1,2

PEŁNOMOCNIK RZĄDU
DO SPRAW
ELEKTRONICZNEJ TECHNIKI OBLICZENIOWEJ

P. 3057/69

ELEKTRONICZNA TECHNIKA OBLICZENIOWA

NOWOŚCI

1/1969

INSTYTUT MASZYN MATEMATYCZNYCH
DZIAŁOWY OŚRODEK INTE

P. 3057/69

ELEKTRONICZNA TECHNIKA OBLICZENIOWA

N O W O Ś C I

Rok VIII Nr 1/15/ 1969

S p i s t r e ś c i

str.

Mgr inż. Eugeniusz NOWAK, dr inż. Zygmunt SAWICKI: Pamięci optyczne 3

Mgr Andrzej SIKORSKI: Pamięci stałe 35

Mgr inż. Jerzy DAŃDA: System do badania pamięci operacyjnych i stałych 65

Mgr inż. Jan RYŻKO: Wpływ parametrów rdzeni na obszar pracy pamięci koincydencyjnej 89

Spis treści ETO NOWOŚCI za rok 1968 115

Wydaje

INSTYTUT MASZYN MATEMATYCZNYCH

D z i a ł o w y O ś r o d e k I n f o r m a c j i N a u k o w e j

T e c h n i c z n e j i E k o n o m i c z n e j

KOMITET REDAKCYJNY

Eugeniusz Nowak, Dorota Prawdzic /red. nacz./
Ryszard Rawski, Zbigniew Świątkowski
Witold Wudel /sekr. red./

Adres Redakcji: Warszawa, ul. Krzywickiego 34

Wykonano w Instytucie Maszyn Matematycznych
Nakł. 450 egz. pap. offset kl. III/80 g. zam. 122/69, GP-II-1416/68,
INDEKS-35804

Mgr inż. Eugeniusz NOWAK
Dr inż. Zygmunt SAWICKI
Instytut Maszyn Matematycznych

535.4:771.53:535.5:681.327.5
+535.8:681.327.6

PAMIĘCI OPTYCZNE

Mimo poważnych osiągnięć w rozwoju konstrukcji i technologii rdzeniowych pamięci o dużych pojemnościach /rzędu 10^7 bitów/ i stosunkowo dużych szybkościach działania /około 2.10^7 bitów/s/, we współczesnej technice obliczeniowej istnieje potrzeba stosowania pamięci o jeszcze większej pojemności /rzędu 10^8 bitów/ i większej szybkości /10^8 bitów/s/.

Ponadto pamięć ta powinna odznaczać się szczególną cechą, a mianowicie możliwością natychmiastowego /w jednym cyklu/ dostarczania jednostce centralnej maszyny całych zespołów informacji, tzw. plików, stron, bloków. Oczekuje się, że w niedalekiej przyszłości potrzebę tę zaspokoją pamięci optyczne. Intensywne badania w tym kierunku są obecnie prowadzone przez kilka firm, m.in. IBM, Honeywell, Bell Telephone. Dotychczas uzyskane rezultaty pokazują, że w centrum uwagi znajdują się dwa rodzaje pamięci optycznych:

- pamięć holograficzna,
- pamięć magnetooptyczna.

W pierwszej z nich nośnikiem informacji jest klisza fotograficzna, a zapis odbywa się poza maszyną cyfrową przy użyciu specjalnych urządzeń. W drugiej nośnikiem jest cienka, posiadająca znaczny stopień przezroczystości warstwa magnetyczna, na której odpowiednie układy pamięci bezpośrednio zapisują potrzebne informacje.

Poza różnicami dotyczącymi samego procesu magazynowania informacji obie pamięci mają szereg podobnych układów, jak np.:

. laserowe źródło światła,
. układy wybierania,
. detektory odczytywanej informacji.

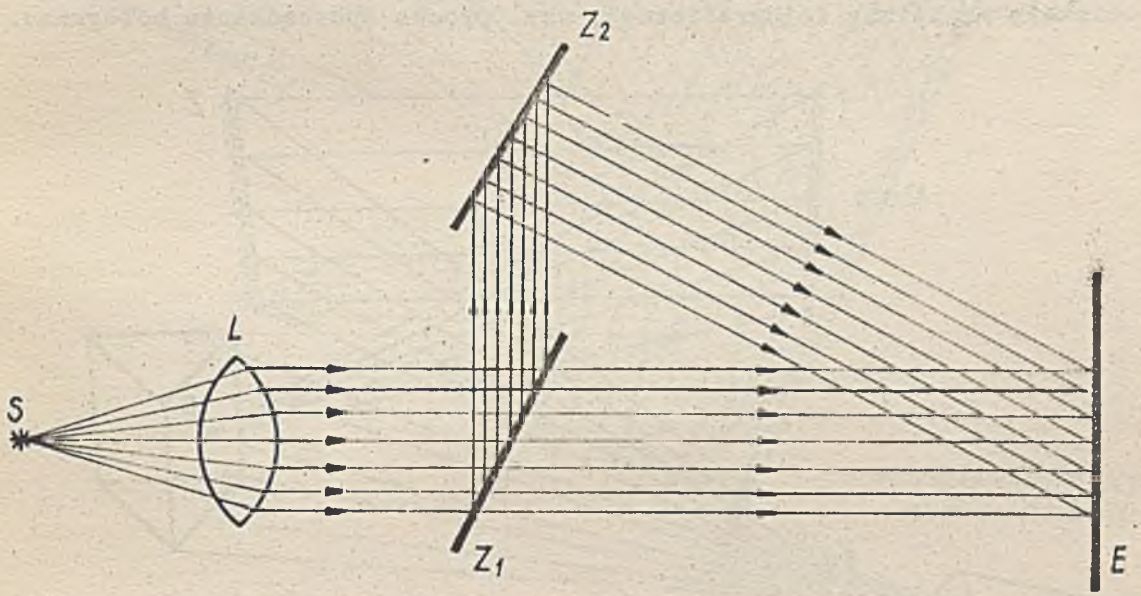
1. Pamięć holograficzna

We wcześniejszych rozwiązaniach pamięci optycznych do rejestracji informacji binarnych, przedstawianych na kliszy w postaci odpowiedniego obrazu /zwykle jasnych i ciemnych prostokątów/, wykorzystywano metodę fotograficzną. Występowały tu jednak znaczne trudności z uzyskaniem dokładnej lokalizacji jednobitowej informacji na powierzchni nośnika, a także z osiągnięciem dużego zagęszczenia informacji, głównie z powodu pyłów i niejednorodności światłoczułej emulsji.

Środkiem skutecznie eliminującym powyższe trudności było zastosowanie do naświetlenia kliszy nowej metody fotografowania, zwanej holografią. W zasadzie jest to fotografia trójwymiarowa, cechująca się przede wszystkim niezwykłą wiernością przestrzenną. Stąd też pochodzi jej nazwa /greckie "holos" znaczy cały, zupełny/. Podstawy teoretyczne tej metody opracował już w roku 1920 wybitny polski fizyk, prof. Mieczysław Wolfke, a pierwszy hologram wykonał w 1949 r. D. Gabor, jednakże przeszkodą w jej rozwoju był brak źródła światła spójnego o dużym natężeniu. Dopiero wynalazek lasera spowodował to, że w ostatnich latach holografia zaczęła się szybko rozwijać, stwarzając rozliczne możliwości w wielu dziedzinach nauki i techniki. Jedną z takich możliwości jest pamiętanie informacji binarnych dla potrzeb techniki obliczeniowej. Nie wykorzystuje się tu, co prawda, całej gamy walorów holografii, przynajmniej w pierwszych przewidywanych jej zastosowaniach, tym niemniej już takie z nich, jak zdolność rejestracji do kilku milionów bitów na powierzchni 1 cm^2, duża szybkość odczytu, natychmiastowe dostarczanie dużych porcji informacji, wysoka niezawodność działania, zdają się świadczyć o tym, że pamięć tego rodzaju otwiera przed elektroniczną techniką obliczeniową nowe perspektywy.

Istotę holografii wyjaśnimy, przypominając prosty eksperyment z optyki przedstawiony schematycznie na rys. 1. Światło ze źródła S przechodzi przez kolimator L, zamieniający je na wiązkę równoległą,

która przez częściowo przezroczyste zwierciadło Z_1 zostanie podzielona na dwie części. Jedna z nich dochodzi bezpośrednio do ekranu E, druga jest skierowana do zwierciadła Z_2, od którego odbija się, po czym również osiąga ekran, dając w odpowiednich warunkach nieruchome prążki interferencyjne, widziane w postaci jasnych i ciemnych linii.



