

METODOLOGIJA TESTIRANJA MAGNETNIH MEHURČNIH POMNILNIKOV

P. KOLBEZEN,
S. MAVRIČ,
J. ŠILC,
B. MIHOVILOVIČ

UDK: 681.3.325.6.08

INSTITUT „JOŽEF STEFAN“, LJUBLJANA

Osnovne operacije delovanja magnetnega mehurčnega pomnilnika so generacija, prenos in podvojitve mehurčka. Te operacije se včasih lahko pojavljajo tudi spontano zaradi okvar na pomnilniškem elementu. Nepravilnosti v delovanju moremo ločiti na štiri glavne tipe: izginitve, deformacija, samogeneracija in samopodvojitve mehurčka. Testiranje magnetnega mehurčka lahko izvajamo na več različnih nivojih. Obravnavani so posebni nivoji pristopa k testiranju detektiranih napak v materialu, napak zaradi nezaželenih magnetnih vplivov ali pomankljive časovne kontrole.

TEST METHODOLOGY OF MAGNETIC-BUBBLES MEMORIES. Although bubble generation, transfer, and replication are normal operations in a magnetic-bubble memory these events can occur in an unwanted fashion because of defects in the device. The anomalies of bubble memory function that cause device failure are of four major types: bubble collapse, strip-out, self-generations and self-replication. The testing of magnetic-bubbles memories can be done at several different levels of complexity. Various levels of incoming testing detect material defects, improper magnetic biasing, or poor timing control are discussed.

1. UVOD

Magnetni mehurčni pomnilniki (MMP) si počasi, pa vendarle vztrajno utirajo pot na mnogotera področja uporabe. Uporabniki so prišli do zaključka, da poleg odličnih in tudi nekaterih izjemnih lastnosti MMP za vrsto aplikacij ne predstavja več predrag neizbrisljiv medij. Čeprav tovrstno pomnilniško napravo testira že proizvajalec, želi napravo testirati tudi uporabnik sam, predno jo vgradi v svoj produkt.

S problemi testiranja se sooča tudi grupa sodavcev Instituta "Jožef Stefan", ki ob finančni pomoči RSS razvija prvi večji mehurčni pomnilnik za potrebe našega industrijskega okolja. Razvila je tiskano vezje, ki z vgrajenim krmilnikom in štirimi 1 megazložnimi pomnilniškimi elementi Intel 7110 predstavlja osnovni pomnilniški modul kapacitete 128, 256 ali 512 K zlogov. Kapacitete so odvisne od števila (1, 2 ali 4) vgrajenih pomnilniških elementov. Osnovni pomnilniški modul je mogoče razširiti na kapaciteto 1 M zlogov z razširitvenim modulom kapacitete 512 K zlogov. Ekspanzijski modul nima vgrajenega krmilnika, saj more krmilnik na osnovnem modulu izkrmiliti do osem pomnilniških elementov. Osnovni in razširitveni modul predstavljata skupaj enmegazložni pomnilnik. Takšne enmegazložne pomnilnike je mogoče še nadalje združevati v večje mehurčne pomnilniške sisteme.

V delu [1] je podrobneje prikazana zgradba osnovnega MMP elementa. Sestavljajo ga pomnilniški čip, dve med seboj pravokoni navitji in dva permanentna magneta. Te elemente obdaja še kovinski oklep, ki štiti notranjost čipa pred zunanjimi magnetnimi polji.

Permanentna magneta, ki sta vgrajena v pomnilniški element, ustvarjata osnovno polje. To ohranja magnetne domene ali mehurčke, od katerih vsak predstavlja en bit. Pod vplivom tega polja obstajajo mehurčki tudi tedaj, ko pomnilniški element ni pod napajalno napetostjo, in daje elementu lastnost neizbrisljivosti pomenja. Poljsko jakost izberemo tako, da se navzlic spremenljivemu magnetnemu polju zaradi temperaturne odvisnosti magnetni mehurčki v epitaxialnem filmu ohranjajo. Nahajati se morajo v delovnem temperaturnem območju MMP. Glej črtkano polje na sliki 1!

Če postane polje premočno, se domene v filmu zvrstijo v linijo. Mehurčki, ki pa postajajo z večanjem poljske jakosti vse manjši, izginejo. V nasprotnem primeru, če poljska jakost upada, velikost mehurčka narašča in pri dovolj majhni jakosti preidejo domene v podolgovato vijugasto obliko, kakršna je značilna za naravno stanje. To pa pomeni, da mehurčki ne obstajajo več.

