

Zeitschrift: Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik : VPK = Mensuration, photogrammétrie, génie rural

Herausgeber: Schweizerischer Verein für Vermessung und Kulturtechnik (SVVK) = Société suisse des mensurations et améliorations foncières (SSMAF)

Band: 81 (1983)

Heft: 12

Artikel: Magnetblasenspeicher

Autor: Wenk, R.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-231661>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 11.03.2025

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

Magnetblasenspeicher

R. Wenk

Der Magnetblasenspeicher ist ein aussergewöhnliches Speichermedium im Bereich der Elektronik. Er ist ein nichtflüchtiger (d. h. die Daten bleiben auch ohne Spannungsversorgung erhalten) Schreib-/Lesespeicher, der sich durch folgende Merkmale auszeichnet:

- hohe Datensicherheit
- hohe Störsicherheit
- lange Lebensdauer
- geringe Verlustleistung
- hohe Datentransferrate
- kleine Bauform
- mechanische Unempfindlichkeit
- Geräuschlosigkeit

Im ersten Abschnitt des Aufsatzes wird ein kurzer Überblick auf die Entwicklungsgeschichte des Magnetblasenspeichers gegeben. Die folgenden Abschnitte befassen sich mit der Basistechnologie des Speicherbausteines. Hier werden physikalischer Aufbau, Speicherorganisation, Schreib- und Leseoperationen, Redundanz und Adressierung beschrieben. In einem weiteren Abschnitt sind die wichtigsten technischen Daten des Magnetblasenspeichers zusammengefasst. Den Schluss des Aufsatzes bildet die Beschreibung einer Anwendung dieses Speichers im Datenterminal GRE3 der Fa. WILD Heerbrugg AG.

La mémoire à bulles magnétiques est un support d'information peu commun dans le domaine de l'informatique. C'est une mémoire de lecture/écriture non volatile (c'est-à-dire, une mémoire dont le contenu n'est pas altéré par une coupure de courant), ayant les caractéristiques suivantes:

- haute sécurité de stockage des données
- peu vulnérable
- grande durée de vie
- faible perte de rendement
- vitesse de transfert des données élevée
- petites dimensions
- insensibilité mécanique
- absence de bruit

Le premier chapitre du travail est consacré à un aperçu historique du développement des mémoires à bulles magnétiques. Dans d'autres chapitres, on s'occupe des technologies de base des éléments de mémoire. On s'attache aux descriptions de la constitution physique, de l'organisation de la mémoire, des opérations de lecture et d'écriture, de la redondance et de l'adressage. Le chapitre suivant expose les caractéristiques les plus importantes de la mémoire à bulles magnétiques. En conclusion, on décrit l'emploi de cette mémoire dans le terminal de terrain GRE 3 construit par la Maison Wild Heerbrugg SA.

1. Entwicklungsphasen des Magnetblasenspeichers

ca. 1957–ca. 1965

Verschiedene Entwicklungsarbeiten mit magnetischen Materialien.

1966–1969

Entscheidende Arbeiten auf diesem Sektor durch Andrew Bobeck, Gianola, Hagedorn, Scovil, Shockley (Bell, USA).

8. August 1969

Die Entwicklung des Magnetblasenspeichers wird der Öffentlichkeit vorgestellt.

1970–1976

Entwicklungen durch die Firmen Texas und Rockwell mit Milliarden Investitionen.

Januar 1977

Rockwell International fertigt im Auftrag der NASA Magnetblasenspeicher mit einer Kapazität von 100 KBit* für Navigationsgeräte in Raumfahrzeugen.

17. März 1977

Texas stellt ihren Magnetblasenspeicher mit einer Kapazität von 32 KBit vor. Nach 1977 sind auch Intel, National, Motorola, Fujitsu, Hitachi und Plessey in diese Technologie eingestiegen.

1980

Auslieferung der ersten Speicherbausteine mit einer Kapazität von 1 MBit (≈ 1000 KBit).

*1 KBit ≈ 1000 Bit = 125 α -numerische Zeichen

1983

4 MBit-Bausteine verfügbar, 16 MBit in Vorbereitung. Laborversuche mit 1.5 GBit (≈ 1500 MBit)-Bausteinen bei der Fa. NEC in Japan.

Doch weil die Magnetblasenspeicher nicht in dem Masse in den Speichermarkt eingedrungen sind, wie sich dies die Hersteller vorstellten, haben verschiedene Firmen wie Rockwell, Texas und National die Produktion wieder eingestellt.

Die Gründe dafür sind verschiedenartig:

- Immer grössere RAM¹-Kapazitäten (64 KBit dynamisch) und damit verbundene Preissenkungen
- Verbesserungen bei Floppy Disks² (doppelte Dichte, zweiseitig)
- Fehlende Ansteuerbausteine, was den Aufbau einfacher Speichersysteme erschwerte
- Grosse Investitionen, die sich zu wenig schnell zurückzahlten
- Rezession, durch die verschiedene Firmen gezwungen waren, ihre Produktelinien zu straffen
- Grosse Herstellungspräzision, die nicht einfach zu beherrschen war, vor allem hohe Anforderungen an die chemische Reinheit des Grundsubstrates: Das Grundsubstrat für Magnetblasenspeicher übertrifft reines Silizium, das in der Halbleiterfertigung verwendet wird, in der Reinheit um etwa den Faktor 1000.

