

**Zeitschrift:** Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins  
**Herausgeber:** Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke  
**Band:** 51 (1960)  
**Heft:** 20

**Artikel:** Die Verknüpfungsaufgabe in einem aus dünnen Magnetschichten bestehenden Schaltkreissystem  
**Autor:** Oguey, H.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-917066>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 17.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

breite  $\Delta f''$  zur Bandbreite  $\Delta f$  der Sendung nach der CCIR-Norm wie folgt:

$$\sigma = \frac{\Delta f''}{\Delta f} \cdot \frac{n'}{n} \cdot \frac{100 - p(1 - v_1/v_2)}{100 v_1/v_2},$$

wenn  $p$  der Prozentsatz der in 1/12,5 s von Änderungen der Leuchtdichte befallenen Bildpunkte ist. Es sei z. B.  $p = 40\%$  = 160000 Bildpunkte, und wir wählen  $v_1 = 6 v_2$ . Dann wird:

$$\sigma = \frac{1}{2} \cdot \frac{100 - 40(1 - 6)}{600} = \frac{1}{4}$$

mit  $v_2 = v_0/4$  und  $v_1 = 3 v_0/2$ . Für kleinere  $p$  findet man noch weit günstigere Werte von  $\sigma$ .

Das so erhaltene Differenzbildsignal kann nun über die Tiefpass-Diskriminatorschaltung nach Fig. 5 gesendet und in seiner Bandbreite nochmals verschmälert werden. Dabei wird empfängerseits selbstverständlich die Versteilungsmethode nach Fig. 4 angewandt. Ob man auf diesem Wege bis zur Halbierung von  $f''$ , d. h. Bandverengung auf 1/8, gehen kann, muss die Praxis lehren. Die Reduktion auf 1/5 der CCIR-Bandbreite würde vermutlich durchführbar sein, ohne dass die Merkmale der Bildgüte sichtbar beeinträchtigt wären.

## 7. Schlussbemerkungen

Gemeinsame Grundlage der vorstehend besprochenen Entwicklungsmöglichkeiten sind:

1. Die nicht mehr zu bezweifelnde Realisierbarkeit eines Fernseh-Empfangsspeichers mit folgenden Eigenschaften:
  - a) Auflösung in 400000 Bildpunkte;
  - b) Zeitliche Beständigkeit des gespeicherten Potentialreliefs;
  - c) Genügende Umsteuerungsgeschwindigkeit für die gespeicherten Potentiale. Notwendig sind  $4 \cdot 10^6$  Bildpunkte/s;
  - d) Kleiner Rauschabstand;
  - e) Guter Kontrastumfang bei richtigem Gamma.
2. Die hohe Punktredundanz des derzeitigen Fernsehbildes.
3. Die Erkenntnis, dass der Überblendungsspeicher bei beliebigen Leuchtdichten flimmerfrei arbeitet und die Ausnutzung der Perzeptionsdauer visueller Eindrücke,  $t = 0,1...0,2$  s, ermöglicht.
4. Die diesbezüglichen, auf das Fernsehbild übertragbaren Erfahrungen beim Mechau-Projektor mit optischem Ausgleich.

Es muss aber zugegeben werden, dass physiologische Messwerte sich schwer verallgemeinern lassen. Jedoch hat gerade die Erfahrung mit dem Mechau-Projektor gezeigt, dass  $t$  keinesfalls  $< 0,06$  s sein kann. Die vorstehenden Schlussfolgerungen hinsichtlich der zu erzielenden Frequenzbandverengung im Verhältnis 4 : 1 bis 5 : 1 behalten ihre Gültigkeit, solange  $t \geq 0,08$  s bleibt. Bei Annahme von  $t = 0,06$  s müssten die gefundenen Faktoren für die Bandbreitereduktion auf 3/4 ihres Betrages gekürzt werden.

## Literatur

- [1] *Brit. Pat. Group XL 341811, Convention Date April, 25: Television. British Thomson-Houston Co. Ltd.; (Assignees of R. D. Kell).*
- [2] *Kretzmer, E. R.: Statistics of Television Signals. Bell Syst. techn. J. Bd. 31(1952), Nr. 4, S. 751...763.*
- [3] *Cherry, C. E. und G. G. Gouriet: Some Possibilities for the Compression of Television Signals by Recording. Proc. IEE Bd. 100 (1953), Part. 3, Nr. 63, S. 9...18.*
- [4] *Oliver, B. M.: Efficient Coding. Bell Syst. techn. J. Bd. 31(1952), Nr. 4, S. 724...750.*
- [5] *Powers, K. H. und H. Staras: Some Relations between Television Picture Redundancy and Bandwidth Requirements. Trans. AIEE Bd. 76(1957), Part. 1, Commun. & Electronics Nr. 32, S. 492...496.*
- [6] *Harrison, C. W.: Experiments with Linear Prediction in Television. Bell Syst. techn. J. Bd. 31(1952), Nr. 4, S. 764...783.*
- [7] *Graham, R. E.: Communication Theory Applied to Television Coding. Acta Electronica Bd. 2(1957/58), Nr. 1/2, S. 333...343.*
- [8] *Schreiber, W. F., C. F. Knapp und N. D. Kay: 84th Soc. Motion Picture and Television Engrs.-Convention. Detroit, Michigan, Oct. 1958.*
- [9] *Ferry, E. S.: Persistence of Vision. Amer. J. Sci. 3. Ser., Bd. 44 (1892), Nr. 261, S. 192...207.*  
*Porter, T. C.: Contribution to the Study of Flicker. Paper II. Proc. Roy. Soc., London Bd. 70(1902), Nr. 463, S. 313...329.*
- [10] *Knoll, M., P. Rudnick und H. Hook: Viewing Storage Tube with Halftone Display. RCA Rev. Bd. 14(1953), Nr. 4, S. 492...501.*
- [11] *Larson, C. C. und B. C. Gardner: The Image Dissector. Electronics Bd. 12(1939), Nr. 10, S. 24...27; S. 50.*  
*Hartmann, W.: Hausmitt. Fernseh GmbH. Bd. 1(1939), S.130 bis 134.*
- [12] *Schröter, F.: Bildspeicherprobleme. Bull. SEV Bd. 40(1949), Nr. 17, S. 564...566.*  
*Schröter, F.: Speicherempfang und Differenzbild im Fernsehen. AEÜ Bd. 7(1953), Nr. 2, S. 63...70.*

Adresse des Autors:

Prof. Dr. F. Schröter, Am Illerkanal 24, Neu-Ulm (Deutschland).