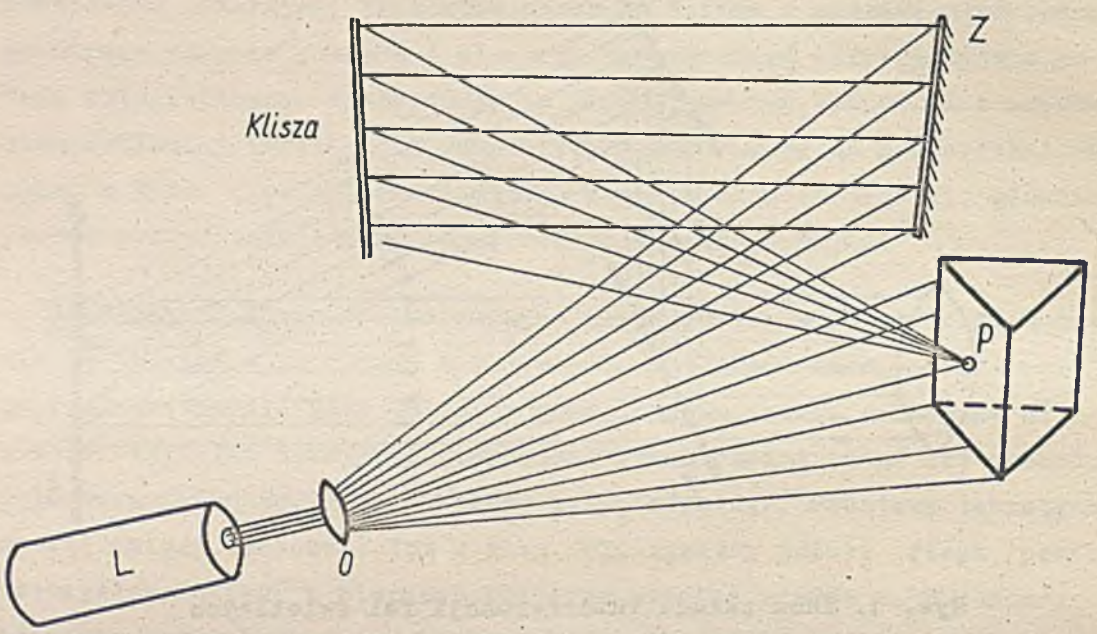
Rys. 1. Idea układu interferencji fal świetlnych

Warunkiem podstawowym do wytworzenia takiego obrazu jest monochromatyczność i spójność światła /w opisywanym doświadczeniu światło ze zwykłego źródła przepuszcza się przez maleńki otworek w przesłonie/. Oznacza to, że wiązki, bezpośrednia i odbita, mają amplitudy i fazy w jakiś sposób skorelowane, a docierając do tych samych punktów ekranu po różnych drogach wzmacniają się wzajemnie lub znoszą. Jeżeli droga promienia odbitego była dłuższa o wielokrotność długości fali, to fale spotykają się w danym punkcie ekranu w zgodnych fazach i następuje wzmocnienie /prążek jasny/. Jeżeli natomiast droga ta była dłuższa o nieparzystą wielokrotność połówek fali, wówczas fale spotykają się w danym punkcie w fazach przeciwnych i znoszą się /prążek ciemny/.

Na podobnym zjawisku intereferencji fal oparta jest holografia. W pierwszych doświadczeniach, przeprowadzonych przez jej twórcę D. Gabo-

ra, źródło światła spójnego było podobne do opisanego w powyższym doświadczeniu i jego mała moc stanowiła zasadnicze ograniczenie możliwości nowej metody. Dzisiaj technika laserowa, dająca światło spójne o ogromnej mocy, całkowicie wyeliminowała tę trudność.

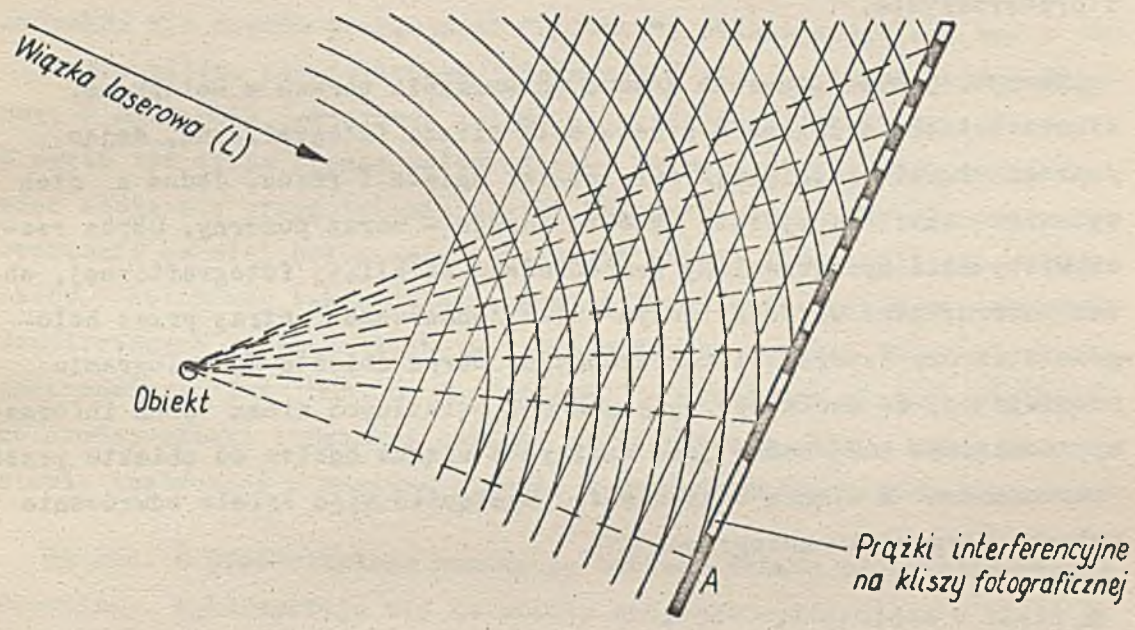
Posługując się rys. 2 prześledźmy proces rejestrowania informacji o obiekcie na kliszy fotograficznej, tzn. proces sporządzania hologramu.



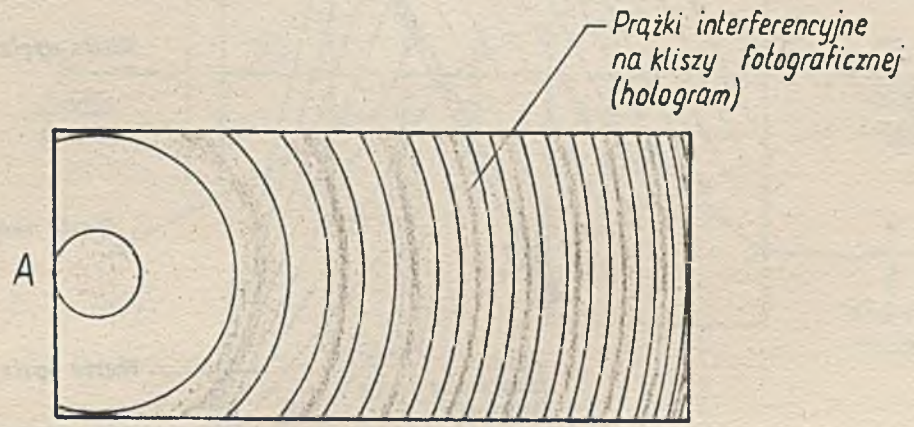
Rys. 2. Zasada tworzenia hologramu

Widzimy tu pełną analogię pomiędzy rys. 2 i rys. 1. Jedyną różnicą jest to, że wiązka światła lasera L nie jest rozdzielana przez częściowo przezroczyste zwierciadło, lecz bezpośrednio /po nieznacznym jej rozszerzeniu przez soczewkę O/ dochodzi do obiektu P i do zwierciadła Z. Dalej zjawisko przebiega już identycznie. Promienie odbite od poszczególnych punktów obiektu interferują z wiązką odniesienia odbitą od zwierciadła, w wyniku czego na kliszy fotograficznej powstają prążki interferencyjne, regularne lub o zmodulowanym kontraście i rozmieszczeniu, w zależności od rodzaju obiektu, co ilustrują rys. 3 i 4. Tak więc każdy oświetlony punkt obiektu odbija światło na całą kliszę fotograficzną i odwrotnie - każdy punkt kliszy rejestruje promienie odbite od całego obiektu. Mamy tu do czynienia z niezwykle interesują-

cą właściwością hologramu. Otóż nawet drobna jego część zawiera pełną informację o całym obiekcie, pozwalając na reprodukcję całego obrazu, co prawda w miarę zmniejszania się wymiarów hologramu o coraz mniejszej liczbie szczegółów.