So sind heute die wichtigsten Anwendungsbereiche, wo Magnetblasenspeicher ihren Markt haben und sich auch durchsetzen werden, raue Umgebungsbedingungen mit hohen Anforderungen an die Zuverlässigkeit.

2. Physikalischer Aufbau

Der Speicher selbst ist ein Bauelement ähnlich wie ein Halbleiterbaustein, mit zwei Reihen Anschlussbeinen (2x8 Pins) von der Grösse 28x29 mm und damit nicht viel grösser als andere integrierte Bauelemente. Das Innenleben ist jedoch gegenüber herkömmlichen Halbleiterbausteinen völlig anders. Das Grundmaterial für den Magnetblasenspeicher ist Gadolinium-Gallium-Granat, ein nichtmagnetischer Werkstoff, der als Basismaterial dient.

¹ RAM \triangleq Random Access Memory \triangleq Schreib-/Lesespeicher.

² Floppy Disk \triangleq Diskette \triangleq Speichermedium in Form einer flachen Scheibe mit magnetischer Oberfläche.

Auf dieses Substrat wird eine dünne Kristallschicht (Ferrit-Granat), die eine ausgeprägte magnetische Vorzugsachse senkrecht zur Schichtebene besitzt, aufgebracht. Sie ist weichmagnetisch und somit magnetisch leicht manipulierbar.

In ihr können nur zwei Magnetisierungsrichtungen auftreten, denen die binären Werte 0 und 1 zugeordnet werden. Diese beiden Magnetisierungsrichtungen sind statistisch gleich verteilt. Man nennt sie auch Domänen (siehe Abb. 1). Erzeugt man nun ein äusseres Magnetfeld H senkrecht zur Schichtebene, so schrumpfen mit zunehmender Feldstärke die Domänen entgegengesetzter Polarität, bis sie sich zu zylindrischen Bereichen von einigen μm Durchmesser, den Magnetblasen, zusammenziehen (Abb. 2).

Erhöht man das Feld noch weiter, verschwinden die Blasen ganz (Kollapsfeldstärke). Felder solcher Stärke

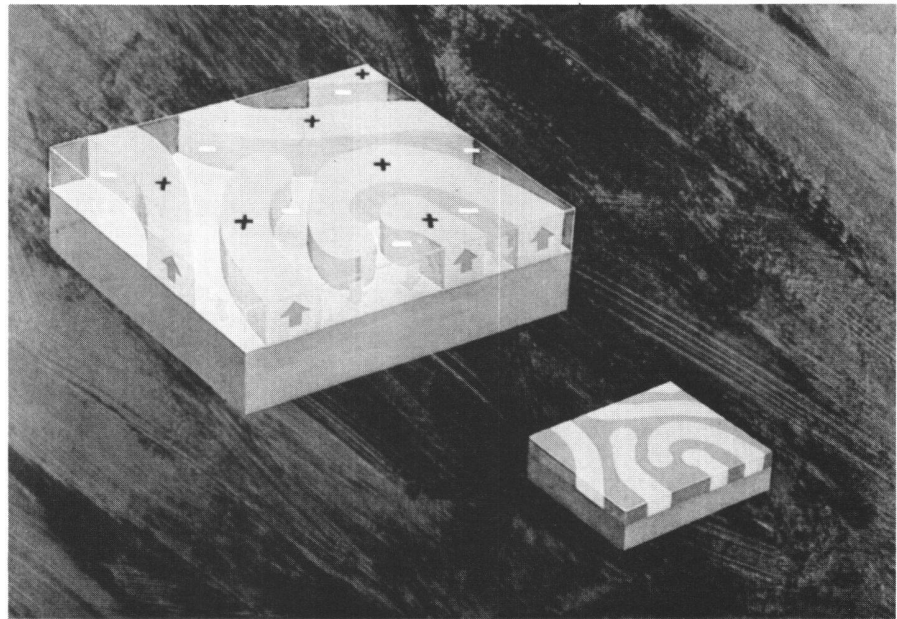


Abb. 1 Schematische Darstellung der Domänen

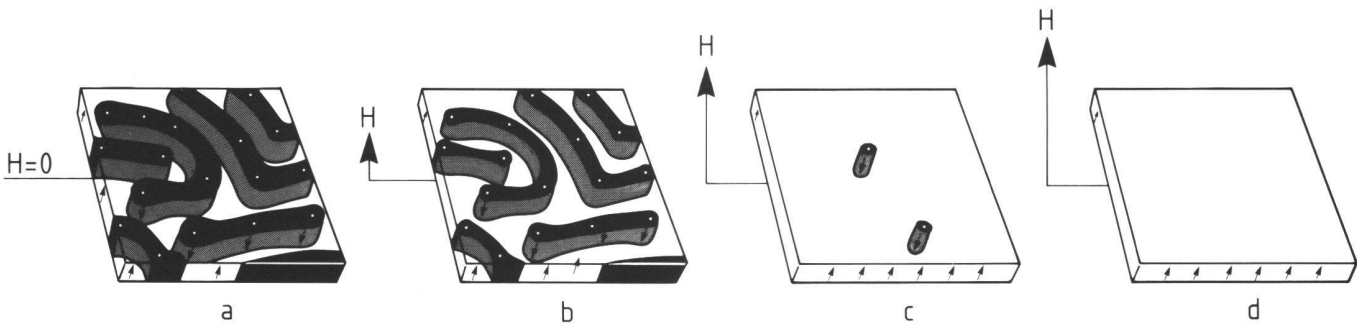


Abb. 2 Domänenentwicklung bei Steigerung des äusseren Magnetfeldes

(>30 Oe) kommen in der Natur nicht vor (Erdbagnetfeld entspricht ca. 0,2 Oe; starkes Elektromagnet ca. 5000 Oe).

