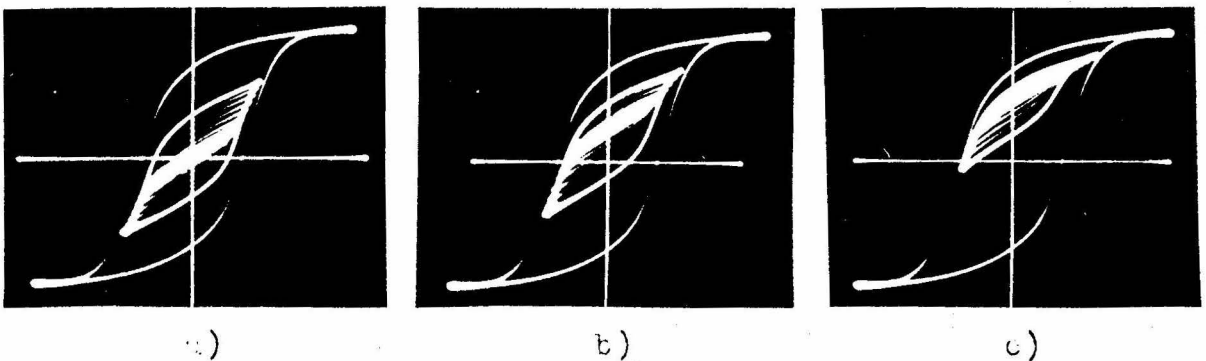


Abb. 9. Einzelne Schleifen aus Abb. 8 mit Umkehrpunktskurven