Operacije generiranja, propagacije, prenosa in podvojitve mehurčkov, ki so potrebne za shranjevanje in čitanje podatkov v MMP, se dosežejo z določenimi vplivi na dva sloja, nanešena na epitaxialni film. Aluminij-bakrov sloj je vzorčen s funkcijskimi elementi, ki ustvarjajo lokalna magnetna polja. Ta polja nastajajo pod vplivom tokovnih impulzov; ki imajo natančno določeno dolžino in amplitudo. Lokalna polja se prištevajo ali odštevajo zunanjemu polju, ki ga ustvarjata oba permanentna magneta, in omogočajo v filmu operacije generiranja, zamenjave ali cepitve magnetnih mehurčkov.

Drugi sloj vsebuje permalojne metalne vzorce, navadno imenovane škarnice, ki so nanešeni na oksidni sloj preko aluminij-bakrovih vzorcev. Rotirajoče magnetno polje, ustvarjeno z dvema med seboj pravokotnima navitjema, magnetizira te škarnice in s tem omogoča propagacijo magnetnih mehurčkov od ene škarnice do druge.

V MMP-napravah najbolj pogosto sredujemo dve osnovni arhitekturi:

- arhitektura z "major-minor" zanko, in
- arhitektura s kopiranjem blokov.

Pri obeh arhitekturah so kritične časovne karakteristike signalov, ki omogočajo posamezne operacije MMP. V primeru arhitekture z major-minor zanko se podatek shrani tako, da se najprej generira v enojni major zanki, ki rabi za vpisovanje podatkov, in nato prenese v številnejše minor zanke.

2. ČASOVNI VPLIVI

Prenos mehurčkov iz ene zanke v drugo omogoča posebno oblikovan propagacijski element v permalojnem vzorcu z aluminij-bakrovim kontrolnim elementom. V pravem času, ko tokovni impulz steče skozi kontrolni element in povzroči kakšno lokalno spremembo magnetnega polja, se mehurček odtrga od škarnice glavne (major) zanke in vgnezdi v škarnico manjše (minor) zanke. S spremenjenimi časovnimi razmerami tokovnega impulza je možen prehod mehurčkov iz minor zank v glavne zanke in s tem dostop do shranjenih podatkov.

V MM pomnilnikih, katerih arhitektura omogoča kopiranje blokov, se podatek, ki ga želimo shraniti, najprej generira v vhodni sledi in nato z izmenjavo blokov shrani v minor zanke. Bitanje podatka poteka v obratni smeri, pri čemer se izmenjajo bloki podatkov med minor zankami in posebno izhodno sledjo. Ta rabi za detekcijo podatkov. Bistvena razlika med obema arhitekturama obstaja v obliki prenosnih elementov, ki povzročajo cepitev mehurčka v dva mehurčka. Slednje imenujemo kopiranje, kar učinkuje kot prenos mehurčka.

Generiranje, prenos in podvojitve (kopiranje) so običajne in vedno nadzorovane operacije v MMP. Vendar se te operacije lahko pojavljajo tudi nezaželeno zaradi okvar na pomnilniškem elementu. Nepravilnosti v delovanju MMP moremo opredeliti v štiri glavne tipe:

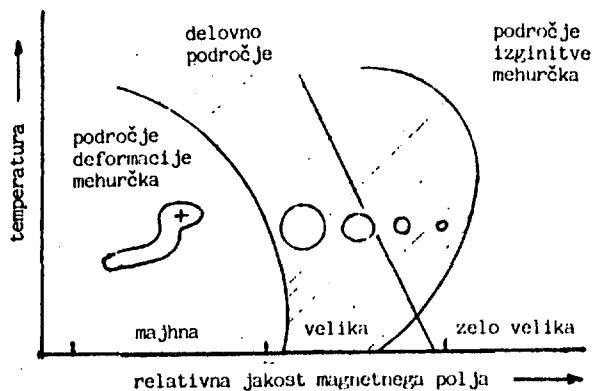
- izginitev mehurčka
- deformacija mehurčka
- samogeneracija mehurčka, in
- samopodvojitve mehurčka.

Kot smo že omenili, izvirata prvi dve nepravilnosti od premočnega ali prešibkega lokalnega magnetnega polja. Nepravilnosti drugih dveh tipov pa so lahko odvisne od več faktorjev, kot so: nepravilno oblikovani propagacijski elementi, nepravilno izdelan permalojni material, ki je nanešen med minor zankami, ali nenatančna nastavitve jakosti magnetnega polja.

MMP lahko testiramo tako, da povedujemo kvarne vplive, ki povzročajo omenjene tipe napak. Pred tem napolnimo vse podatkovne pozicije v major in minor zankah z mehurčki ali uporabimo druge podatkovne vzorce, ki omogočajo lažje razpoznavanje napak.