Wegen der breiten Hysterese dieser weichmagnetischen Schicht (Film) braucht es eine starke Reduzierung des Feldes, um wieder Domänen zu erzeugen.

Bei einem Feld von ca. 25 Oe behalten die Domänen ihre zylindrische Form.

Nach der Fertigung eines Speichers wird als erstes ein zusätzliches Magnetfeld an den Speicher gelegt, um zu gewährleisten, dass keine unkontrollierten oder ungewollten Blasen im magnetischen Film vorhanden sind. Blasen werden erst im Betrieb an einer bestimmten Stelle des Speichers generiert oder gelöscht. Dabei entspricht eine erzeugte Blase einer logischen Eins und das Fehlen einer Blase einer logischen Null. Ein Permanentmagnetfeld, das keine Energie braucht, ist dafür verantwortlich, dass die Blasen ihre Grösse und ihre Position halten.

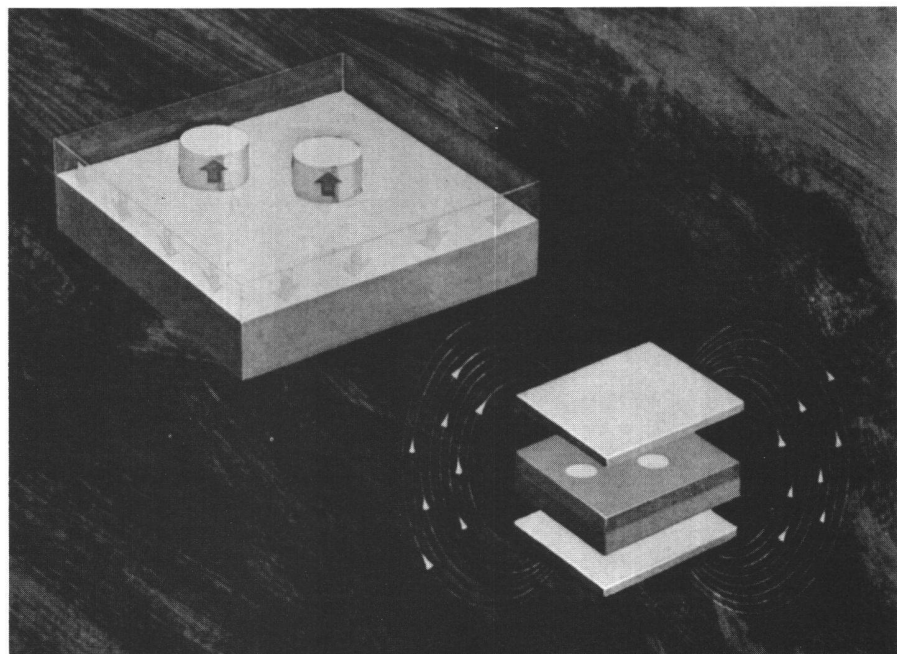


Abb. 3 zeigt nochmals eine schematische Darstellung der zu Zylindern geschrumpften Domänen.

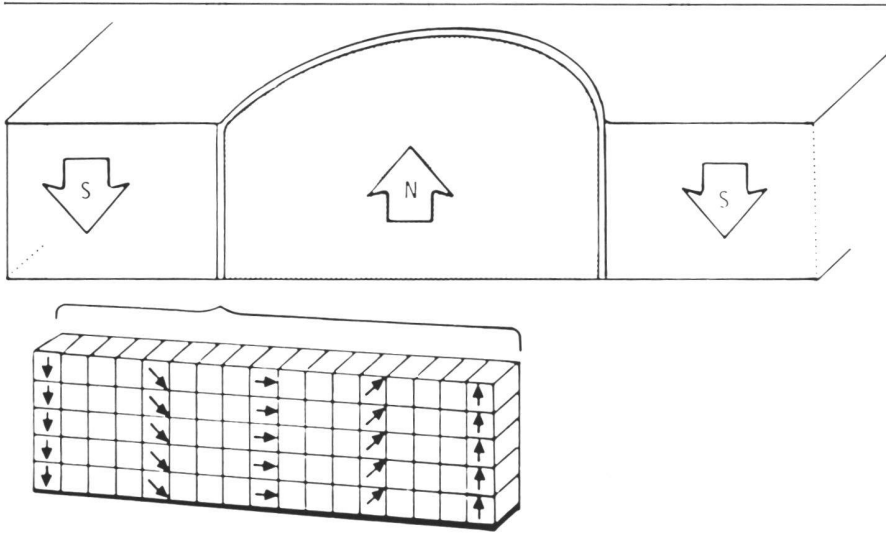


Abb. 4 zeigt eine Magnetblase im Schnitt. Dabei sei darauf hingewiesen, dass Magnetblasen nicht physikalische Teile darstellen, sondern dass es sich um flexible Magnetfelder handelt.