# Die Verknüpfungsaufgabe in einem aus dünnen Magnetschichten bestehenden Schaltkreissystem

Von H. Oguey, Adliswil

538.24 : 539.16.225

## 1. Einleitung

Die Bauelemente, aus denen sich Rechenmaschinen zusammensetzen, sollen Verstärkereigenschaft, Nichtlinearität und möglicherweise zwei stabile Zustände besitzen. Die Nachfrage nach immer leistungsfähigeren und schnelleren Rechenautomaten fordert die Entwicklung von möglichst raschen, einfachen und billigen Elementen. Weitere Gesichtspunkte sind kleiner Leistungsbedarf, lange Lebensdauer und Betriebssicherheit der einzelnen Elemente.

Im folgenden soll ein Schaltkreissystem aus dünnen, magnetischen Schichten vorgeschlagen werden, das die oben aufgestellten Forderungen weitgehend erfüllt.

## 2. Eigenschaften dünner Magnetschichten

Die hier betrachteten Schichten entstehen durch Niederschlag ferromagnetischen Materials, vorzugsweise Permalloy (der Zusammensetzung 80% Ni, 20% Fe) auf einer dünnen Glasplatte. Die Schichtdicke liegt üblicherweise zwischen

200 und 2000 Å ( $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ ) und ihr Durchmesser zwischen 1 und 5 mm.

Das grosse Verhältnis von Durchmesser zu Dicke führt zu einem sehr kleinen Entmagnetisierungsfaktor in der Schichtebene, d.h. das entmagnetisierte Feld vermag die Magnetisierung der Schicht kaum zu beeinflussen. Während des Herstellungsprozesses (Aufdampfung im Vakuum oder Elektrolyse) ist es möglich, eine Vorzugsachse der Magnetisierung zu induzieren. Dies führt zu einer bistabilen Eigenschaft der Schicht: Ohne äusseres Magnetfeld stellt sich die Magnetisierung in eine der zwei Lagen ein, die durch die Vorzugsachse, die «leichte Achse» gekennzeichnet sind.

## 2.1 Statisches Verhalten und uniaxiale Anisotropie

Eine dünne Schicht sei symbolisch in Form einer runden Zelle dargestellt (Fig. 1). Ein Bezugssystem  $xy$  wird durch ihre leichte Achse festgelegt. An dieser Schicht wird in Schichtebene ein Feld  $\vec{H}$  mit den Komponenten  $H_x$  und  $H_y$  angelegt. Die Magnetisierung  $\vec{M}$  hat für eine Eindomän-

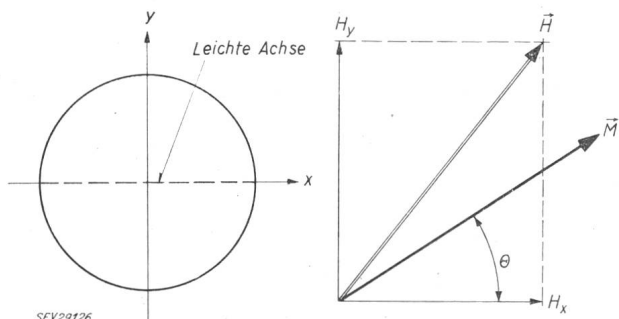


Fig. 1

Symbolische Darstellung einer dünnen magnetischen Schicht und Definition des Feldvektors und des Magnetisierungsvektors  
Bezeichnungen siehe im Text

struktur einen konstanten Beitrag  $M$  und bildet einen Winkel  $\theta$  mit der  $x$ -Achse. Die Energie des Systems pro Volumeneinheit  $E$  ist, wenn  $K \sin^2 \theta$  die uniaxiale Anisotropie beschreibt:

$$E = E_1 + E_2 = K \sin^2 \theta - (H_x M \cos \theta + H_y M \sin \theta) \quad (1)$$

wobei  $K$  die Anisotropiekonstante darstellt. Eine stabile Lage der Magnetisierung ist gekennzeichnet durch das Minimum der Energie  $E$  bezüglich  $\theta$ .

$$\frac{\partial E}{\partial \theta} = 0 \quad \frac{\partial^2 E}{\partial \theta^2} > 0 \quad (2)$$

während ein Maximum von  $E$  eine labile Lage anzeigt. Mit Hilfe von Gl. (1) lässt sich zeigen [1]<sup>1)</sup>, dass für kleine Felder zwei Richtungen der Magnetisierung möglich sind, für grössere Felder dagegen nur eine. Der geometrische Ort des Überganges zwischen den beiden Bereichen ist gegeben durch:

$$\frac{\partial E}{\partial \theta} = 0 \quad \frac{\partial^2 E}{\partial \theta^2} = 0 \quad (3)$$

woraus die sog. kritische Kurve [2] folgt:

$$H_x^{2/3} + H_y^{2/3} = H_k^{2/3}$$

mit

$$H_k = \frac{2K}{M}$$

<sup>1)</sup> Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Man kann ebenfalls zeigen, dass die Gleichgewichtsrichtungen der Magnetisierung durch die Steigung der vom Punkt  $(H_x, H_y)$  an die kritische Kurve gelegten Tangenten gegeben sind (Fig. 2). Hieraus lassen sich auch die zu erwartenden Hystereseschleifen für die zwei Hauptrichtungen ableiten, indem nach der Bestimmung des Winkels  $\theta$  die Projektion des Magnetisierungsvektors in die Richtung des angelegten Feldes ermittelt wird (Fig. 3). Die rechteckige Schleife in leichter Richtung links mit der Koerzitivkraft  $H_k$  zeigt die bistabile Eigenschaft der Schicht. Die Hystereseschleife in harter Richtung rechts ist geschlossen und