3. MAGNETNI VPLIVI

Zaradi magnetne narave in interakcij med mehurčki je možnost napak v delovanju pomnilnika odvisna od gostote mehurčkov in njihove



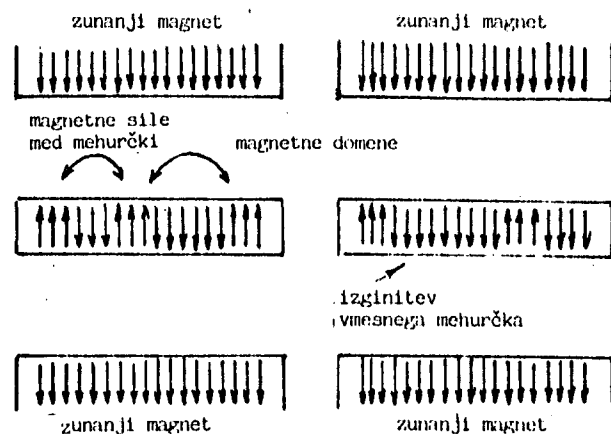
Slika 1. Robni pogoji delovanja MMP

porazdelitve pri uporabljenem vzorcu. Vsak mehurček naenkrat generira nasprotni si zunanji magnetni polji in z njima deluje na sosednje mehurčke. Ta situacija je podobna situaciji treh paličastih magnetov, ki so položeni paralelno eden poleg drugega. Če je poljska jakost dovolj velika, se magnet v sredini zasuče in tako združi nasprotni polji.

Taisti fenomen se pojavlja v epitaksialnem filmu MMP. Če je magnetna poljska jakost permanentnih magnetov previsoka, lahko interakcije med mehurčki pri "polno naloženem" pomnilniku povzročajo, da vmesno ležedi mehurčki spremenijo polariteto (glej sliko 2!). To pa pomeni, da mehurčki izginejo.

Vzrok izginitve mehurčka je lahko tudi nepravilno oblikovan propagacijski element ali nepravilno permalojni material, ki je nanešen med ali okrog propagacijske zanke. Element z napako lahko povzroči, da mehurček "lebdi" ali se giblje prepočasno in ovira druge mehurčke. Zaradi nastale ovire lahko eden od mehurčkov izgine. V drugih primerih je lokalno magnetno polje, ki ga povzroča okvarjen element, tako močno, da mehurček na takšnem elementu izgine.

Testiranje MMP na izginitve mehurčka v najneugodnejših okoliščinah (worst-case test) opravimo z zapisovanjem logične "1" na vse pozicije bitov v napravi. Na ta način kontroliramo, če ni poljska jakost permanentnih magnetov prevelika na celotnem območju delovanja mehurčnega sloja, če magneti omogočajo delo-



Slika 2. Medsebojni vpliv sosednjih mehurčkov

vanje v temperaturnem območju, ki ga predpisuje proizvajalec, in če kakšni nepravilno oblikovani elementi ne povzročajo izginitev mehurčka.

4. NAPAKE PROPAGACIJE MEHURČKOV

Deformacija magnetnega mehurčka se pojavlja pri prekomerno zmanjšani jakosti permanentnih magnetov. Polje je tedaj prešibko, da bi prebrčilo večanje in s tem vračanje domen v njihovo normalno prvotno vijugasto obliko. Takšen pojav zasledimo tudi zaradi okvar na propagacijskih elementih, vsled katerih se lahko spremeni jakost permanentnega magnetnega polja.

Testni postopek odkrivanja tovrstnih napak se razlikuje od postopka odkrivanja napak zaradi mehurčne izginitve. Razlika je v podatkovnih vzorcih, ki jih v enem ali drugem primeru uporabljamo. Pri analizi nepravilnega delovanja MMP, ki nam omogoča odkriti prešibko magnetno polje pri robnih pogojih delovanja, uporabljamo vzorec, ki ima nekaj redko razmeženih mehurčkov preko vseh delujočih zank. Če se mehurčki pod takšnimi pogoji deformirajo (dobijo podolgovato vijugasto obliko), se bodo pojavili podatki tudi na drugih lokacijah bitov, na katere predhodno nismo vpisali podatka. Takšen test nam ne pomaga odkrivati le napake vsled prešibkega magnetnega polja, ampak tudi napake, ki se pojavljajo v MMP zaradi nepravilno oblikovanih škarnic. Omenili pa smo že, da včasih tudi takšne škarnice povzročajo deformacijo mehurčka.