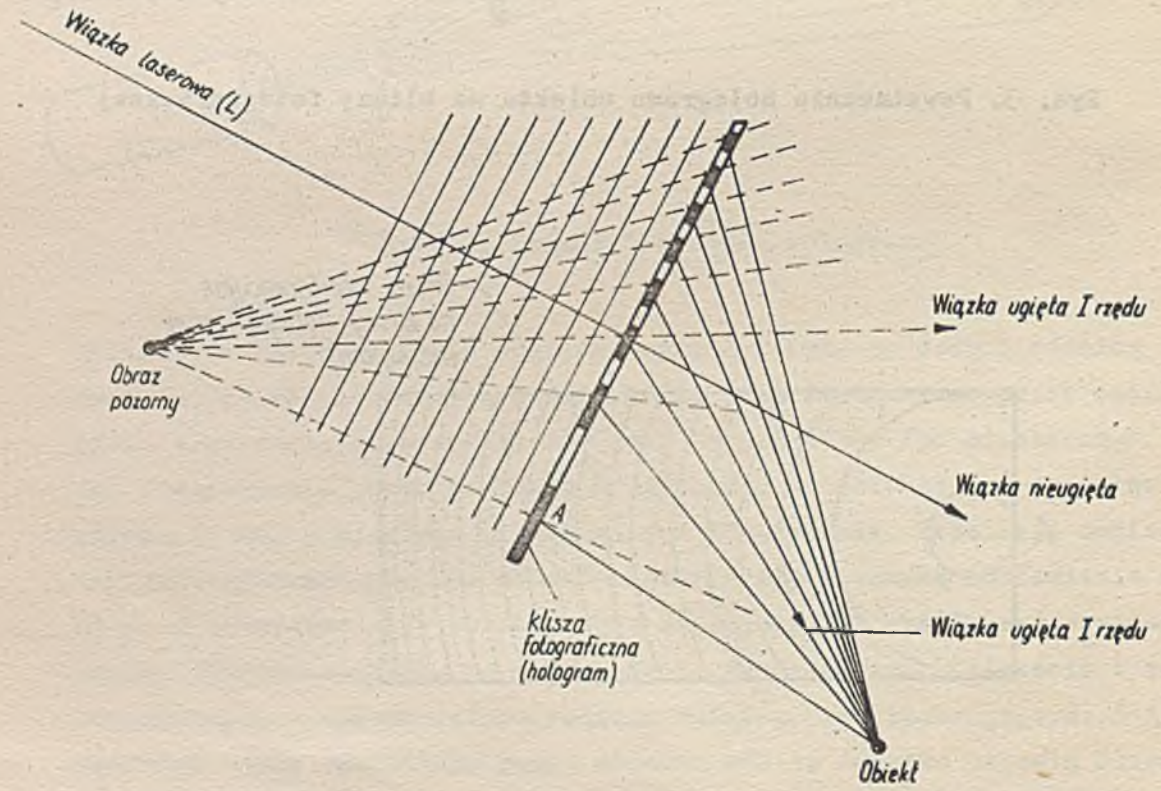
Rys. 3. Powstawanie hologramu obiektu na kliszy fotograficznej



Rys. 4. Prążki interferencyjne na kliszy fotograficznej

Proces odtwarzania utrwalonych na kliszy informacji o obiekcie odbywa się również przy użyciu spójnego światła laserowego, tym razem uginanego przez hologram działający jak siatka dyfrakcyjna, przy czym rolę szczelin pełnią tutaj prążki interferencyjne, na przemian ciemne i przezroczyste.

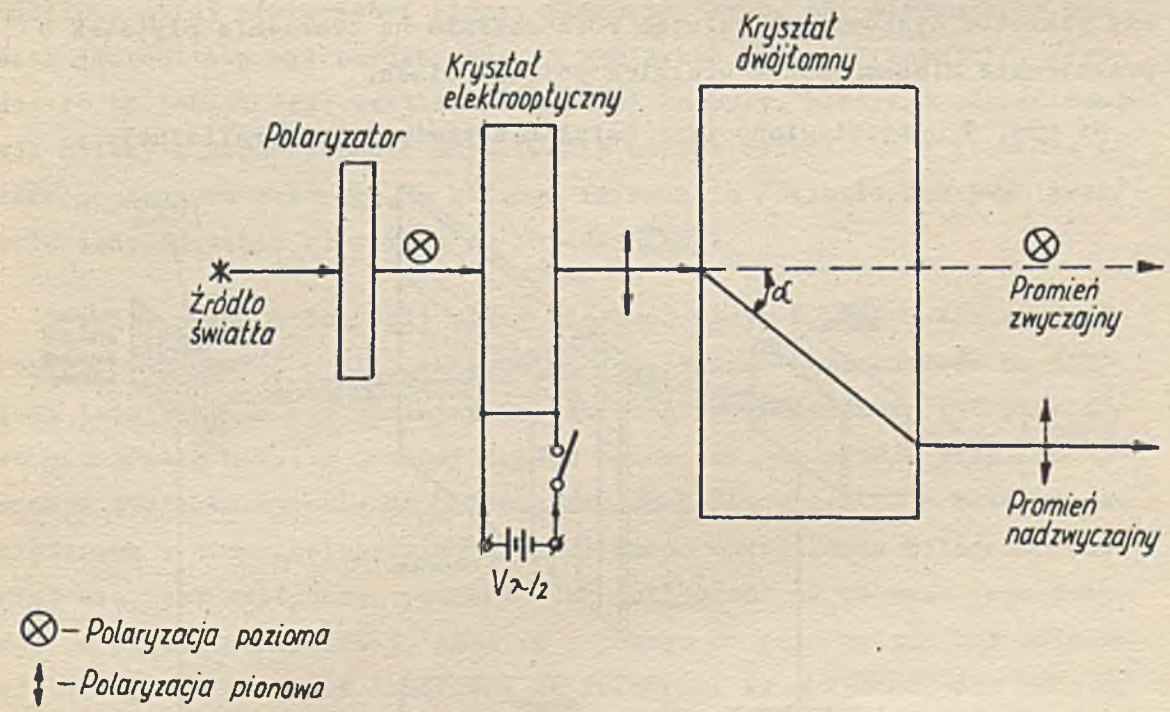
Na rys. 5 przedstawiono zasadę odtwarzania obrazu z hologramu. Wiązka światła z lasera L prześwietla kliszę fotograficzną, dając /oprócz wiązki nieugiętej/ dwie wiązki ugięte I rzędu. Jedna z nich wytwarza obraz rzeczywisty obiektu, druga - obraz pozorny. Obraz rzeczywisty może być utrwalony bezpośrednio na kliszy fotograficznej, obraz pozorny jest widoczny gołym okiem /obserwator patrzy przez hologram w stronę lasera/. Interferencyjny obraz obiektu na hologramie powoduje to, że czoła obu ugiętych fal świetlnych niosą teraz informację dokładnie taką samą, jaką zawierała wiązka odbita od obiektu przed "zmieszaniem" z wiązką odniesienia. Wystąpiło więc ścisłe odwrócenie procesu formowania hologramu.



Rys. 5. Rekonstrukcja obrazu obiektu z kliszy fotograficznej

Rozpatrzmy z kolei jak wygląda wykorzystanie holografii do celów pamięciowych. Możliwość zarejestrowania bardzo dużych zbiorów informacji na kliszy fotograficznej, z niespotykaną dla poznanych dotychczas nośników gęstością, jest cenną właściwością tego rodzaju nośnika. Jednakże nie sposób przygotować "obiektu", składającego się np. z 100 milionów bitów, zarejestrować informacje o nim na płytce holograficznej, a następnie dostarczyć całość tej informacji maszynie cyfrowej. W cyklu tym tylko proces holograficzny byłby realny. Koniecznością więc staje się przygotowanie płytki holograficznej etapami, przez wytwarzanie na niej hologramów mniejszych porcji informacji, np. 10000 bitów. Hologramy takie umieszczane są jeden obok drugiego w układzie współrzędnych prostokątnych x-y. Dla podanych powyżej liczb płytka będzie zawierać ich 100×100. Aby dotrzeć do dowolnego miejsca płytki, na drodze wiązki laserowej ustawia się specjalny układ, który na podstawie instrukcji z maszyny kieruje wiązkę do pożądanego hologramu.