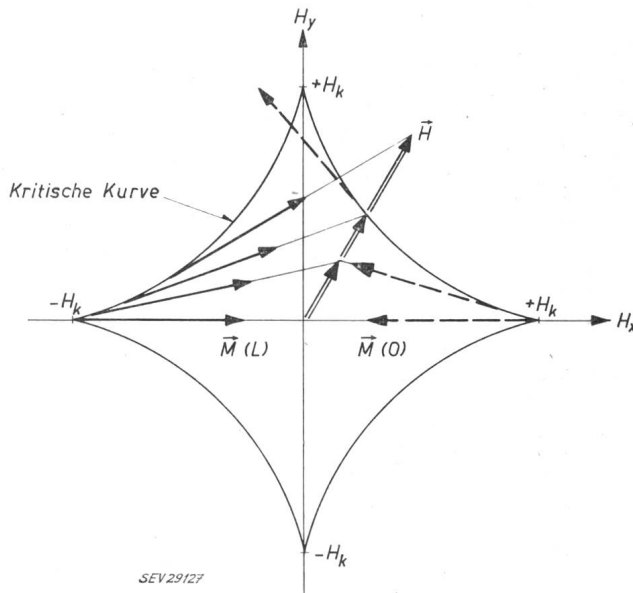


Fig. 2

Ermittlung der Magnetisierungsrichtung bei gegebenem Feldvektor  $\vec{H}$  für uniaxiale Anisotropie

$H_k$  kritisches Magnetfeld (Koerzitivkraft);  $H_x$  Magnetfeld in Richtung der leichten Achse;  $H_y$  Magnetfeld senkrecht zur leichten Achse;  $\vec{M}_{(L)}$  Magnetisierung nach rechts (Zustand L);  $\vec{M}_{(O)}$  Magnetisierung nach links (Zustand O)

reversibel. Während sich die vorausgehenden Betrachtungen auf den Eindomänenzustand der Schicht gründeten, kann die Schicht aus verschiedenen Ursachen auch einen Mehrdomänenzustand annehmen. Dieser Zustand ist auch ohne äusseres Feld durchaus stabil. Die Feldstärke in der leichten Richtung, die benötigt wird um vom Eindomänenzustand ausgehend, Domänen entgegengesetzter Magnetisierung zu erzeugen, zu vergrössern und so die Ummagnetisierung durchzuführen, ist in den meisten Fällen kleiner als der durch die kritische Kurve angezeigte Wert und bestimmt somit die Koerzitivkraft  $H_c$  für Wandverschiebungen [2] (Fig. 3b).

Abweichungen zwischen Theorie und Experiment sind auch in der harten Richtung zu erkennen. Dafür sind hauptsächlich die verbleibende Kristallanisotropie und Magnetostraktion verantwortlich, sowie Inhomogenitäten der Vorzugsachse und der Anisotropiekonstante an verschiedenen Stellen der Schicht, die eine Streuung der leichten Richtung und ein Aufspalten der Schicht in mehrere Domänen verursachen.

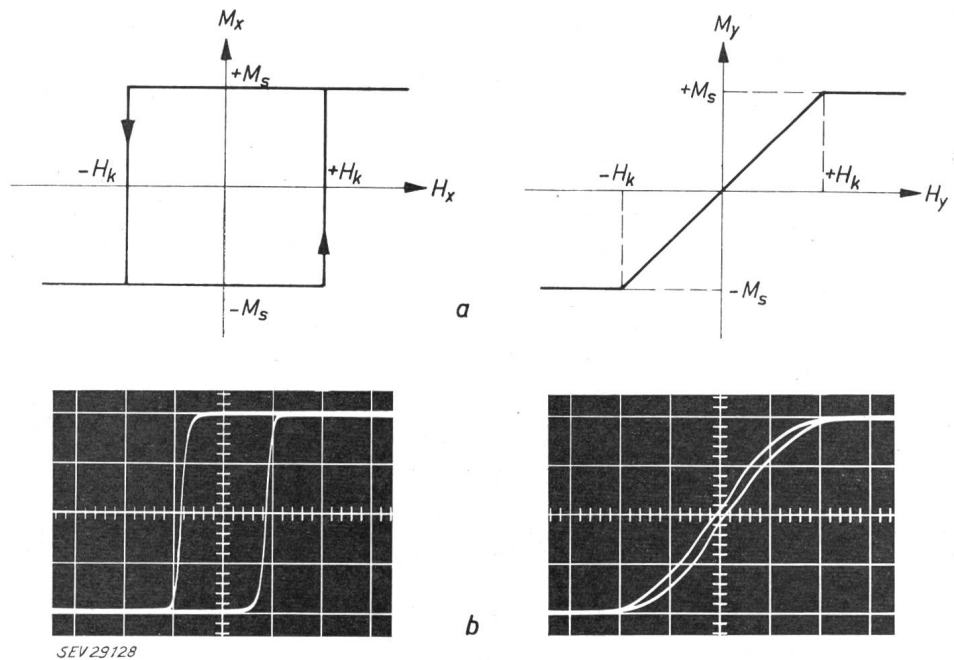
## 2.2 Dynamisches Verhalten

Bei den in dünnen Schichten auftretenden Magnetisierungsänderungen [2; 3] unterscheidet man im wesentlichen zwischen kohärenter Drehung der Magnetisierung (Eindömäneverhalten) und Wandverschiebungen (Mehrdomänenverhalten). Die Magnetisierungsänderung einer Eindomänenschicht kann durch die Landau-Lifschitz-Gleichung [4], analog der Bewegung eines gedämpften Kreisel, unter Berücksichtigung der starken Entmagnetisierung senkrecht zur Schichtebene befriedigend beschrieben werden [5]. Diese Drehprozesse sind ausserordentlich rasch; wird das Feld in Form eines steilen Sprunges angelegt, so ist ihre Dauer praktisch 1 oder 2 ns [6]. Für das Umschalten ist Voraussetzung, dass Magnetisierung und Feld einen genügend grossen Winkel miteinander bilden und das Feld grösser als das durch die kritische Kurve gegebene minimale Schaltfeld ist.

Fig. 3

Theoretische (a) und experimentelle (b) Hystereseschleifen in der «leichten» und in der «harten» Richtung

- $H_k$  kritische Feldstärke (Koerzitivkraft)
- $H_x$  Magnetfeld in Richtung der leichten Achse
- $H_y$  Magnetfeld in der harten Richtung
- $M_s$  Sättigungsmagnetisierung
- $M_x$  Magnetisierung in der leichten Richtung
- $M_y$  Magnetisierung in der harten Richtung



SEV 29128

b

Sind dagegen die oben erwähnten Bedingungen nicht erfüllt, läuft der Ummagnetisierungsvorgang hauptsächlich durch Wandverschiebungen ab [7]. Dieser Prozess ist wesentlich langsamer, da die Wandgeschwindigkeit in der Grössenordnung von 100 m/s pro Oe Feldüberschuss liegt [8].