Ein Speicher ist aber nur dann sinnvoll, wenn die Daten jederzeit schnell eingeschrieben oder ausgelesen werden können. Das bedeutet, dass die Blasen als eigentliche Informationsträger flexibel sein müssen. Dies wird erreicht, indem man auf dem Speicherfilm sogenannte Permalloypfade aufbringt. Diese Pfade sind eine Verbindung aus 80% Nickel und 20% Eisen und daher leicht magnetisierbar und entmagnetisierbar. Unterhalb dieser Permalloypfade lassen sich generierte Blasen sehr schnell und kontrolliert bewegen. Die Blasen werden sich immer an die Elemente des Permalloypfades halten. Somit ist eine

kontrollierte Führung der Magnetblasen innerhalb des Speichers sichergestellt (Abb. 5).

Stadium A:

Die T-förmigen Elemente binden mit einem Maximum an positiver Feldstärke die Blasen an sich (Annahme: Blase ist negativ).

Stadium B:

Das Element zwischen den T-förmigen Elementen ist nun magnetisch nahezu neutral. Die Feldrichtung der T-Elemente hat sich so verändert, dass sich die Blasen von ihm fortbewegen können.

Stadium C:

Jedes Element hat eine zu A entgegengesetzte magnetische Feldrichtung. Die Blasen werden nun zu diesem Verbindungselement hingezogen (T-Element negativ, Verbindungselement positiv).

Stadium D:

Das Verbindungselement ist wiederum neutral und das T-Element entgegengesetzt zu B. Die Blase wird nun zum nächsten T-Element hingezogen.

Stadium E:

Die Magnetisierung der Verbindungselemente und der T-Elemente ist wieder gleich wie in A. Die Blase ist um eine Position weiter gewandert, währenddem sich das Feld einmal gedreht hat.

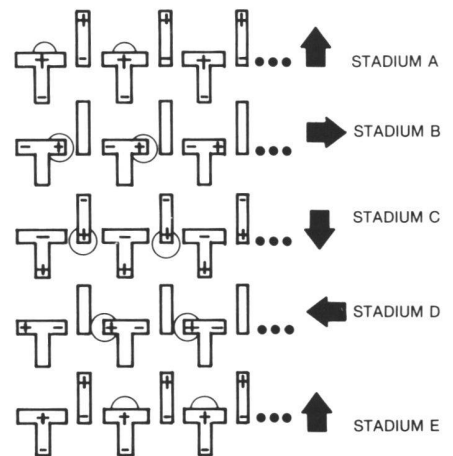


Abb. 7 zeigt die Wanderung einer Blase während einer Drehung des äußeren Magnetfeldes.

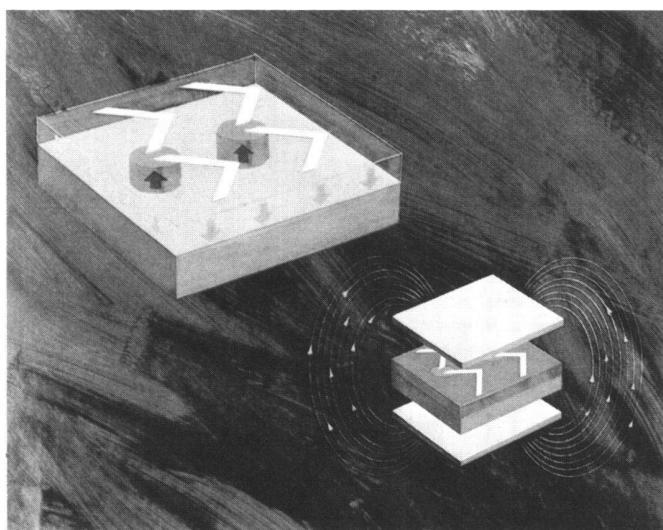


Abb. 5 (links) Chip mit Permalloy-Elementen und Magnetblasen.

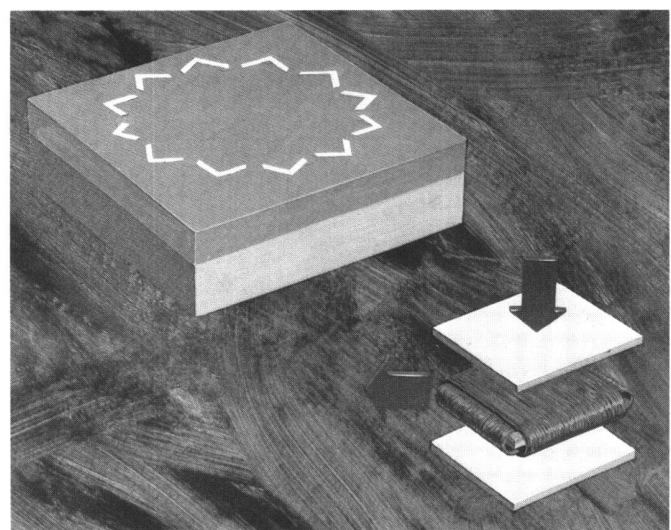


Abb. 6 (rechts) zeigt den Speicherbaustein mit allen erforderlichen Elementen. Die Permalloypfade sind als Speicher Schleifen angeordnet, unter denen sich die Magnetblasen bewegen, wenn ein zweites äußeres Magnetfeld angelegt wird. Dieses zweite Feld ist ein

rotierendes Magnetfeld senkrecht zum Permanentmagnetfeld. Es wird erzeugt durch zwei Spulen, die um 90° voneinander versetzt angeordnet sind. Durch diese fließen zwei dreieckförmige Ströme, die gegeneinander 90° phasenverschoben sind. Dieses Drehfeld verändert die Magnetisierung der Permalloypfade, was zu einer Bewegung der Blasen führt.