Na rys. 6 przedstawiono koncepcję takiego układu odchylania wiązki świetlnej. Wykorzystuje się tu efekty optyczne występujące w wielu



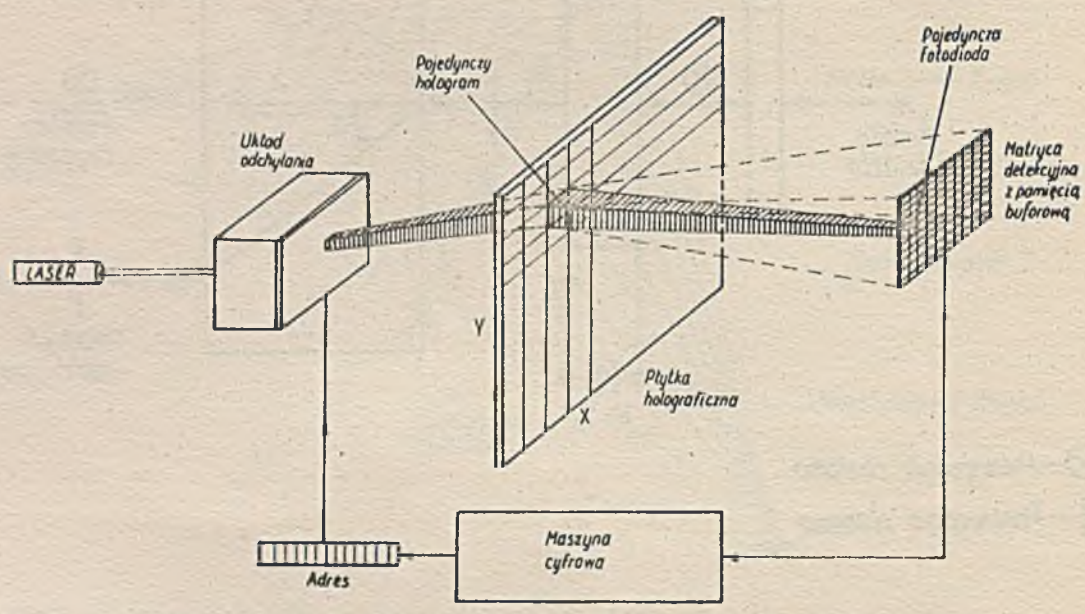
Rys. 6. Zasada odchylania wiązki świetlnej

kryształach: skręcanie płaszczyzny polaryzacji światła pod wpływem pola elektrycznego i dwójłomność. Pokazana przykładowo jedna para kryształów pozwala na odchylenie wiązki tylko w dwu określonych kierunkach /którym odpowiadają dwa określone położenia na nośniku/, wybranie więc jednego z 10000 hologramów będzie wymagać aż 14 takich par, ustawionych kolejno jedna za drugą. Technice takiego wybierania poświęcimy nieco więcej uwagi w p. 3.

Oprócz wspomnianych zalet pamięci holograficznej, należy zwrócić uwagę na jeszcze jedną cenną jej właściwość, mianowicie możliwość wykonywania stykowych odbitek płytki holograficznej i przenoszenia ich do wielu systemów liczących. Otrzymany negatyw pozwala na odtworzenie dokładnie tego samego obrazu, jest on bowiem równoważny zmianie o 180° fazy wiązki odniesienia lub wiązki odbitej od obiektu, co nie ma żadnego wpływu na wierność informacji.

Tak więc wydaje się, że pamięć holograficzna urzeczywistni ideę nieograniczonej wymiany dowolnych zbiorów informacji pomiędzy ośrodkami obliczeniowymi /znacznie prostszej niż wymiana taśm magnetycznych czy pakietów dysków/, pozwalając równocześnie na tworzenie płytotek o praktycznie nieskończenie wielkich pojemnościach.

Na rys. 7 przedstawiono ideę działania pamięci holograficznej.



Rys. 7. Koncepcja pamięci holograficznej w systemie maszyny cyfrowej

Wiązka światła laserowego poprzez odchylający ją układ kierowana jest do dowolnej grupy informacji /np. strony/, zapisanych na powierzchni płytki holograficznej. Dzięki pewnej rozbieżności wiązki obraz zarejestrowany na oświetlonej części płytki zostaje znacznie powiększony - bez użycia złożonej optyki konwencjonalnej - i skierowany na matrycę detekcyjną, przekształcającą impulsy świetlne na impulsy elektryczne. W zależności od tego, czy określony element matrycy /fotodetektor/ odbiera impuls świetlny czy też nie, mamy odpowiednio logiczną "jedynkę" lub logiczne "zero". Ponieważ światło oddziaływuje równocześnie na wszystkie elementy matrycy, cała grupa informacji zawarta w oświetlonym hologramie - już w postaci impulsów elektrycznych - może być od razu przekazana do maszyny. Odchylenie wiązki laserowej w innym kierunku /a więc w inne położenie/ spowoduje oświetlenie matrycy światłem niosącym nową grupę informacji. Czas przejścia od jednej grupy do drugiej /od jednego hologramu do drugiego/ wynosi kilka mikrosekund.

Jak już wspomnieliśmy poprzednio, płytki pamięciowe wykonywano dawniej zwykłą techniką fotograficzną przypisującą jednobitowej informacji określony element kliszy. W celu osiągnięcia dużej pojemności na możliwie małej powierzchni kliszy niezbędne było, aby elementarny obszar jednobitowy był bardzo mały /o wymiarach kilkumikronowych/. Powodowało to jednak dużą wrażliwość pamięci na pyły, niejednorodność emulsji kliszy i niedokładność usytuowania układu optycznego w stosunku do każdego obszaru bitowego, z którego informacja /światło lub jego brak/ była indywidualnie kierowana do fotodetektora.

Z opisu zasad holografii wiemy, że informacja o każdym bicie jest rozłożona na całej powierzchni hologramu. Dzięki temu czułość na pyły jest tutaj zasadniczo zmniejszona, informacja bowiem może być prawidłowo odtworzona nawet z drobnej części hologramu, co prawda przy zmniejszonym stosunku sygnału do poziomu zakłóceń dla wszystkich bitów zapamiętanych w danym hologramie. Równomierność oświetlenia hologramu również nie jest krytyczna, podobnie jak dokładność określenia jego pozycji na płytce pamięciowej, mimo iż w pewnym stopniu będzie ona zależeć od kąta padania wiązki laserowej na hologram. Na przykład, dla matrycy o wymiarach 100x100 detektorów odczyt będzie bezbłędny, gdy układ sterowania określi położenie hologramu z dokładnością do 1/1000 jego po-

wierzchni, co nie jest trudne do spełnienia. Należy podkreślić, że w tym przypadku stawia się zaostrzone wymagania w stosunku do wzajemnego usytuowania lasera i matrycy detekcyjnej, a nie lasera i poszczególnych bitów, jak to miało miejsce w zwykłej pamięci fotograficznej.

Obok istotnych zalet metody holograficznej, odnoszących się do odczytu informacji, nowa metoda nie zmienia nic - mimo innej koncepcji naświetlania kliszy fotograficznej - w samym procesie wytwarzania płytki pamięciowej. Jest on w dalszym ciągu procesem złożonym i trudnym, określonym przede wszystkim przez właściwości emulsji światłoczułej. Jednakże nie czas wykonywania płytki pamięciowej /do kilku godzin/ stanowi największą niedogodność stosowania tego rodzaju pamięci, lecz fakt, że musi się to odbywać poza maszyną cyfrową. Dlatego też prowadzone są intensywne poszukiwania nowych materiałów światłoczułych [3], które umożliwiłyby bezpośrednie sporządzanie hologramów przez samą maszynę, a nawet pozwoliły na wymazywanie z nich niektórych informacji i zastępowanie ich nowymi. Oczekuje się, że materiały tego rodzaju umożliwią osiąganie takich szybkości zapisu metodą holograficzną, jakie dzisiaj występują np. w pamięciach dyskowych.