## 3. Anwendung dünner Magnetschichten als Schaltelemente

Die grundlegende Aufgabe eines Schaltkreissystems ist, in den einzelnen Elementen enthaltene Information schrittweise zu verarbeiten und sie dabei auf andere Elemente zu übertragen. Im folgenden soll zuerst die direkte Übertragung der Information von einem Schichtelement zum nächsten, später die Verarbeitung der Informationen durch logische Schaltungen erläutert werden.

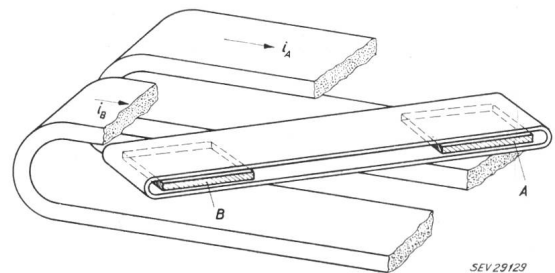
### 3.1 Übertrag der Information zwischen zwei Magnetschichten

In der vorgeschlagenen Anordnung (Fig. 4) sind zwei Schichten A und B mittels einer flachen kurzgeschlossenen,

aufgedampften Bandleitung verbunden. Deutet die Magnetisierung einer Schicht nach rechts, so sei dieser Zustand mit L, deutet sie nach links, sei er mit O gekennzeichnet. Zur Auslenkung der Magnetisierung in der Treiberschicht A aus der Ruhelage in die harte Richtung ist eine Treibleitung vorgesehen, in der ein Strom  $i_A$  eingeprägt wird. Dabei werden in der Kopplungsleitung ein Strom und ein Feld erzeugt, das die Endlage der Magnetisierung in der getriebenen Schicht B steuert.

Es sei zuerst gezeigt, wie der Endzustand der Magnetisierung in der getriebenen Schicht B, der von Schicht A abgeleitet werden soll, durch einen möglichst kleinen und kurzen Feldimpuls eindeutig festgelegt werden kann (Fig. 5). Für Fall a ist lediglich ein Feld  $H_x$  angelegt. Dieses Feld muss grösser sein als  $H_c$ , die Koerzitivkraft für Wandverschiebungen, und verhältnismässig lange dauern. Für Fall b wird zuerst ein Feld  $H_y < H_k$  in die harte Richtung

angelegt, und dann ein kleines Feld  $H_x$ , dessen Amplitude und Dauer schon erheblich reduziert werden können. Dieser Fall liegt in einem Zwischenbereich zwischen langsamen Wandverschiebungen und schneller Rotation. Für Fall c endlich wird zuerst ein Feld  $H_y > H_k$  angelegt und während seines Abfalles ein Feld  $H_x$ . Ist dieses Feld gleich Null, so kann keine kohärente Drehung der Magnetisierung eintreten, da das Drehmoment  $\vec{M} \times \vec{H}$  gleich Null ist. Prak-



SEV 29129

Fig. 4

Darstellung von zwei Schichten mit einer Kopplungsleitung und zwei Treibleitungen

A treibende Magnetschicht; B getriebene Magnetschicht;  $i_A$  eingeprägter treibender Strom;  $i_B$  induzierter Strom

tisch bewirkt eine Streuung der leichten Richtungen der Schicht ein inkohärentes Zurückdrehen der Magnetisierung gegen die leichte Achse, wobei die Schicht in eine Anzahl kleiner Domänen aufspaltet. Schon bei einem verhältnismässig kleinen Wert von  $H_x$  kann dieses Aufspalten vermieden werden und eine kohärente Drehung der Magnetisierung nach links oder rechts entsprechend dem Vorzeichen von  $H_x$  hervorgerufen werden. Dieses Verfahren ist gegenüber den beiden ersten in bezug auf Geschwindigkeit und nötige Feldstärke überlegen. Experimente zeigen, dass

Fig. 5

#### Umschaltmöglichkeiten einer dünnen Schicht

Die nötige Amplitude und Dauer des Steuerfeldes  $H_x$  werden von *a* zu *c* erheblich reduziert

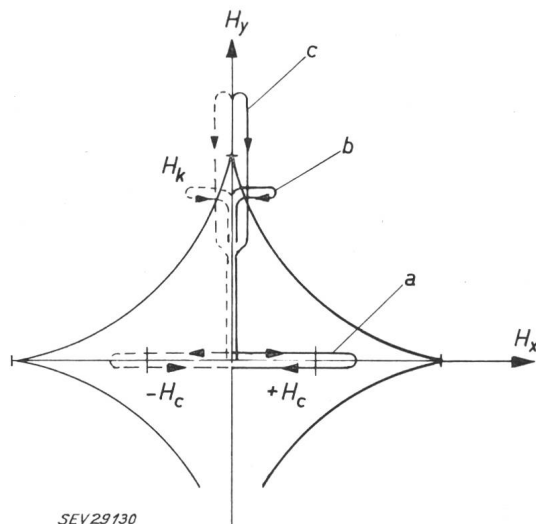
*a, b, c* verschiedene Betriebsfälle

$H_c$  Koerzitivkraft für Wandverschiebungen

$H_k$  Kritisches Magnetfeld (minimales Schaltfeld)

$H_x$  Magnetfeld in Richtung der leichten Achse

$H_y$  Magnetfeld in der harten Richtung

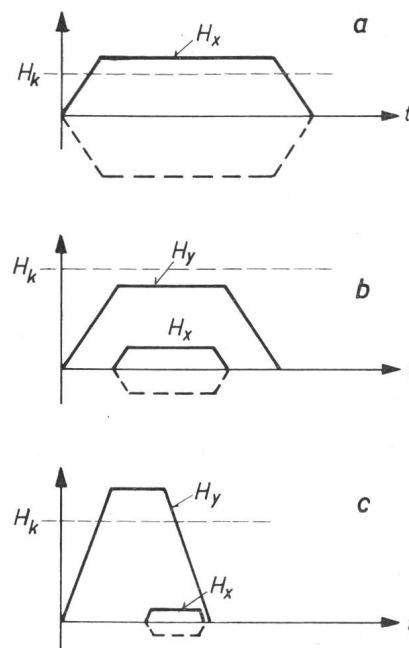


SEV29130

für eine Schicht mit  $H_k = 5$  Oe und  $H_c = 2$  Oe schon ein Feldimpuls  $H_x$  von 0,3 Oe und 4 ns Dauer hinreicht.