O samogeneraciji govorimo, če se spontano izoblikujejo nezaželjeni mehurčki v MMP. Navadno se to dogaja pogojno zaradi premočne magnetne poljske jakosti, ki naraste zaradi previsoke notranje temperature na mejo delovnega območja. Samogeneracijo v propagacijskih zankah odkrivamo z vzorcem, ki vsebuje samo logične "0" na vseh podatkovnih pozicijah v MMP. Nato z večkratnim odčitavanjem vsebine MMP ugotavljamo, če se spontano generirali kakšni mehurčki kjerkoli v pomnilniškem čipu. Generiranje nezaželenih mehurčkov odkrijemo z detektiranjem logične "1" v izhodnem podatku.

Vzrok samopodvojitve mehurčka najdešče tiči v nepravilno oblikovanih elementih. Na sliki 3 vidimo, da je podvojitve lahko vertikalna (znotraj iste zanke) ali horizontalna (med zankami).

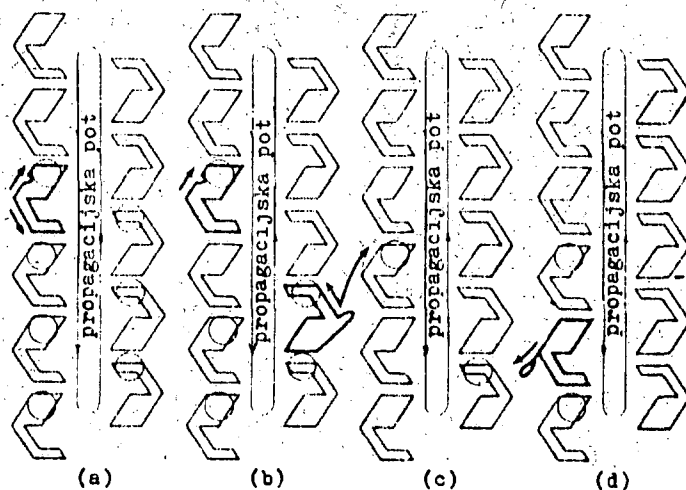
Tovrstne napake odkrijemo tako, da v MMP vpišemo več strani samih logičnih "1", le-tam pa pridružimo več strani samih logičnih "0". Zaradi vertikalne podvojitve se bodo pojavili mehurčki v podatkovnih straneh, ki bi sicer morale biti prazne. Test s takšnim vzorcem odkrije tudi napako v zanki, če "pade" zadnji mehurček v nizu nazaj v zanko zaradi magnetne interakcije med mehurčki.

Slika 3.a kaže zarezo v eni izmed škarnic na levi strani zanke. Magnetna polarizacija, ki nastane v tem škarniku, in interakcija med mehurčki lahko povzročita, da se poslednji mehurček v nizu podvoji in pade nazaj na prvotno mesto ali tudi za več mest nazaj. Rezultat tega je, da se pojavi pri čitanju pomnilnika na straneh podatkov, ki so vsebovali samo logične "0", tudi nekaj logičnih "1". Na sliki 4.b je prikazan primer, ki kaže nekakšno nagnenje mehurčka k "padcu" le-tega nazaj na prvotno lokacijo. To nagnjenost odklanjamo tako, da najpreje aktiviramo serijo start-stop operacij, s katerimi dosežemo takojšno osamitev poškodovanih elementov.

Horizontalna samopodvojitve nastane, če se podatek nepravilno podvoji in prenese iz ene zanke v drugo. Testiranje takšnega tipa napak izvajamo z vpisovanjem vzorcev, sestavljenih iz več "1", katerim sledi več "0" znotraj ene same stranice podatkov. Ponavljanje takšnih podatkovnih vzorcev v MMP-čipu omogoča odkrivanje poškodb, kakršne so prikazane na sliki 3.c in 3.d. Le-te povzročajo, da se mehurčki ali podvojijo ali preprosto skočijo iz polne v prazno zanko [4, 6].

5. NIVOJI TESTIRANJA

Razlikovati moramo predvsem testiranje in odkrivanje napak pri razvoju ali vgradnji MMP v uporabniški sistem na eni strani, ter testiranje in odkrivanje, kot tudi popravljanje napak MMP med eksploatacijo le-tega v uporab-



Slika 3. Vpliv poškodb na propagacijskih elementih

niškem sistemu na drugi strani. Zato govorimo o testiranju MMP na dveh makro nivojih.

Na prvem makro nivoju izvajamo testiranje MMP na treh različnih nivojih kompleksnosti. Ker pomnilniške komponente in napravo kot celoto testira že sam proizvajalec, večina uporabnikov meni, da je že iz ekonomskega vidika neupravičeno, da na prvem nivoju pomnilniške elemente še sami ponovno testirajo.