Do szybszego urzeczywistnienia koncepcji holograficznej pamięci cyfrowej przyczynia się również rozwijająca się gwałtownie technologia mikroelektronicznych układów scalonych. W pierwszej fazie prac badawczych nad pamięcią holograficzną matryca detekcyjna składała się z dyskretnych elementów światłoczułych /fotodiod/, które z natury rzeczy stanowią konstrukcję o stosunkowo dużych wymiarach, utrudniających budowę matryc detekcyjnych o większych pojemnościach. Przy zastosowaniu technologii układów scalonych staje się możliwe nie tylko wykonanie matrycy detekcyjnej, zawierającej np. 10000 fotodiod, ale także i sterowanych przez nie elementów bistabilnych /przerzutników/, których zadaniem jest zapamiętanie informacji odtworzonych z hologramu. Matryca detekcyjna staje się więc równocześnie pamięcią buforową o pojemności np. jednej strony, zdolną do przechowywania informacji w ciągu dowolnego okresu czasu i przekazywania ich na żądanie maszynie cyfrowej.

Zastosowanie płytek krzemowych do wykonania fotodiod techniką scaloną określa długość fali świetlnej, dla której czułość fotodiod jest

największa, tzn. nieco poniżej 1 μm. Tego rodzaju światło dostarcza np. laser półprzewodnikowy z arsenkiem galu.

2. Pamięć magnetooptyczna

Nazwa "pamięć magnetooptyczna" nie oddaje w pełni istoty procesu rejestrowania informacji w urządzeniu tego rodzaju. Pojęcie to wiąże się w zasadzie tylko z odczytem, podczas którego ujawnia się wpływ magnetyzacji komórki pamięciowej na padające na nią światło. Dla zapisu bardziej trafne wydawałoby się określenie "termiczna pamięć magnetooptyczna", gdyż zachodzi on w wyniku przekształcenia energii świetlnej na ciepło, które z kolei wpływa na zmianę stanu spinowego nośnika magnetycznego w obecności zewnętrznego pola magnetycznego.

W chwili obecnej - wprawdzie jeszcze w warunkach laboratoryjnych - pamięć ta wydaje się mieć zasadniczą przewagę nad pamięcią holograficzną, zapewnia bowiem równie gęsty zapis informacji, który w przeciwieństwie do tamtej metody jest dokonywany przez samą maszynę cyfrową z taką szybkością z jaką mamy do czynienia w pamięciach rdzeniowych.

Po raz pierwszy ten rodzaj rejestracji zaproponował w 1958 r. L. Mayer, stosując jako nośnik informacji cienką warstwę bizmutku manganu /MnBi/, a zamiast światła strumień elektronowy do jej nagrzewania. Niedostatkiem metody była niemożność użycia tej samej techniki do odczytu. I znów, podobnie jak w holografii, wynalazek lasera spowodował to, że zapis termiczny nabrał nowego znaczenia.

W pamięci magnetooptycznej nośnikiem informacji jest cienka warstwa magnetyczna, naniesiona na płaskie podłoże i charakteryzująca się pewnym stopniem przezroczystości. Informacje binarne są zapisywane w tych miejscach warstwy, na które pada wiązka światła laserowego, sterowana przez elektrooptyczne układy odchylające. Impuls energii świetlnej podgrzewa warstwę do temperatury bliskiej punktu Curie, po czym - w czasie chłodzenia - zostaje ona poddana działaniu zewnętrznego pola magnetycznego o kierunku odpowiadającym zapisowi "1" lub "0". Pole to określa kierunek wektora magnetyzacji warstwy tylko w miejscu podgrzewania i nie narusza magnetyzacji w otoczeniu tego miejsca, pozostającym

w temperaturze normalnej. Zewnętrzne pole magnetyczne może więc rozciągać się na całą powierzchnię warstwy lub na odpowiednio wybierane jej obszary.

O zapisie decydują głównie następujące czynniki:

- parametry wiązki laserowej, a w szczególności jej moc, średnica i czas trwania,
- szybkość chłodzenia podgrzanego obszaru warstwy magnetycznej,
- przewodnictwo cieplne warstwy magnetycznej, powodujące powiększanie się obszaru komórki bitowej poza średnicę wiązki świetlnej.

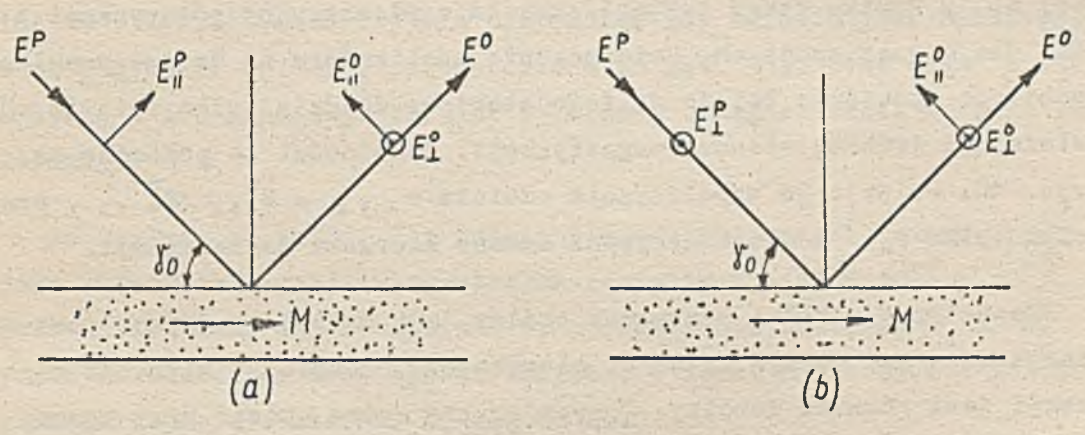
Wzajemne zależności pomiędzy tymi czynnikami, ich wpływ na wymiary komórki jednobitowej oraz na szybkość zapisu przedstawiono w [5]. Optymalny dobór tych czynników pozwala teoretycznie uzyskać średnicę komórki o wymiarze około 1 μm /ograniczenie dyfrakcją światła/ i czas zapisu mniejszy od 1 μs. W praktyce osiągnięto dotychczas w warunkach laboratoryjnych odpowiednio 3 μm i kilka μs.

Odczyt informacji odbywa się spolaryzowaną wiązką światła, nakierowywaną na odpowiednie miejsce warstwy magnetycznej za pomocą tych samych układów odchylających, co i w cyklu zapisu. W tym przypadku moc wiązki laserowej jest zmniejszana do poziomu, przy którym naświetlane miejsce praktycznie nie nagrzewa się, jednakże musi ona być dostatecznie duża, aby uzyskać możliwie korzystny stosunek sygnału do zakłóceń. Wiązka świetlna przenika warstwę magnetyczną i odbija się od podłoża pod kątem równym kątowi padania, przy czym występuje skręcenie jej płaszczyzny polaryzacji /magnetooptyczne zjawisko Kerra/ o pewien kąt, zależny od kierunku wektora magnetyzacji komórki, przez którą przenika promień świetlny. Związana z tym zmiana natężenia światła pozwala na detekcję informacji zerojedynkowych, co odbywa się przy pomocy elementów światłoczułych, np. fotodiod.

Dla wyjaśnienia tego zjawiska poczynimy pewne założenia upraszczające: 1. wiązka światła S_p padająca pod pewnym kątem na powierzchnię magnetyczną jest spolaryzowana prostopadle /⊥/ lub równolegle / ∥ / do płaszczyzny padania, tzn. jej wektor elektryczny jest odpowiednio

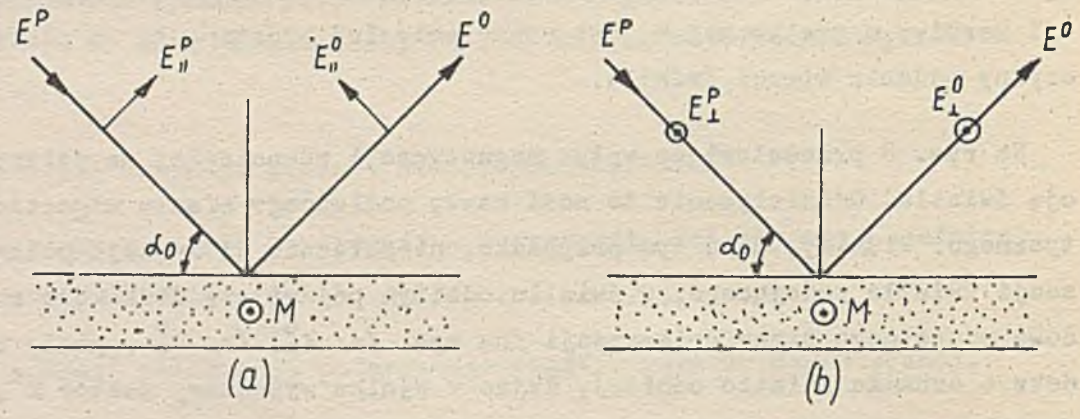
$E_{\perp}^{p}$ lub $E_{\parallel}^{p}$ /indeks p oznacza światło padające/, 2. kierunek magnetyzacji warstwy magnetycznej M jest równoległy lub prostopadły do płaszczyzny padania wiązki światła.