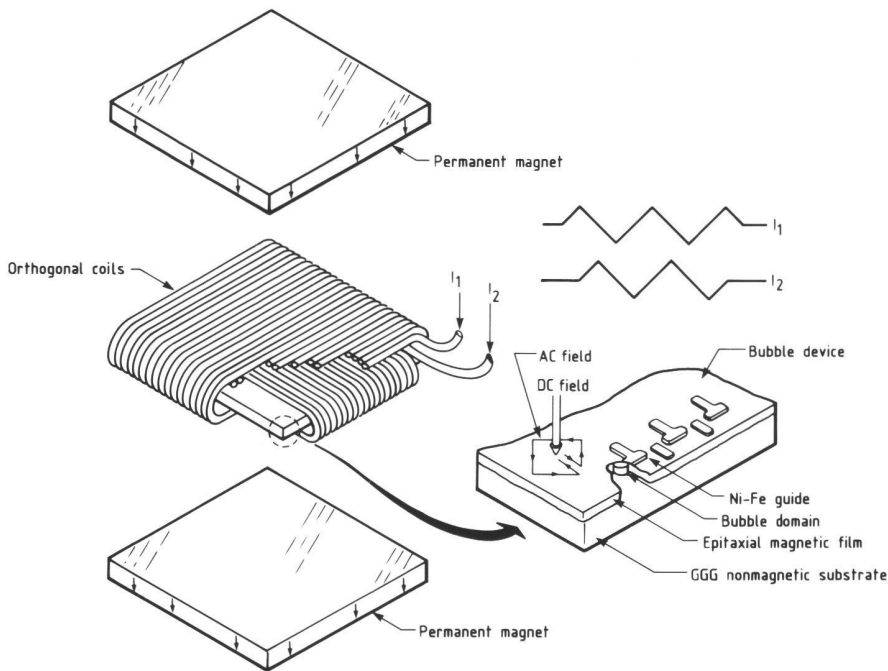


Abb. 8 zeigt den Aufbau des gesamten Magnetblasenspeichers.

3. Speicherorganisation (am Beispiel der Motorola-Produkte)

Im 32-KByte-Magnetblasenspeicher sind 256 Schleifen mit je 1024 Blasenpositionen angeordnet. Diese 256 Schleifen bilden den Hauptspeicher (auch Sekundärschleifen, Minorloop genannt). Sie bestimmen auch die kleinste zugreifbare Menge an Information, die in diesem Fall aus 256 Bits besteht (= 1 Sektor).

Mit anderen Worten: es müssen immer 256 Bits miteinander geschrieben oder gelesen werden.

Für das Schreiben und Lesen werden zusätzliche Schleifen (Primärschleifen, Majorloop) benötigt, über die die Informationen seriell eingeschrieben oder ausgelesen werden.

Durch einen Schreib- oder Lesestromimpuls werden die Blasen jeweils parallel von den Sekundär- in die Primärschleifen und umgekehrt übertragen (siehe Abschnitte 4 und 5).

Einen schematischen Aufbau zeigt Abb. 9.

4. Schreiboperation

Beim Schreiben werden entsprechend logisch Eins oder Null durch den Generator Blasen erzeugt und durch das Drehfeld in die Schreibschleife geschoben. Die Blasengenerierung geschieht dadurch, dass durch einen Stromimpuls an einer bestimmten Stelle das Magnetfeld des Films umgekehrt wird (siehe auch Abb. 2, Figur c).

Ist eine logische Null einzuschreiben, werden die Blasen, die bereits generiert wurden, lediglich um eine Position weitergeschoben. Diese Schreiboperation wird so lange durchgeführt, bis die

erste Bitposition in diesem Sektor auch der ersten Speicherschleife gegenübersteht.