5.1. Prvi nivo testiranja obsega vse v prejšnjih poglavjih obravnavane teste v predpisanem temperaturnem delovnem področju mehurčnega pomnilniškega sistema, ki je sestavljen iz pomnilniškega elementa in kontrolnih vezij na tiskanini. Govorimo o testiranju na nivoju tiskanega vezja MMP. Po odkritju napake moramo s ponavljajočim bitanjem pomnilnika ugotoviti, če obstaja napaka mehke ali trde narave. Mehke napake se pojavljajo predvsem zaradi napačnega detektiranja mehurčkov med operacijo bitanja. Navadno lahko tovrstne napake odpravljamo preprosto z večkratnim odditavanjem podatkov.

Skrbno izdelani klišeji tiskanih vezij mehurčnih pomnilnikov v marsičem pripomorejo k zmanjšanju števila pojavljajočih se mehkih napak na minimum. To dosežemo s tem, da poskrbimo za ustrezne preseke vodnikov, njih razporeditev, kot tudi primerno razmestitev posameznih komponent vezja na tiskanini. Pomembno je, da vodimo vodnike od izhoda detektorja do ojačevalnika izhodnih impulzov (sense amplifier SA) čim dlje proč od vodnikov, ki so lahko generatorji šumov, kot tudi od vodnikov vzbujevalnih tokov pravokotnih navitij. Pri tem pa naj bodo poti čim krajše.

Problematika trdih napak tiči znotraj pomnilniškega elementa. Za tovrstne napake je značilno, da se pojavljajo ob vsakokratnem bitanju pomnilnika. Prav tako, kot v prejšnjem primeru, pa je potrebno testni postopek ponavljati, da moremo ugotoviti, če izhaja napaka iz pomnilniškega elementa samega, ali le vsled slabega delovanja celotnega vezja. Sistemu omogočimo nepretrgano delovanje v bitalnem - pisalnem ciklu in posebej le v bitalnem ciklu. Na osnovi detektiranih napak določimo povprečni čas javljanja napak (MTTE) v sistemu.

5.2. Večji kompleksnostni nivo testiranja je drugi nivo. Na tem nivoju testiranja upoštevamo digitalno - analogne pretvornike in diskretna vezja, ki se priključujejo pomnilniškemu elementu na tiskanem vezju MMP. Na tem nivoju testa spreminjamo napetosti in amplitude funkcijsko odvisnih tokov v območju danih specifikacij in preko temperaturnega območja pomnilniškega elementa. Ta nivo testiranja lahko še razširimo na gradnike diskretnega mehurčnega krmilnika tako, da spreminjamo časovne karakteristike različnih kontrolnih signalov v določenem temperaturnem območju.

Opisana metoda je za večino uporabnikov prepočasna in predraga. Alternativen pristop k testiranju na tem nivoju je takšen, da testiramo podporna vezja že pred vgraditvijo pomnilniškega elementa na tiskano vezje. Ta alternativa je primerna še posebej za razvijalce MMP vezij.

Komerčajno dosegljive naprave za testiranje tiskanih vezij MMP merijo dolžino in amplitudo izhodnih signalov funkcijskih gonilnikov in časovnih generatorjev [2]. Ko uspešno končamo testiranje podpornih vezij na tiskanem vezju MMP-sistema, dodamo še pomnilniške ele-

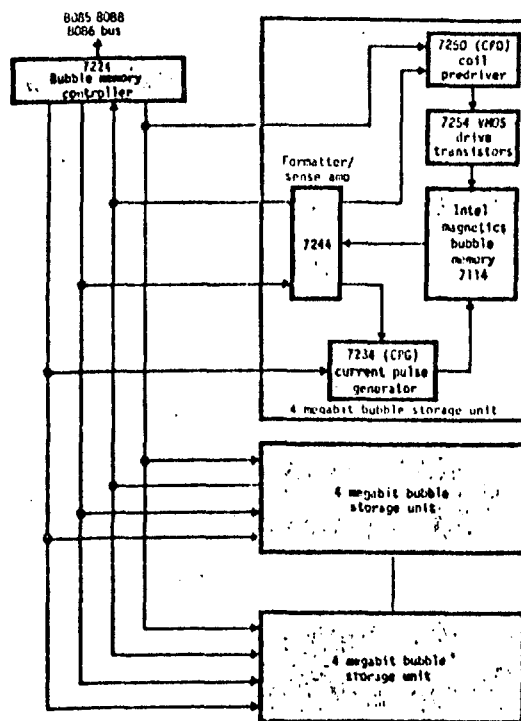
mente. Nato testiramo sistem v celoti in napravimo analizo napak na nivoju vezja MMP.