Na rys. 8 przedstawiono wpływ magnetyzacji równoległej na polaryzację światła. Oddziaływanie to nosi nazwę podłużnego efektu magnetooptycznego. Widzimy, że w tym przypadku, niezależnie od rodzaju polaryzacji światła padającego, w świetle odbitym pojawi się dodatkowo składowa odwrotnego stanu polaryzacji /na rys. /a/ $E_{\perp}^{o}$, /b/ $E_{\parallel}^{o}$, gdzie indeks o oznacza światło odbite/, dając w wyniku wypadkowy wektor E^{o}, nachylony pod pewnym kątem do płaszczyzny padania. Innymi słowy, pod wpływem pola magnetycznego następuje skręcenie płaszczyzny polaryzacji światła odbitego, a wielkość tego skręcenia zależna będzie od zwrotu wektora M, pozwalając na wyróżnienie jednego z dwóch stanów przy pomocy analizatora. Występujące w podłużnym efekcie magnetooptycznym zależności opisuje współczynnik Kerra $k_{\perp,\parallel} = E_{\parallel}^{o}{}_{,\perp} / E_{\perp}^{p}{}_{,\parallel}$. Wprawdzie $k_{\perp} \neq k_{\parallel}$, jednakże zazwyczaj w celu uproszczenia rozważań teoretycznych przyjmuje się z dość znacznym stopniem dokładności /potwierdzonym doświadczalnie/, że $k_{\perp} = k_{\parallel} = k$.



Rys. 8. Wpływ namagnesowania równoległego na polaryzację światła

Nieco inaczej ujawnia się wpływ magnetyzacji prostopadłej do płaszczyzny padania światła. Ilustruje to rys. 9. Pole magnetyczne nie zmienia tutaj rodzaju polaryzacji światła odbitego, co więcej, zwrot wektora magnetyzacji wpływa na amplitudę wektora elektrycznego tylko w przy-



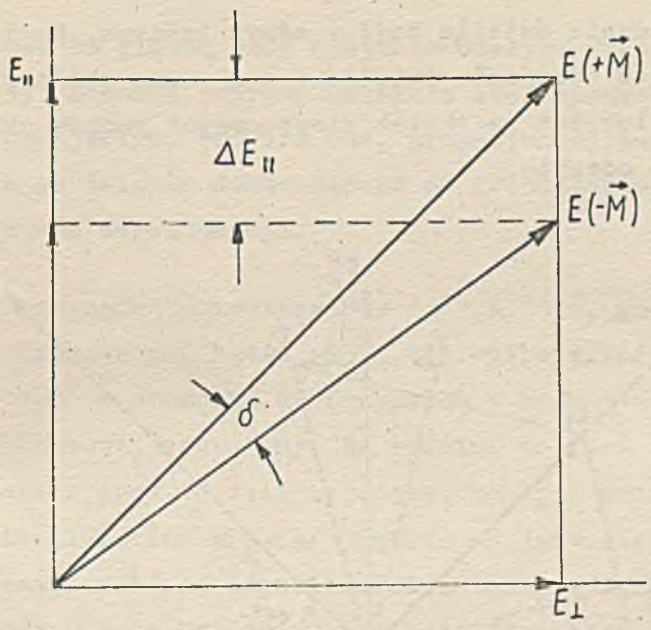
Rys. 9. Wpływ namagnesowania prostopadłego na polaryzację światła

padku polaryzacji równoległej /zmienia się $E^{o}_{\parallel}$ /. To oddziaływanie nazywane jest poprzecznym efektem magnetooptycznym. Jak się jednak okazuje, niewielka różnica amplitud natężenia światła odbitego dla magnetyzacji $+\vec{M}$ i $-\vec{M}$ stanowi zasadniczą trudność w praktycznym wykorzystaniu efektu poprzecznego. Trudność tę pokonuje się, polaryzując światło pod pewnym kątem do płaszczyzny padania. Zgodnie z tym, co powiedziano wyżej, pole magnetyczne będzie wpływać tylko na zmianę składowej $E^{o}_{\parallel}$, w wyniku czego nastąpi skręcenie płaszczyzny polaryzacji o kąt δ dla magnetyzacji $-\vec{M}$. Umieszczenie analizatora na drodze promienia odbitego spowoduje to, że do fotodetektora dojdzie tylko światło odpowiadające jednemu stanowi magnetyzacji. Zależności te pokazano na rys. 10. Opisuje je współczynnik odbicia $r_{\parallel,\perp} = E^{o}_{\parallel,\perp} / E^{p}_{\parallel,\perp}$, przy czym tylko $r_{\parallel}$ podlega wpływowi zmiany kierunku magnetyzacji.

Rozpatrzmy z kolei przypadek ogólny, gdy światło padające jest spolaryzowane pod pewnym kątem do płaszczyzny padania, a kierunek magnetyzacji jest również dowolny. Przypadek ten można opisać przy pomocy równania:

$$\begin{bmatrix} E_{\perp} \\ E_{\parallel} \end{bmatrix}^{o} = \begin{bmatrix} r_{\perp} & k_{\perp} \\ k_{\parallel} & r_{\parallel} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{\perp} \\ E_{\parallel} \end{bmatrix}^{p}$$

Dla następujących założeń upraszczających: $k_{\perp} = -k_{\parallel}$ i $r_{\perp} = -r_{\parallel}$ okazuje się, że zamiana magnetooptycznego skręcania na modulację



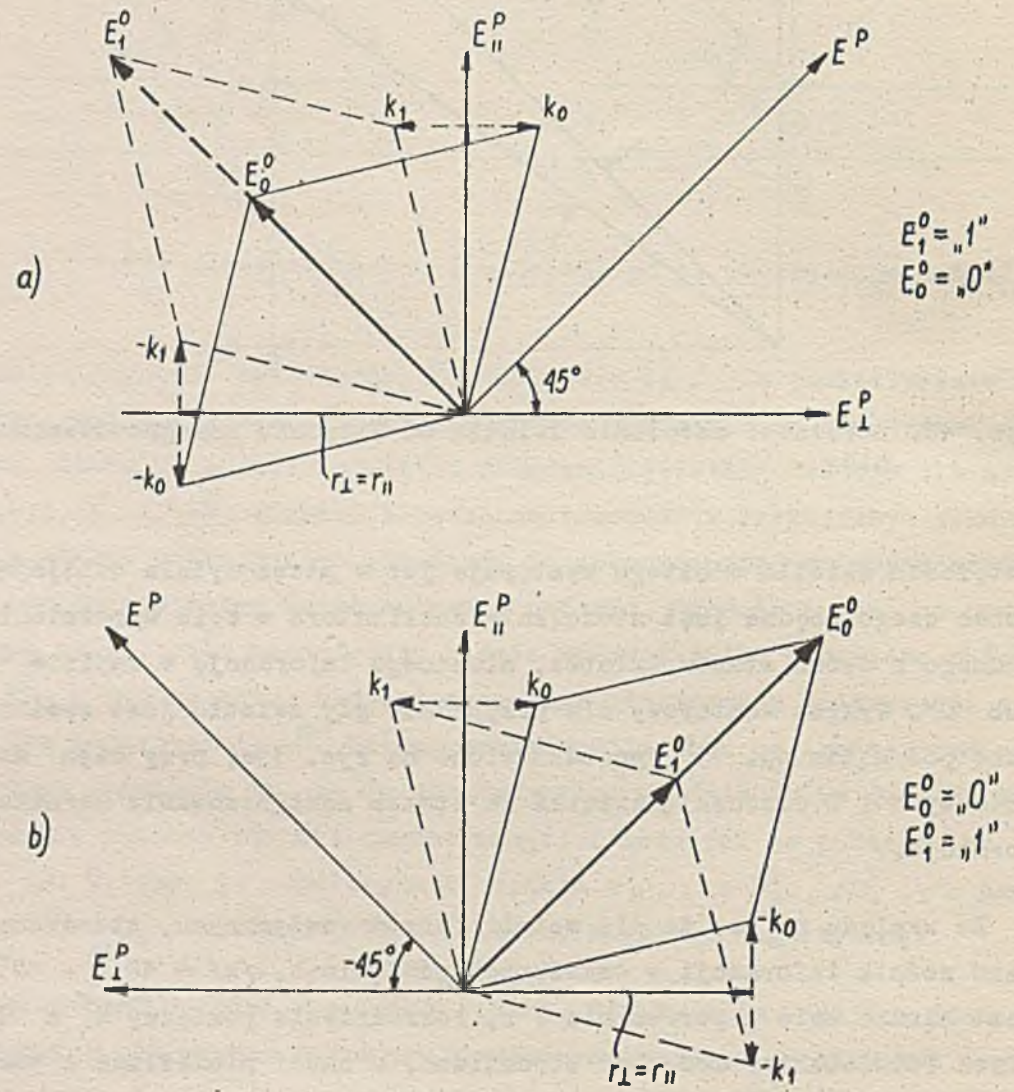
Rys. 10. Zależność natężenia światła od kierunku namagnesowania nośnika