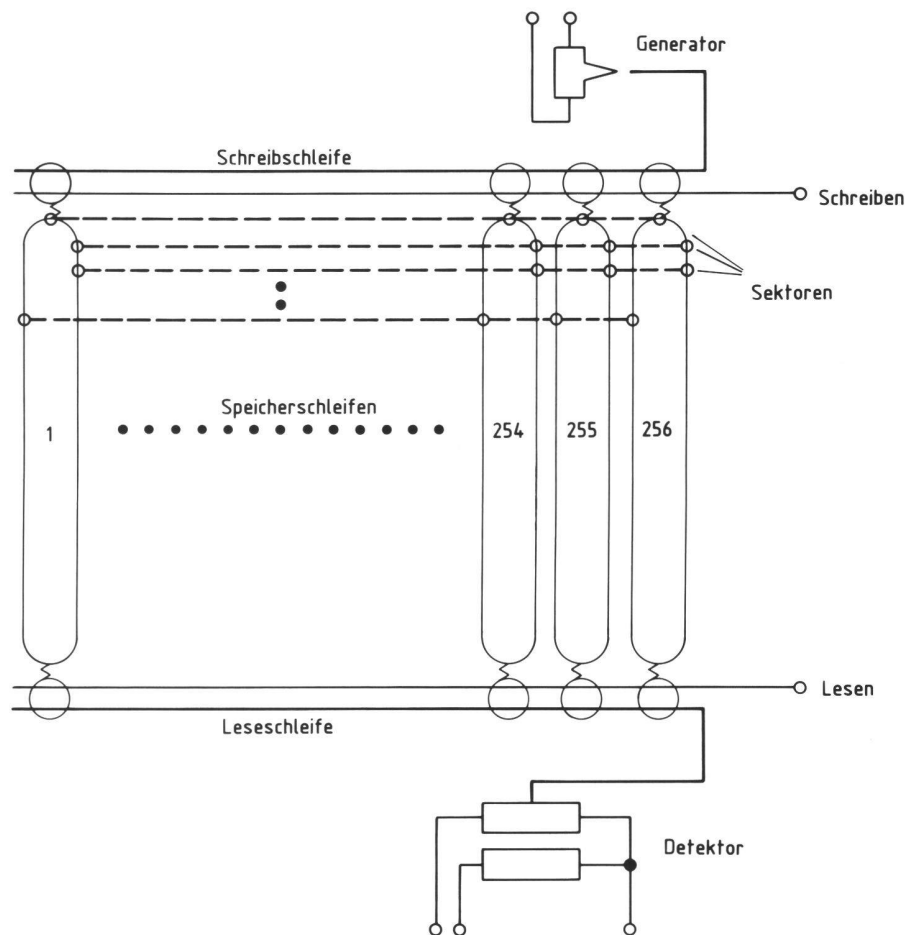


Abb. 9 Der 128-KByte-Magnetblasenspeicher enthält 512 Speicherschleifen mit je 2048 Blasenpositionen oder mit anderen Worten: im 128-KByte-Magnetblasenspeicher können 2048 Sektoren mit je 512 Bits gespeichert werden.

An jedem Punkt, an dem eine Speicherschleife der Schreibschleife nahe kommt, ist ein Übertragungspunkt. All diese Übertragungspunkte sind miteinander verbunden.

Wird ein geeigneter Stromimpuls über den Eingang (Schreiben) an diese Punkte geleitet, werden die Blasen auf der Schreibschleife durch örtliche Beeinflussung des Magnetfeldes gleichzeitig in die jeweilig gegenüberliegenden Speicherschleifen übertragen. Auch diese Übertragung ist eine Bewegung der Blasen, die durch die Rotation des Drehfeldes verursacht wird.

Die Daten werden also seriell in die Schreibschleife geschoben und dann parallel, als Sektor, auf die Speicherschleifen übertragen.

5. Leseoperation

Der Lesevorgang verläuft analog zum Schreibvorgang. Zuerst wird der gewünschte Sektor an die Stelle rotiert, wo sich Leseschleife und Speicherschleifen am nächsten sind. An diesen Stellen sind wiederum Übertragungspunkte, die miteinander verbunden sind. Wird ein Stromimpuls über den Eingang (Lesen) an diese Punkte geleitet, werden alle Blasen durch örtliche

Beeinflussung des Magnetfeldes zum gleichen Zeitpunkt aus dem Datenblock in die Leseschleife kopiert. Dann werden die Blasen durch das Drehfeld dem Detektor zugeführt, der das Vorhandensein einer Blase als logisch Eins erkennt und das Fehlen einer Blase als logisch Null.

Für die Bewegung der Blasen ist wiederum das Drehfeld verantwortlich. Dabei bewegen sich immer alle Blasen, also sowohl die Blasen in den Speicherschleifen als auch die Blasen in den Schreib- oder Leseschleifen. Einer Drehung des Magnetfeldes entspricht die Bewegung einer Blase um eine Bitposition. Dies muss bei der Adressierung der Sektoren berücksichtigt werden.

6. Redundanz

Um bei der Fertigung der Magnetblasenbausteine eine grössere Ausbeute zu erzielen, weisen sie nicht exakt 256 Speicherschleifen auf, sondern 282. Beim Endtest des Bausteines werden die schlechten, nicht zu benützenden Schleifen ausgeschieden und dokumentiert. Dies können im Maximum 26 Schleifen sein. Beim Schreiben und Lesen muss nun darauf geachtet werden, dass diese Schleifen nicht benutzt werden.

Position und Anzahl der redundanten Schleifen sind von Baustein zu Baustein verschieden. Mit jedem Baustein wird deshalb auch die sogenannte Redundanzinformation – die Anzahl und Bezeichnung der redundanten Schleifen – mitgeliefert (bad-loop-map). Beim Schreibvorgang muss an jeder Stelle, an der sich eine redundante Schleife befindet, eine 0 eingefügt werden. Während des Lesens eines Sektors

hingegen wird die Information, welche aus einer redundanten Schleife gelesen wird, einfach ignoriert.

Es gibt nun verschiedene Methoden, wie diese bad-loop-map gespeichert werden kann.

a) PROM³-Methode:

Die redundanten Schleifen werden in einem PROM gespeichert und beim Schreiben und Lesen dort ausgelesen. Die Methode bietet als Vorteil grösste Störsicherheit und einfache Handhabung. Einziger Nachteil ist, dass der Magnetblasenspeicher immer mit dem entsprechenden PROM ausgetauscht werden muss.

b) Spezialschleife:

Die redundanten Schleifen werden auf einer speziell dafür vorgesehenen Schleife untergebracht.

c) Blockschleife:

Die redundanten Schleifen werden auf einem normalen Sektor in allen Schleifen gespeichert.