Zur Erzeugung der Steuerimpulse bestehen zwei Vorschläge. Beim ersten [3] wird die Schicht *A* (Fig. 6) durch einen Stromimpuls  $i_A$ , der ein Feld  $H_y > H_k$  erzeugt, genau

Flussänderung in der Kopplungsschleife (in Fig. 6 symbolisch durch einen vertikalen Strich dargestellt). Die induzierte Spannung erzeugt in der kurzgeschlossenen Leitung einen Strom  $i_{AB}$ , der gemäss der Lenzschen Regel ein gegen die Änderung des Flusses wirkendes Feld hervorruft. Ein ähnliches Feld wirkt auf die getriebene Schicht und kann ihre Endlage festlegen, wenn gleichzeitig der Treibstrom  $i_B$  abgeschaltet wird.



Aus Fig. 6 ist klar ersichtlich, dass bei der Informationsübertragung von *A* nach *B* auch ein Teil der Energie in die rückwärtige Richtung fliesst, wenn z. B. *A* und *B* in einer Verschiebekette enthalten sind. Diesen Nachteil vermeidet die in Fig. 7 dargestellte Anordnung. Hier sind die leichten

Fig. 6

#### Prinzip der Informationsübertragung, wenn Steuer- und Kopplungsleitungen senkrecht zueinander gleich sind

*A* Schicht *A* (treibende Magnet-schicht)

*B* Schicht *B* (getriebene Magnet-schicht)

$H_A$  Magnetfeld in der Schicht *A*

$H_B$  Magnetfeld in der Schicht *B*

$H_{AB}$  Magnetfeld in der kurzgeschlossenen Bandleitung *AB*

$H_k$  Kritisches Magnetfeld (minimales Schaltfeld)

$H_x$  Magnetfeld in der leichten Richtung

$H_y$  Magnetfeld in der harten Richtung

$i_A$  Strom in der Schicht *A*

$i_B$  Strom in der Schicht *B*

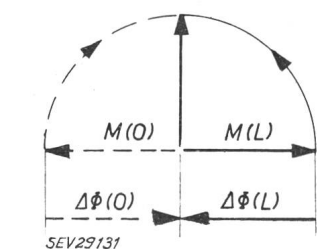
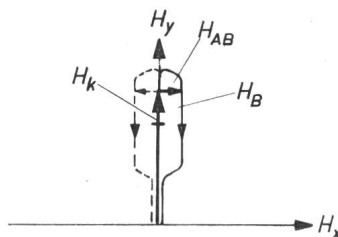
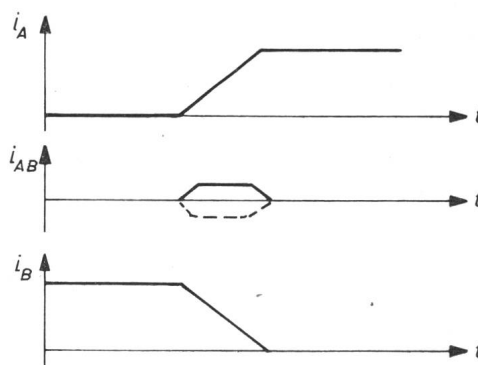
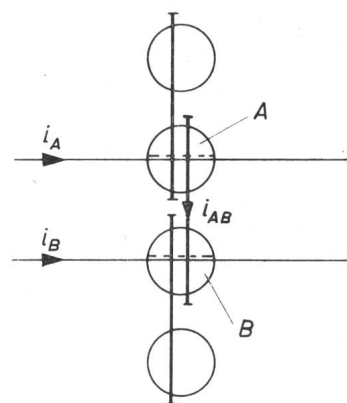
$i_{AB}$  Strom in der kurzgeschlossenen Leitung *AB*

$M(O)$  Magnetisierung des Zustandes *O*

$M(L)$  Magnetisierung des Zustandes *L*

$\Delta\phi(O)$  Flussänderung für Verschiebung von *O* in die harte Richtung

$\Delta\phi(L)$  Flussänderung für Verschiebung von *L* in die harte Richtung



SEV29131

in die harte Richtung angesteuert. Die Magnetisierung dreht sich von der Anfangslage *O* (nach links) oder *L* (nach rechts) in die harte Richtung und verursacht somit eine

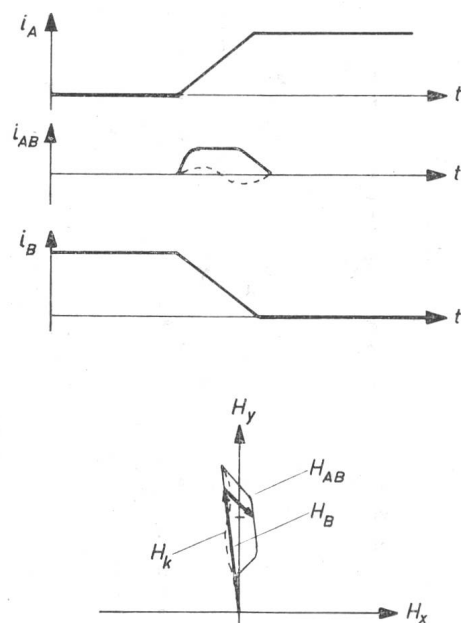
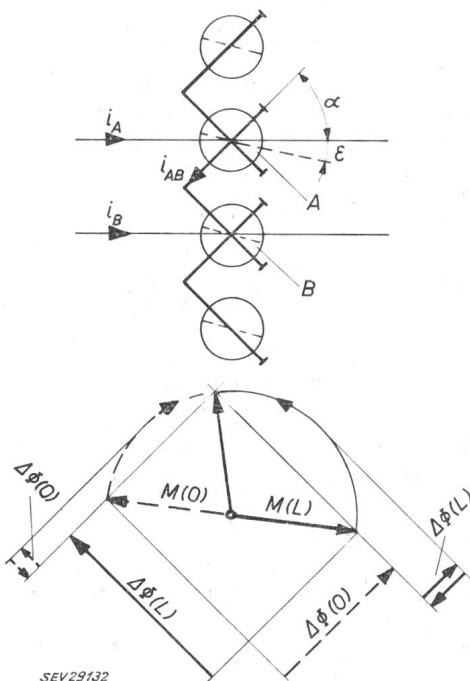
Achsen der Treibschicht sowie der getriebenen Schicht gegenüber der Achse der Treibleitungen um einen Winkel  $\varepsilon$  gedreht. Somit ist der Endzustand einer getriebenen Schicht

auch ohne Steuerstrom  $i_{AB}$  eindeutig nach dem Abschalten des Treibstromes festgelegt. Die Ausgangsrichtung  $\alpha$  der Kopplungsleitung ist nun so gewählt, dass für die Anfangsstellung  $O$  der Magnetisierung eine minimale Flussänderung, für die Anfangsstellung  $L$  eine maximale Flussänderung von der Kopplungsleitung erfasst wird. Die in der Schicht  $B$  hervorgerufene Feldstärke muss in diesem Fall der durch  $i_B$  erzeugten Feldkomponente entgegengesetzt sein und überwiegen. Für die Übertragung nach rückwärts liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt.