natężenia światła odbitego występuje już w płaszczyźnie odbijającej, wobec czego zbędne jest stosowanie analizatora w celu wyróżnienia jednego z dwóch stanów światła, niosącego informację o zapisie "1" lub "0". Wykres wektorowy dla przypadku, gdy światło jest spolaryzowane pod kątem np. 45°, przedstawiono na rys. 11a, przy czym dolne indeksy 1 i 0 oznaczają związki ze stanem namagnesowania nośnika informacji.

Ze względu na to, że dla metali ferromagnetycznych, stosowanych jako nośnik informacji w omawianych pamięciach, $/k/ \sim 10^{-2} + 10^{-3}$ jest bardzo małe w porównaniu z r, rozróżnienie pomiędzy E_1° a E_0° przez fotodetektor może być utrudnione, a nawet niemożliwe z powodu różnego rodzaju zakłóceń. Należą do nich:

- zakłócenia impulsowe w fotodetektorze, wynikające z kwantowej natury światła,
- zakłócenia powierzchniowe nośnika magnetycznego, takie jak: dziury, rysy, kurz,

. zmiany natężenia światła bądź w samym laserze, bądź z powodu różnych warunków odbijania światła przez różne obszary nośnika magnetycznego lub też na skutek nieznacznych ruchów układu optycznego w czasie odczytu.



Rys. 11. Zależność natężenia światła od kierunku namagnesowania nośnika i kąta polaryzacji światła

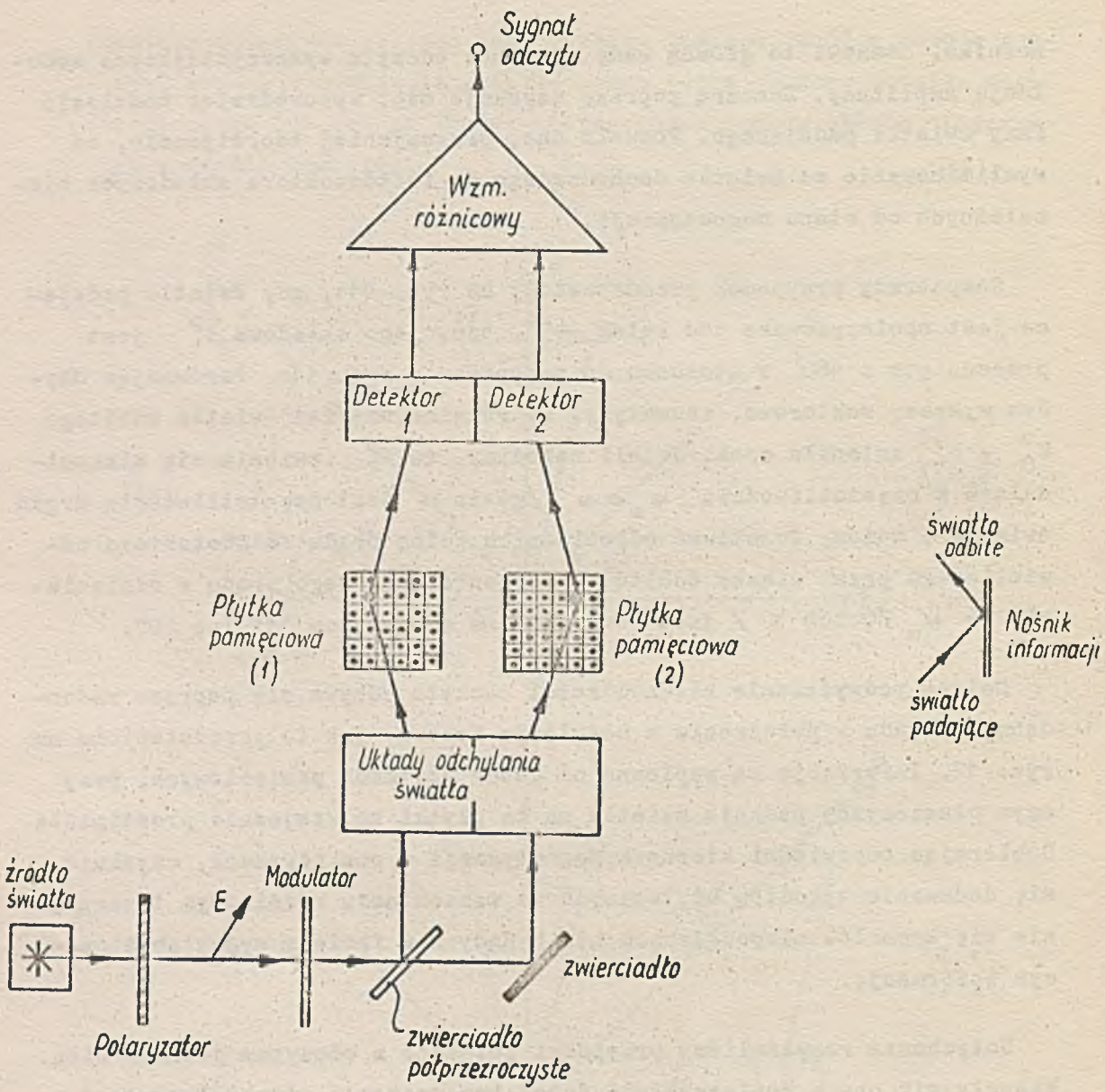
Zakłócenia ujawniają się w zasadzie w postaci modulacji amplitudowej natężenia światła odbitego od nośnika magnetycznego, sumując się z modulacją użyteczną zawierającą informację o stanie magnetyzacji

nośnika. Stanowi to główną wadę systemów odczytu wykorzystujących modulację amplitudy. Znaczną poprawę uzyskuje się, wprowadzając modulację fazy światła padającego. Pozwala ona, przynajmniej teoretycznie, na wyeliminowanie ze światła dochodzącego do fotodetektora składowych niezależnych od stanu magnetyzacji.

Rozpatrzmy przypadek przedstawiony na rys. 11b, gdy światło padające jest spolaryzowane pod kątem -45°, tzn. jego składowa E_1^p jest przesunięta o 180° w stosunku do przypadku z rys. 11a. Porównując obydwa wykresy wektorowe, zauważymy, że różnica natężeń światła odbitego $E_0^{\circ} - E_1^{\circ}$ zmieniła znak. Jeżeli założymy, że E_1^p zmienia się sinusoidalnie z częstotliwością $\omega_m \ll \omega$ /gdzie ω jest częstotliwością drgań światła/, możemy oczekiwać odpowiednich zmian prądu fotodetektora oświetlanego przez wiązkę odbitą. Określenie fazy tego prądu w odniesieniu do ω_m /0 lub π / jest równoznaczne z odczytem "1" lub "0".