7. Adressierung

Das Auffinden und Organisieren von Sektoren geschieht in einem Magnetblasenspeicher völlig anders als in den üblichen Halbleiterspeichern.

Da sich mit jeder Drehung des Magnetfeldes jede Blase, jeder Sektor, also der gesamte Informationsinhalt des Magnetblasenspeichers verschiebt, muss jeder Sektor individuell gekennzeichnet werden. Wird das Speichersystem abgeschaltet, kann die Steuerlogik bei erneutem Einschalten des Systems anhand der Sektorbezeichnung den

³PROM \triangleq Programmable Read Only Memory \triangleq Programmierbarer Speicher

aktuellen Sektor identifizieren und weitere Sektorpositionen berechnen.

Generell ist der Benutzer völlig frei, was für ein Adressierungsverfahren er wählt. Er kann die ersten Schleifen verwenden, um jeden Sektor zu adressieren – dafür benötigt er beim 32-KByte-Speicher 10 Schleifen –, er kann aber auch z. B. nur jeden vierten, jeden zehnten oder auch nur einen Sektor adressieren und die anderen Sektorpositionen daraus berechnen.

Vorteile einer Adressierung, die nur einen Sektor kennzeichnet:

- minimaler Verlust an Speicherkapazität durch die Adressierung
- Sektoren enthalten nicht Adressen und Daten gemischt, was eine einfachere Aufbereitung und Verarbeitung der Daten ergibt.

Nachteile:

- wenn die Magnetblasenansteuerung die Orientierung verliert (z. B.: Probleme in der Stromversorgung), müssen im schlimmsten Fall alle Sektoren gelesen werden, bis der Sektor gefunden wird, der z. B. als Sektor 0 gekennzeichnet ist.

8. Technische Daten

Zugriffszeit:

Die typische Zugriffszeit beträgt ca. 10 msec. (abhängig von der Kapazität des Magnetblasenspeichers, der Geschwindigkeit des Drehfeldes und der Position).

Transfer-Rate:

Die Transfer-Rate liegt je nach Geschwindigkeit des Drehfeldes und Aufbau des Speichers bei 100 KBit/sec bis 200 KBit/sec.

Zuverlässigkeit:

In früheren Jahren hat die Firma Intel eine mittlere Zeit bis zu einer Fehlererkennung von ca. 100 Jahren, hervorgerufen durch Ionenwanderung und bei 70°C, bekanntgegeben.

Inzwischen hat die Firma Rockwell eine fehlerlose Speicherfähigkeit von ca. 14 000 Jahren bekanntgegeben.

Fehlerrate:

Die Fehlerrate liegt zwischen 10^{-9} und 10^{-15} Fehlern pro Zyklus.

9. Anwendung des Magnetblasenspeichers im Datenterminal GRE3 der Fa. WILD Heerbrugg AG

Das Datenterminal GRE3 dient zur Speicherung von Felddaten, die entweder direkt von Hand oder über die Schnittstelle (z. B. T2000) eingegeben werden.

Die Daten werden in einem 32-KByte- oder 128-KByte-Magnetblasenspeicher von Motorola gespeichert.

Diese Speicherkapazität entspricht 1024 Sektoren à 4 Worte oder 2048 Sektoren à 8 Worte (1 Wort = 16 numerische

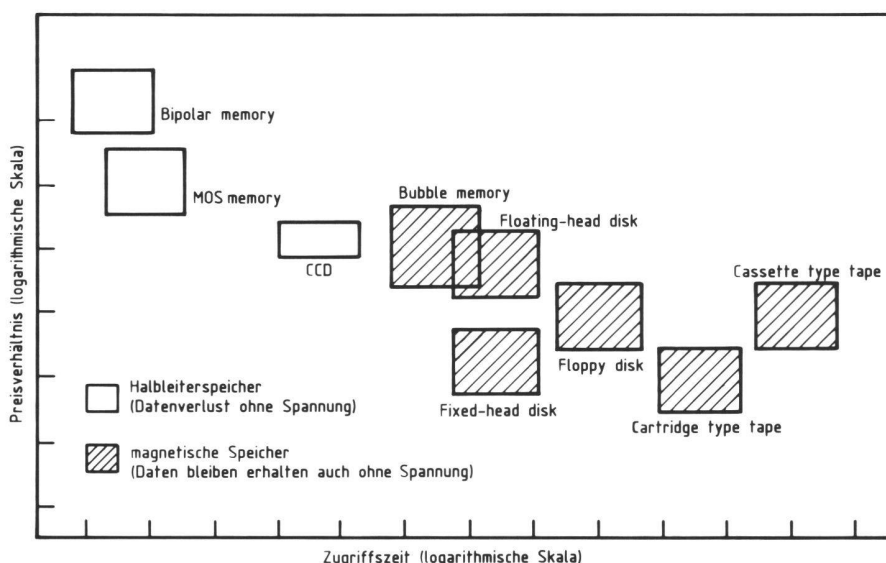


Abb.10 zeigt einen Vergleich der Zugriffszeit gegenüber Preisverhältnis verschiedener Speichermedien (Schreib-Lesespeicher).