5.3. Na tretjem nivoju testiranja poskušamo določiti nastavitve magnetnega polja z merjenjem robnih pogojev delovanja mehurčnega pomnilniškega elementa. Jakost permenetnega magnetnega polja ni mogoče meriti direktno, ker so magnetni pomnilniški elementi zaščiteni s kovinskim oklopom. Zato lahko normalne delovne pogoje določimo le z zelo močnim zunanjam poljem. Z večanjem in zmanjševanjem vpliva takšnega zunanjega polja opazujemo, kdaj nastopi izginitvev oziroma deformacija mehurčkov. Normalizirane delovne pogoje dobimo z jakostjo polja, katerega vpliv spreminjamo v mejah, znotraj katerih se ne pojavljajo napake enega ali drugega tipa.

Na nivoju uporabnika je opisani postopek zelo drag in lahko povzroči več vmesnih, nastavitvenih in korekcijskih problemov. S tem postopkom lahko nehoti vplivamo na posebne zanke, kot so "masked-off" ali "redundancy-map" zanke, in s tem uničujemo porajajoče se mehurčke. Zato mora imeti uporabnik pri testiranju na tem nivoju na voljo naprave, s katerimi lahko doseže pogoje za popolno izginitvev mehurčkov, za regeneriranje porajajočih se mehurčkov ali nekih redundantnih podatkov za zanke preslikav (map loops). Zato je za večino uporabnikov lažje, da prepostijo testiranje vpliva magnetnega polja na pomnilniški element proizvajalcu le-tega.

Vrteče magnetno polje, ki je potrebno za delovanje magnetnega mehurčnega elementa, dobimo z dvema sinusnima signaloma. Ta sta med seboj fazno premaknjena za približno 90 stopinj. Neizbrisljivost shranjenega podatka je zajamčena le, če se vrteče magnetno polje ustavi in počene v točno določenem faznem zamiku.

Načrtovalci pomnilniških modulov uporabljajo za določanje faznih zamikov običajen polari-

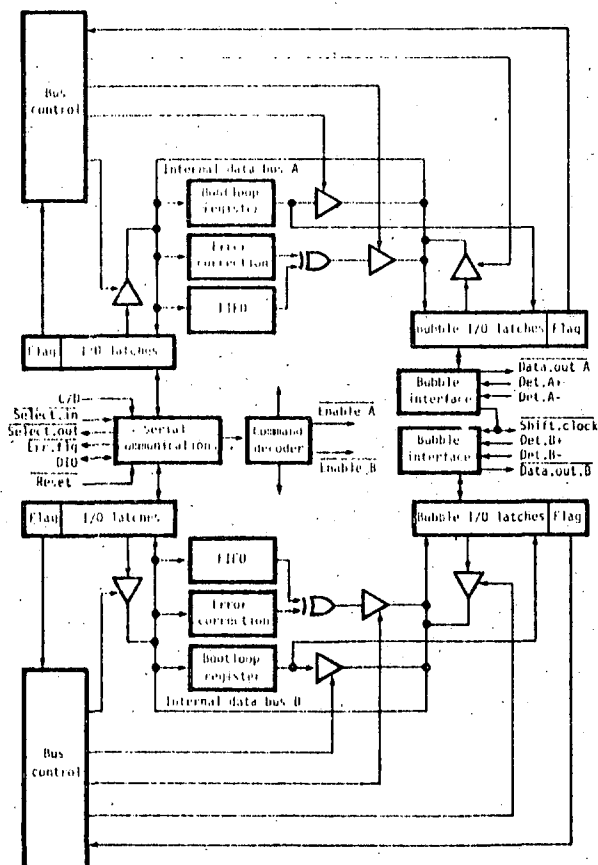


Slika 4. Osnovni podsistem MMP

zacijski registrator vzbujevalnih tokov rotirajočega magnetnega polja. Lissajousove slike so učinkovit pripomoček metode za analizo omenjenih sinusnih signalov, saj nam omogočajo opazovanje faznih zasukov obeh signalov na zaslonu osciloskopa in s tem nastavitvev startnih karakteristik vzbujevalnih tokov vrtilnega magnetnega polja [3].

5.4. Drugi makro nivo testiranja se uporablja pri eksploataciji MMP. Tedaj se sprotno izvaja odkrivanje, lokalizacija in popraviljanje napak. Sodobna tehnologija in organizacija mehurčnega pomnilniškega elementa, krmilnika in FSA [6,7] omogočajo z izvajanjem omenjenih aktivnosti veliko zanesljivost v delovanju pomnilniškega sistema [5, 7]. Nadzor nad naštetimi aktivnostmi je dodeljen krmilniku. Pri tem je posebno pomembno, da omenimo odkrivanje dobrih in slabih zank MMP neposredno po izdelavi čipa že pri proizvajalcu samem, ki tovrstni podatek posreduje kupcu.