Es stellt sich die Frage, ob überhaupt ein genügendes Steuerfeld am getriebenen Element erzeugt werden kann. Dazu ist es nötig, die treibende Schicht schnell genug umzuschalten, um damit eine ausreichende Spannung in der Kopplungsleitung zu induzieren, die wiederum dort einen grossen Strom und ein genügend grosses Feld hervorrufen soll. Neben einer kurzen Anstiegszeit des Treibstromes  $i_A$  ist es wesentlich, dass Treib- und Kopplungsleitung gute Impuls-

schirmung und verlangsamt somit die Transienten. Zur Erzielung einer möglichst starren Kopplung zwischen den Schichten muss der Abstand zwischen den Leitern der Kopplungsleitung die Grössenordnung der Schichtdicke haben, was zu einer sehr kleinen Wellenimpedanz  $Z_0$  von etwa  $0,1 \Omega$  führt. Dies bedingt, dass die Kopplungsleitung einen Gesamtwiderstand  $R$  grösser als ihre Wellenimpedanz  $Z_0$  besitzt, und es ist zu prüfen, wie die Übertragungseigenschaften unter solchen Verhältnissen sind. Unter Vernachlässigung der dielektrischen Verluste und des Skineffektes

Fig. 7  
Prinzip der Informationsübertragung, wenn Steuer- und Kopplungsleitungen einen Winkel von  $45^\circ$  bilden  
Bezeichnungen siehe Fig. 6



übertragungseigenschaften besitzen und das Umschalten der Schicht nicht stark bedämpfen.

Um Wirbelstromeffekte und den Skineffekt klein zu halten, müssen die Dicke der Leiter klein und der Leitungs-

kann der Strom  $i$  an einem Ende einer kurzgeschlossenen Leitung berechnet werden, wenn am anderen Ende ein Spannungssprung der Amplitude  $U_0$  angelegt wird [9]. Es zeigt sich, dass der erste Stromsprung, nach der Verzögerungszeit  $t_v$ , gleich dem asymptotischen Wert des Stromes ist, wenn  $R \approx 4,3 Z_0$ . Bei diesem Wert ist die Impulsübertragung annähernd ideal (Fig. 9). Eine Anordnung, bei

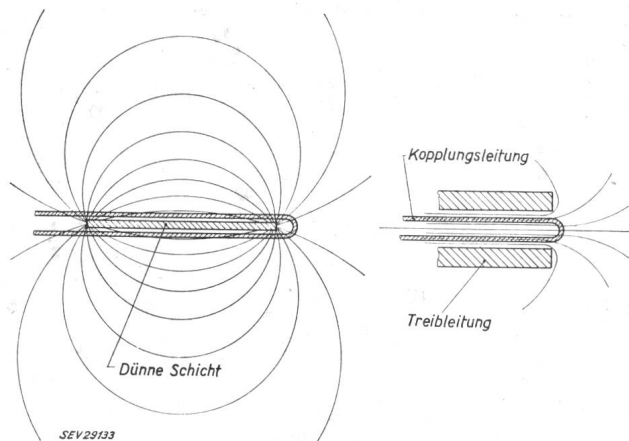


Fig. 8

Die von der magnetischen Schicht sowie auch von der Treibleitung ausgehenden Flusslinien müssen die Kopplungsleitung durchsetzen

widerstand gross sein. Wirbelströme werden dadurch induziert, dass die magnetischen Flusslinien der Schicht, sowie die Feldlinien der Treibleitung die Kopplungsleitung durchsetzen (Fig. 8) und im dynamischen Betrieb schneiden. Die Kopplungsleitung wirkt als Hochfrequenzab-

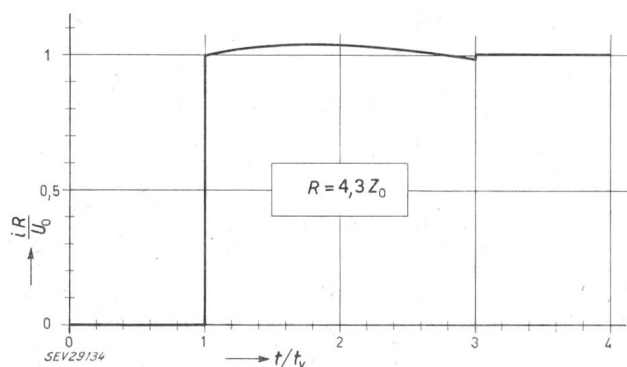


Fig. 9

Stromverhalten am Ausgang einer kurzgeschlossenen Leitung ohne dielektrische Verluste

beim Anlegen einer eingepprägten Spannung der Amplitude  $U_0$  am Eingang

$i$  Strom am Ende der kurzgeschlossenen Leitung;  $t$  Zeit;  $t_v$  Verzögerungszeit;  $Z_0$  Wellenimpedanz der Kopplungsleitung;  $R$  Gesamtwiderstand der Kopplungsleitung

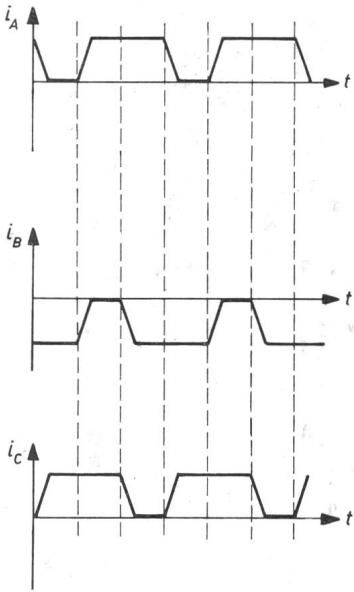
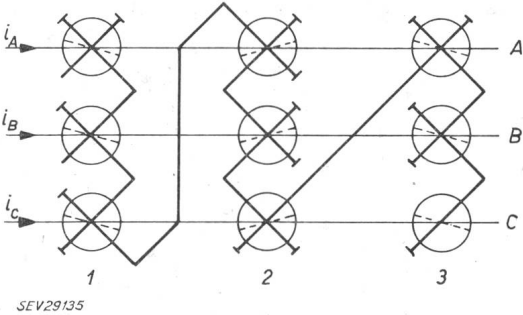


der die Dicke der Aluminiumleitung ungefähr  $2\text{ }\mu\text{m}$  beträgt und die Anstiegszeit des Treibstromes zwischen 2 und 20 ns liegt, sollte nach diesen Überlegungen realisierbar sein.