MOS: (metal-oxide semiconductor) = Metall-Oxyde-Halbleiter

CCD: (charge-coupled device) = Ladungsverschiebeelement

Zeichen à 4 Bit). Die redundanten Schleifen (bad loop map) werden in einem EPROM⁴, das auch das Betriebssystem enthält, gespeichert.

Bezüglich Adressierung wird die einfachste Art verwendet. Das heisst: bei der Initialisierung des Speichers wird

⁴EPROM = Erasable PROM = ein PROM, der mehrmals wiederverwendet werden kann

ein Sektor 0 und ein Sektor 1 generiert, in denen alle Parameter (Baud Rate, Parity, Protokoll, FORMAT, REM-Daten) gespeichert werden. Von der Position dieses Sektors werden die Positionen der anderen Sektoren berechnet. Beim Ausschalten wird der Magnetblasenspeicher jeweils so positioniert, dass beim Einschalten Sektor 0 gelesen wird.

Literatur

[1] Axel Schultze: Technologie und Einsatz von Magnetblasenspeicher. Verlag Markt & Technik, Haar bei München, 1981

[2] Wolfgang Söll/Jörg-Hagen Kirchner: Digitale Speicher. Vogel Verlag, Würzburg 1978

Adresse des Verfassers:
Richard Wenk
Dipl. El. ing. ETH, Wild Heerbrugg AG
CH-9435 Heerbrugg

Deformationsmessungen im Rio Chixoy-Projekt

R. Bélat

Die Studien für das Wasserkraftwerk Rio Chixoy Medio in Guatemala begannen in den frühen siebziger Jahren. Die Bauausführung erfolgte von 1977 bis 1983. Das Kraftwerk mit einer Leistung von 300 MW wird den Stromverbrauch Guatemalas decken und macht das Land unabhängig von teuren Erdölkäufen für seine thermischen Kraftwerke.

Mit Schwergewicht auf der Vermessung beschreibt der vorliegende Beitrag Instrumentierung und Deformationsmessung am Pueblo Viejo-Damm sowie die Überwachung einer aktiven Verwerfung. Es soll auch gezeigt werden, dass in Entwicklungsländern, wo Ausgleichungsprogramme auf Grosscomputern fehlen oder der Kunde nicht gewillt ist, die Daten im Ausland bearbeiten zu lassen, gute Resultate mit einfachen Methoden erzielt werden können.

Les études de l'aménagement hydro-électrique du Rio Chixoy Medio (Guatemala) ont commencé au début des années 70. La construction s'est déroulée de 1977 à 1983. La puissance installée de 300 MW permettra de couvrir les besoins en énergie électrique du Guatemala et d'économiser au pays l'achat du pétrole jusque là nécessaire à ses centrales thermiques.

Le présent rapport, tout en mettant l'accent sur la mensuration, décrit l'instrumentation et les mesures de déformation du barrage de Pueblo Viejo, ainsi que la surveillance d'une faille géologique active. On en arrive ainsi à montrer que dans des pays en voie de développement où l'on ne dispose pas de programmes de compensation des erreurs implementés sur ordinateur et où souvent le client ne désire pas procéder à un traitement des données à l'étranger, on peut aussi obtenir de bons résultats par des méthodes simples.

lange Zuleitungstunnel schneidet das grosse S des Chixoy-Flusses und führt das Wasser zum Maschinenhaus in Quixal. Die maximale Druckhöhe zwischen dem Stauspiegel und den fünf Turbinenachsen in Quixal beträgt 506 m. Eine rund 125 km lange Hochspannungsleitung bringt die Energie zum Verbrauchernetz in der Hauptstadt. Die Straub AG in Chur überwachte im Rahmen der Bauleitung des Consorcio LAMI (Lahmeyer International/D, Motor Columbus/CH IECO/USA) alle vermessungstechnischen Aufgaben auf der Baustelle. Die Errichtung des Triangulationsnetzes nahm die Jahre 1976 und 1977 in Anspruch. Während der Ausführungsphase folgte die eigentliche Bauvermessung mit der Absteckung aller Bauwerksachsen, Stollenkontrollen, Volumenbestimmungen usw. Der Ersteinbau im Jahre 1983 erforderte vor allem Überwachungsarbeiten und Deformationsmessungen.

Das Wasserkraftwerk Rio Chixoy Medio des Instituto Nacional De Electrificación (INDE) liegt rund 200 Strassenkilometer nördlich der Hauptstadt auf der Grenze der drei Provinzen Alta Verapaz, Baja Verapaz und Quiché. Der Stausee bedeckt die trockenen Ausläufer der Cuchumatanes-Bergkette, während das Maschinenhaus 30 km weiter nördlich bereits im Gebiet des tropischen Regenwaldes liegt, der sich gegen die Provinz Petén und Mexico ausdehnt.

Zu den Hauptbauteilen gehören der 110 m hohe Damm mit einem Schüttvolumen von 3,2 Mio. m³, Umleitungstunnel, Grundablässen, Hochwasserentlastung und 3 km Injektionsgalerien. Der Damm staut das Wasser der Flüsse Chixoy, Salamá und Carchelá und bildet einen See von 40 km Länge. Der 26 km



Abb. 1 Vermessungsgruppen in Guatemala sind gross und immer von einer Köchin begleitet