Pretok podatkov med gostiteljskim sistemom in MMP mora najpreje potekati preko oblikovalno-bitalnih ojačevalnikov (FSA na sliki 4). Kot je razvidno iz slike 5 ima FSA dva identična kanala, ki imata vgrajeno vezje za korekcijo napak in serijske "prvi v - prvi iz" (FIFO) registre. Krmilnik nadzoruje aktivnost omenjenih ojačevalnikov z ukazi, ki jih pošilja na enojne, serijske, obojestrano usmerjene podatkovne vhodno-izhodne linije (OIO). Štiri bitni ukazi, ki jih pošilja krmilnik ojačevalnikom FSA, so časovno multipleksirani na isti enojni liniji (OIO). Tako imenovani



Slika 5. Ojačevalnik in oblikovalnik podatkov (realiziran v Intelovem 7224 FSA)

"boot-loop register" ima pomembno nalogo pri obojestrnem prenosu podatkov med gostiteljskim računalnikom in pomnilnikom. 160 bitni register [7] vsebuje informacijo, ki natančno podaja konfiguracijo dobrih in slabih zank v ustreznem kanalu vsakega MMP.

Vsakemu bitu registra odgovarja določena minor zanka v pomnilniškem čipu (npr. v Intelovem čipu 7114 s kapaciteto 4 Mbitov). Pri prenosih podatkov skozi vhodno/izhodne registre MMP se med čitanjem s pomočjo vsebine "boot-loop registra" upoštevajo slabe zanke. Med vpisovanjem v MMP element se namreč vpisujejo nišle na vse tiste lokacije bitov, ki odgovarjajo slabim zankam. Tedaj, ko je omogočena korekcija napake, vsebuje "boot-loop register" natanko 135 enic pri 270 dobrih zankah na kanal mehurčnega pomnilnika.

V bloku korekcije napak je uporabljena posebna 14-bitna "goreča koda", ki je namenjena detekciji in korekciji napak. Če uporabnik omogoči proces detekcije in korekcije, posebno vezje za korekcijo napak doda na koncu vsakega 256 bitnega bloka, ki med vpisovanjem potuje skozi FIFO register, še omenjeno 14 bitno kodo. Med operacijo čitanja pa vezje za korekcijo napak pregleduje blok podatkov in preko zastavce ERR FLAG sporoča pomnilniku, če se v podatkovnem bloku pojavi kakšna napaka.

Na ukaz "read MBM data" FSA čita podatke iz MMP. Prečitani podatki so na osnovi vsebine "boot-loop registra" selektirani tako, da se v FIFO registre FS ojačevalnikov vpisujejo le tisti podatki, ki prihajajo iz dobrih zank. V primeru korekcije napak, se podatek prebere na poseben način. Tedaj mora biti blok podatkov (to je 270 bitov) v celoti prenešen v FIFO, še predno se kateri bit prebere iz FIFO registra. Le na ta način lahko vezje za korekcijo napak le-te odkrije in s programsko prekinitvijo krmilnika pravočasno prepriča nadaljnji prenos podatkov. V primeru, da napaki, se 270-bitni blok prebere iz FIFO registra v krmilnik, a v FIFO register se med tem že vpiše naslednji blok.

Ukaz "internally correct data" prisili FS ojačevalnik, da v notranjem ciklu ojačevalnika podatki potujejo skozi vezje za korekcijo napak, ne da bi bil kateri od njih poslan krmilniku. Na koncu te operacije pošlje ojačevalnik CORRERR ali UNCORRERR bit v statusni register krmilnika. Če je napaka popravljiva, prične krmilnik izvajati ukaz "read corrected data".

V ciklu izvajanja ukaza "read correct data" potujejo podatki skozi ECC vezje. Nato se vseh 256 bitov prenese nazaj v krmilnik. FSA status register označuje prisotnost napake, ki je lahko popravljiva ali ne. Gornji ukaz se pojavi tudi tedaj, ko so podatki predhodno popravljivi z ukazom "internally correct data". Oba ukaza združeno omogočata tri nivojski ECC, ki je natančneje opisan v delu [7].

6. ZAKLJUČEK

Delo je nastalo v okviru sodelovanja Instituta "Jožef Stefan" z Iskra-Telematiko, Kranj. Razvit je bil osnovni modul magnetnega mehurčnega pomnilnika kapacitete 128, 256 ali 512 kilozlogov. Zasnovan pa je tudi ekspanzijski modul, ki povečuje kapaciteto pomnilnika na en megazlog.