Eine Reduktion aller linearen Abmessungen um einen gemeinsamen Faktor hat zur Folge, dass das Steuerfeld an der getriebenen Schicht um denselben Faktor verkleinert wird. Das minimale erforderliche Feld setzt für die linearen Abmessungen eine un-

Fig. 10  
Dreitaktverschieberegister und Zeitplan der Treibimpulse

A Speicherzellen (Zeile A)  
B Zwischenspeicherzellen (Zeile B)  
C Zwischenspeicherzellen (Zeile C)  
 $i_A, i_B, i_C$  Ströme der Zeilen A, B bzw. C  
 $t$  Zeit  
1 Zellenkolonne 1  
2 Zellenkolonne 2  
3 Zellenkolonne 3



tere Grenze Grobe. Abschätzungen ergeben für diese untere Grenze Schichtendurchmesser von etwa 1 mm.

### 3.2 Verschieberegister

Die Aufgabe eines Verschieberegisters besteht darin, eine binäre Zahl serienmässig aufzunehmen und beim Empfang eines von aussen angelegten Impulses um eine Stelle zu verschieben. Nach den im letzten Abschnitt ge-

Die Ein- und Ausgangsleitungen sind bei jeder Zelle senkrecht zueinander angeordnet. Wenn die Treibzelle eine grosse Flussänderung nach vorwärts erzeugt, entspricht es einer kleinen Flussänderung nach rückwärts, womit nur eine kleine Dämpfung von dieser Seite verbunden ist. Die Möglichkeit einer solchen Rückwärtskopplung ist spezifisch für Schaltungen mit dünnen Magnetschichten und ist durch die besondere Geometrie bedingt. Im rechten Teil der

Fig. 10 ist ein Zeitdiagramm der Ströme dargestellt. Eine Synchronisation der Impulse ist nötig.

### 3.3 Logische Schaltungen

Es lässt sich zeigen [10], dass alle binären Verknüpfungsaufgaben mit dem Inverter  $Z = \bar{X}$  und der «Und»-Schaltung  $Z = X \cdot Y$ , bzw. dem Inverter und der «Oder»-Schaltung  $Z = X + Y$  aufgebaut werden können (Tab. I).

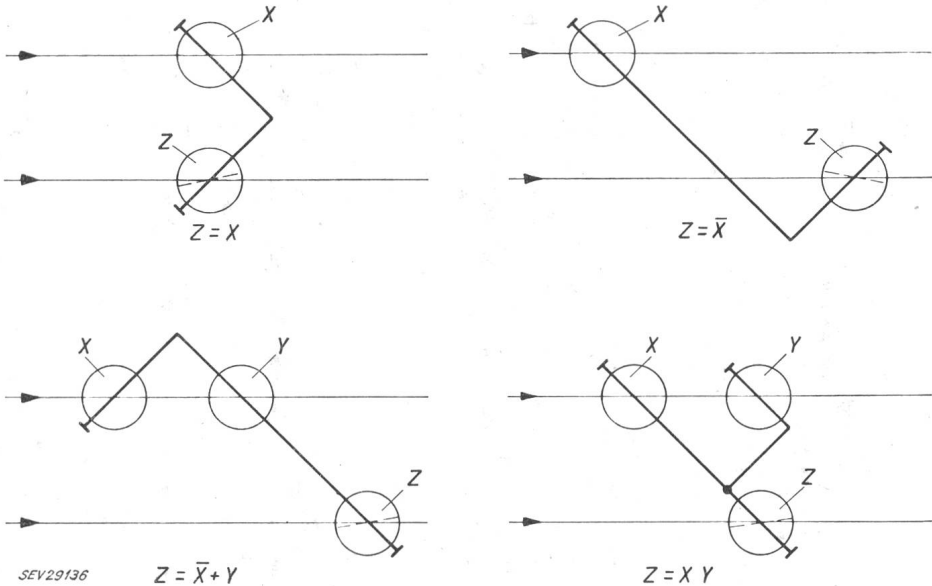


Fig. 11  
Beispiele logischer Verknüpfungen  
X, Y, Z Magnetschicht-Speicherzellen

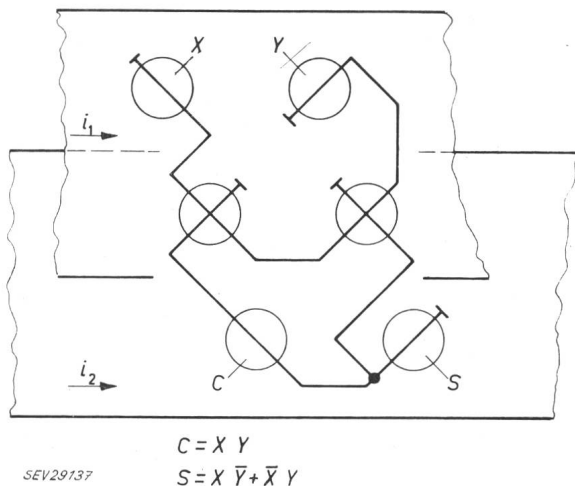
schilderten Prinzip kann unter Verwendung eines Dreitakt-Impulssystems ein solches Verschieberegister aufgebaut werden.