V prvih treh razdelkih smo obravnavali problematiko odkrivanja in določanja vrste napak v delovanju magnetnega mehurčnega pomnilni-

škega modula na tako imenovanem prvem makro nivoju. Obravnavana metodologija testiranja na tem nivoju je uporabljiva pri razvoju in vgrajevanju MMP v uporabniški sistem. Proizvajalou MMP elementa omogoča zanesljivo odkrivanje slabih zank. Odpravljanje posledic le-teh v pomnilniškem čipu pa smo obravnavali v razdelku 5.4.

Zaključimo lahko, da je za uporabnika mehurčnega pomnilniškega medija bistven prvi nivo testiranja. To je testiranje na nivoju tiskanege vezja, pri čemer uporabnik izvaja funkcionalno testiranje z rabo obravnavane metodologije testiranja na tem nivoju. V dodatku je podan opis programa funkcionalnega testiranja 0,5 megazložnega mehurčnega pomnilnika na plošči tiskanega vezja, ki je bil najpreje testiran na Intellocovem razvojnem sistemu, po preprojektiranju in prilagoditvi vodila pa še na gostiteljskem 16-bitnem mikro računalniku TK 68000.

7. LITERATURA

- [1] P.Kolbezen, R.Trobec, J.Šilo, B.Mihovilo-
vici: Mehurčni pomnilniki, IJS Ljubljana,
Raziskovalna študija, št.pogodbe: 03-BR-
PK-1226/81, junij 1981.
- [2] Alina Deutsch, John D.Mackay, Mark H Kry-
der, Mitchell S. Cohen, Arnold Halperin,
Fred W. Stukej: Magnetic Bubble Memory
Exerciser, IEEE Transactions on magnetics,
vol.MAG-16, No.2, March 1980.
- [3] Joe E. Neuhauser: Oscilloscope Technique
for Checking Bubble Memories, Electronics
Test, pp. 10-11, May 1979.
- [4] Dan Harmon: Test strategies find faults
in user's bubble memories, Electronics,
pp. 145-148, June 2, 1981.
- [5] John E. Davies: The 7110, A One Megabit
Magnetic Bubble Memory, Intel Magnetos,
Reliability Report.
- [6] J.E.Davies: Reliability Considerations in
the Design of One-megabit Bubble Memory
Chips, IEEE Transactions on Magnetos,
Vol.MAG-16, No. 5, pp. 1106-1110, Septem-
ber 1980.
- [7] D.Dossetter, H.Washburn, S.Nicolino and
D.Pierce: New bubble memory packs in 4 M
bits, Part two, Electronic Engineering,
pp. 47-53, January 1983.

DODATEK

Testiranje mehurčnega pomnilniškega elementa
17110 na mikroročunalniškem sistemu Intelloc
MDS in sistemu TK 68000. Testni program je
napisan v zbirnem jeziku Intel 8080 in Moto-
rola 6800.

Algoritem testiranja:

```

begin
  inicializacija pomnilniškega sistema ;
  stanje := 0 ; { trenutno stanje: testiranje }
  page := 0 ; { trenutno testirana stran }
  stnapak := 0 ; { število napak }
  sttestov := 0 ; { število testov }

  repeat
  case stanje of
    { generiranje testnih vzorcev 0,55h, aah,
    fih }
    0: begin
        generiranje testnega vzorca ;
        stanje := 1 ;
      end ;
    { vpis testnih vzorcev iz RAMa v mehurčni
    pomnilnik }
    1: begin
        vpis testnega vzorca na stran page ;
        if BMCstatus then
          begin
            if page = 4096 then
              begin
                sttestov := sttestov + 4096 ;
                page := 0 ;
                stanje := 2 ;
              end ;
            else page := page + 1 ;
              end ;
            else status := 4 ;
              end ;
        { branje testnih vzorcev iz mehurčnega
        pomnilnika v RAM }
        2: begin
            branje testnega vzorca iz strani page ;
            if BMCstatus then stanje := 3 ;
            else stanje := 4 ;
              end ;
        { primerjava vpisanih in branih testnih
        vzorcev }
        3: begin
            komparacija vpisanega in branega
            testnega vzorca ;
            if razlika then
              begin
                stnapak := stnapak + 1 ;
                write ( stnapak ) ;
              end ;
            if page = 4096 then stanje := 0 ;
            else
              begin
                page := page + 1 ;
                stanje := 2 ;
              end ;
            end ;
          { nasilna prekinitiv }
          4: begin
              nasilna prekinitiv ;
              programski reset ;
              stanje := 0 ;
            end ;
          end ;
        until konec ;
      end.

```