Die in einer bestimmten Zelle  $A_1$  (Fig. 10) gespeicherte Ziffer kann in drei Schritten über zwei Zwischenspeicherzellen  $B_1$  und  $C_1$  in die Nachbarzelle  $A_2$  verschoben werden. Während des ersten Taktes wirken die A-Zellen als Treiber, die B-Zellen als Empfänger, die C-Zellen sind gesperrt und

Aufbau binärer Verknüpfungsaufgaben
Tabelle I

Inverter		Und			Oder		
X	$Z = \bar{X}$	X	Y	$Z = X \cdot Y$	X	Y	$Z = X + Y$
O	L	O	O	O	O	O	O
L	O	L	O	O	L	O	L
		O	L	O	O	L	L
		L	L	L	L	L	L

Diese Funktionen lassen sich mit unseren Elementen leicht erzeugen (Fig. 11). Für den Inverter ist die Kopplungsleitung so zu führen, dass ein in ihr fließender Strom ein Feld erzeugt, dessen Horizontalkomponente für die Treibschicht und für die getriebene Schicht ein entgegengesetztes Vorzeichen besitzt. Durch Serien- oder Parallelschaltung von zwei Treibzellen und einer getriebenen Zelle sind



«Oder»-Funktion sowie «Und»-Funktion leicht zu realisieren, wobei sie noch mit der Inversion einer oder zwei der Eingangsgrößen kombiniert werden können. Die Art der erzeugten Funktion hängt von der geometrischen Anordnung, von der Polarität der Treibströme und von der Erregungsschwelle der getriebenen Schicht ab. Als Beispiele sind in Fig. 11 die Funktionen  $Z = \bar{X} + Y$  und  $Z = X \cdot Y$  ausgeführt. Durch Umpolung beider Treibströme entstehen die Funktionen  $Z = \bar{X} \cdot Y$  und  $Z = X + Y$ .

Kompliziertere Aufgaben können durch Kombination einfacher Funktionen gelöst werden. Fig. 12 zeigt ein halbes Addierwerk. In den oberen Zellen sind zwei Ziffern  $X$  und  $Y$  gespeichert, in den unteren Zellen erscheinen nach zwei Schritten rechts die halbe Summe  $S = X \cdot \bar{Y} + \bar{X} \cdot Y$  und links der Übertrag  $C = X \cdot Y$ . In diesem Beispiel wird ebenfalls gezeigt, wie es möglich ist, Treibleitungen gemeinsam für die Treibschichten und für die Empfangsschichten anzuordnen, mit der Absicht, ohne eine strenge Synchronisation der Treibströme auszukommen: Die nötige Feldstärke  $H_B$  für die  $B$ -Zellen ergibt sich als Überlagerung der Felder  $H_A$  und  $H_C$ , wobei  $i_1$  allein für die erste Impulsflanke von  $H_A$  und  $H_B$ , und  $i_2$  allein für die zweite Impulsflanke von  $H_B$  und  $H_C$  sorgen.

#### 4. Schlussbetrachtungen

Das hier geschilderte Prinzip der Verknüpfung zwischen Magnetschichtelementen soll als ein Vorschlag betrachtet werden. Theoretische und experimentelle Untersuchungen sind im Gange, um Näheres über dessen Realisierbarkeit

aussagen zu können. Auf experimentellem Wege konnte nachgewiesen werden, dass die Schaltzeit dünner Magnetschichten im Bereich von 1...2 ns liegt. Weiterhin wurde festgestellt, dass Schichten mit ausgeprägter Anisotropie durch eine Steuerfeldstärke von etwa 0,1  $H_k$  eindeutig und schnell zu beeinflussen sind. Theoretische Untersuchungen zeigten, dass die zu erwartenden Steuerfelder durchaus diesen Wert

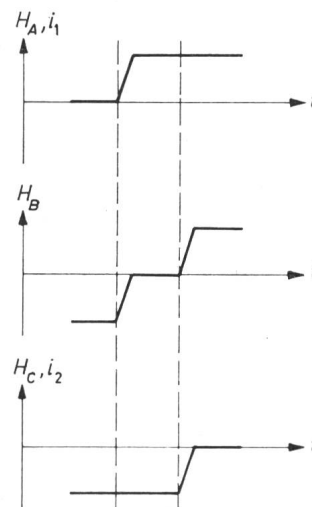


Fig. 12

Beispiel eines halben Addierwerkes und Zeitplan der Treibfelder

$C$	Übertrag-Speicherzelle
$S$	Summen-Speicherzelle
$X$	Speicherzelle
$Y$	Speicherzelle
$i_1$	Strom in der Schicht 1
$i_2$	Strom in der Schicht 2
$H_A$	magnetische Feldstärke der A-Zellen
$H_B$	magnetische Feldstärke der B-Zellen
$H_C$	magnetische Feldstärke der C-Zellen
$t$	Zeit

erreichen können. Es besteht also die Hoffnung, ein Schaltkreissystem mit einer Bitfrequenz von etwa 20 MHz auf diese Weise herstellen zu können. Bis zu diesem Ziel sind jedoch viele Probleme, besonders technologischer Natur, zu lösen.

#### Literatur

- [1] Stoner, E. C. und E. P. Wohlfarth: A Mechanism of Magnetic Hysteresis in Heterogeneous Alloys. Philos. Trans. Roy. Soc. -A Bd. 240 (1948), Nr. 826, S. 599...642.
- [2] Smith, D. O.: Static and Dynamic Behaviour of Thin Permalloy Films. J. appl. Phys. Bd. 29(1958), Nr. 3, S. 264...273.
- [3] Proebster, W. E.: Dünne magnetische Schichten als Speicher und Schaltkreiselemente. Elektron. Rechenanl. Bd. 1(1959), Nr. 4, S. 164...171.
- [4] Landau, L. und E. Lifshitz: Theory of the Dispersion of Magnetic Permeability in Ferromagnetic Bodies. Phys. Z. Sowjet. Bd. 8 (1935), Nr. 2, S. 153...169.
- [5] Kittel, C.: On the Theory of Ferromagnetic Resonance Absorption. Phys. Rev. Bd. 73(1948), Nr. 2, S. 155...161.
- [6] Dietrich, W. und W. E. Proebster.: Umschalten von dünnen Magnetschichten im Zeitbereich von einer Nanosekunde. Elektron. Rdsch. Bd. 14(1960), Nr. 2, S. 47...49.
- [7] Conger, R. und F. C. Essig.: Magnetization Reversal in Thin Films at Low Fields. J. appl. Phys. Bd. 28(1957), Nr. 8, S. 855...858.
- [8] Ford, N. C., Jr.: Domain Wall Velocities in Thin Iron-Nickel Films. 5th Conference on Magnetism and Magnetic Materials, Detroit 1959.
- [9] Kaden, H.: Impulse und Schaltvorgänge in der Nachrichtentechnik. München: Oldenbourg 1957.
- [10] Hilbert, D. und W. Ackermann.: Grundzüge der theoretischen Logik. Berlin: Springer 1949.

Adresse des Autors:

Dr. H. Oguey, IMB-Forschungslaboratorium, Adliswil (ZH).