Dalsze podwyższanie niezawodności odczytu odbywa się poprzez redundancję układu w połączeniu z modulacją fazową, jak to przedstawiono na rys. 12. Informacje są zapisane na dwóch płytkach pamięciowych, przy czym płaszczyzny padania światła na te płytki są wzajemnie prostopadłe. Dobierając odpowiedni kierunek magnetyzacji w obu płytkach, uzyskuje się dodawanie sygnałów użytecznych we wzmacniaczu różnicowym i znoszenie się sygnałów niepożądanych nie będących w fazie z sygnałem niosącym informację.

Dotychczas rozważaliśmy przypadki związane z odczytem jednego bitu. Wiązały się one z koniecznością dużej koncentracji wiązki laserowej z uwagi na mikronowe wymiary komórki pamięciowej. Dzięki laserom dużej mocy możliwe jest również oświetlenie większego obszaru nośnika, tzn. równoczesny odczyt pewnej liczby bitów, podobnie jak to miało miejsce w pamięci holograficznej. Powierzchnię płytki pamięciowej dzieli się więc na szereg pól, z których każde zawiera np. 32x32 bity. Nie zogniskowaną wiązkę laserową kieruje się do jednego z tych pól przy pomocy układu odchylającego. Wiązka ta po odbiciu oświetla matrycę detekcyjną zawierającą fotodiody w ilości odpowiadającej liczbie bitów /w danym przypadku 32x32/. Równoczesny odczyt wielu bitów stwarza możliwość dostarczania maszynie informacji z szybkością kilkuset milionów bitów na sekundę.



Rys. 12. Koncepcja pamięci magnetooptycznej z dwoma elementami nośnika na bit

Z powyższej dyskusji zapisu i odczytu w pamięci magnetooptycznej wynikają wymagania, jakim powinna odpowiadać warstwa magnetyczna przeznaczona do termomagnetycznego rejestrowania informacji. Powinna ona wykazywać następujące cechy:

. przydatność do zapisu, nie niszczącego odczytu i kasowania,

. możliwość zapisu z gęstością co najmniej taką, jaka wynika z właściwości układów optycznych /dyfrakcja światła ogranicza średnicę komórki do około 1 μm/,

. niski punkt Curie /a więc mała moc lasera potrzebna do jego osiągnięcia/,

. możliwie krótki czas nagrzewania komórki pamięciowej w czasie zapisu /około 1 μs/,

. duży margines między temperaturą punktu Curie a temperaturą niszczącą, aby nie trzeba było stabilizować natężenia impulsu światła w czasie zapisu,

. stabilność zarejestrowanego stanu magnetycznego w czasie i dla wielu operacji odczytu,

. możliwie małą wartość siły koercji,

. wysokie parametry magnetooptyczne /m.in. duża absorpcja dla zapisu, duża wartość współczynnika Kerra dla odczytu/,

. możliwość wykorzystywania w temperaturze pokojowej.

Spośród znanych przezroczystych materiałów magnetycznych stosunkowo najlepiej spełnia te wymagania wspomniany już bizmutek manganu /MnBi/. Dla celów pamięciowych przyjmuje się grubość warstwy 600-800 Å, przy czym maksymalne skręcenie płaszczyzny polaryzacji wynosi 5° dla fali o długości 6328 Å /światło lasera helowo-neonowego/. Siła koercji w temperaturze pokojowej wynosi H_c = 800-1100 Oe, a natężenie pola nasycenia H_m = 4-5 kOe, malejąc do 40% bezpośrednio przed punktem Curie, tzn. przed 360°C. Pozwala to na przemagnesowanie komórki bez niebezpieczeństwa naruszenia stanu komórek sąsiednich. W temperaturze 446°C warstwa traci swoje właściwości magnetyczne. Szczególnie cenną właściwością warstwy MnBi jest to, że może ona być wykorzystywana w temperaturze pokojowej.

Innym materiałem rozpatrywanym jako potencjalny nośnik informacji w pamięciach magnetooptycznych jest tlenek europu /EuO/. Wykazuje on

przy temperaturze -168°C jeszcze większe maksymalne skręcenie płaszczyzny polaryzacji niż MnBi /8° dla fali 6600 Å/. Jego temperatura punktu Curie wynosi około +17°C. Wydaje się, że konieczność stworzenia szczególnych warunków temperaturowych /technika niskich temperatur/ dla tej warstwy będzie stanowić zasadniczą przeszkodę w jej szerszym stosowaniu do celów pamięciowych.

3. Wiązka laserowa, jej modulacja i odchylanie

Jak wiadomo z poprzednich rozważań, koncepcja wykorzystania zjawiska interferencji i dyfrakcji światła oraz zjawiska magnetooptycznego do celów pamięciowych stała się realna dopiero z chwilą wynalezienia lasera. Na temat laserów istnieje już dzisiaj bogata literatura, m.in. w języku polskim niezwykle interesująco napisana przez prof. A. Piekarę książka [11]. Ze względu na doniosłą rolę, jaką laserowe źródła światła odgrywają w pamięciach optycznych, przypomnimy pokrótce zasady ich działania.

Światło laserowe ma następujące cechy podstawowe:

- wysoką spójność wiązki świetlnej,
- bardzo małą szerokość widma, czyli dużą monochromatyczność,
- mały przekrój wiązki i dużą jej kolimację /równoległość/,
- dużą moc impulsu świetlnego lub fali ciągłej.

Powstaje pytanie, jakie procesy towarzyszą emitowaniu światła o tak doskonałych, niespotykanych dotąd, właściwościach? Odpowiedzi należy szukać w teorii kwantowej światła, która zakłada, że ciała emitują i absorbują energię nie w sposób ciągły, ale pewnymi porcjami, zwanymi kwantami energii, przy czym wielkość takiego kwantu określa znany wzór $W = h \cdot \nu$, gdzie h jest stałą Plancka, ν - częstotliwością drgań promieniowania.

W normalnych warunkach elektrony krążą w atomie po określonych, tzw. stacjonarnych torach i z tym ich ruchem nie jest związany żaden proces promieniowania. Energię atomu w tym stanie oznaczmy przez W_p. Zmienia się ona, kiedy elektron przeskakuje z jednego toru stacjonarnego na inny. Energia atomu wzrośnie wówczas do W_n, jeżeli przeskok

taki nastąpił pod wpływem energii dostarczonej z zewnątrz, np. w postaci kwantu świetlnego o wartości $h\nu_1 = W_n - W_p$. W tym wypadku mamy do czynienia z absorpcją energii.

Elektron krążący po jednym z dalszych torów /n/, na którym znalazł się na skutek wzbudzenia atomu, pozostaje na nim zwykle bardzo krótko, po czym przeskakuje na tor bliższy /k/, niekoniecznie najbliższy jądra. Podczas tego przeskoku energia atomu zmniejsza się z W_n na W_k, wydzielając na zewnątrz kwant promieniowania monochromatycznego o częstotliwości określonej wzorem $h \cdot \nu_2 = W_n - W_k$. Zjawisko to zachodzi samoczynnie, dlatego też nosi nazwę emisji spontanicznej. Tego rodzaju emisję energii ze zbioru atomów nazywamy promieniowaniem niespójnym. Słowo "niespójne" oznacza, że promieniowanie to jest sumą niezależnych aktów emisji poszczególnych atomów, aktów przypadkowych, w dowolnym kierunku, niezgodnych w fazie, o różnych częstotliwościach, czyli o szerokim widmie. Jest to cecha charakterystyczna wszystkich klasycznych źródeł światła.

Obok spontanicznej emisji energii nagromadzonej w atomie istnieje jeszcze zjawisko emisji wymuszonej, na skutek oddziaływania wzbudzonego atomu z kwantem promieniowania zewnętrznego /przy założeniu równości przyrostu energii pobudzonego atomu i kwantu/. Wzbudzony atom wraca do stanu podstawowego, emitując równocześnie taki sam kwant energii, jak kwant padający z zewnątrz, i wzmacniając przez to promieniowanie padające. Zjawisko to stanowi podstawę działania lasera.

Weźmy teraz grupę atomów, które dla przykładu mogą znajdować się w trzech różnych stanach energetycznych. Zgodnie z rozkładem Maxwella-Boltzmanna w grupie tej największa liczba atomów będzie mieć energię najmniejszą W_1, najmniejsza liczba atomów - energię największą W_3. W układzie takim nie może wystąpić emisja wymuszona w takim stopniu, aby przewyższyła absorpcję, tzn. układ nie może wzmacniać promieniowania. Jeżeli jednak poddamy go działaniu promieniowania o częstotliwości

$$\nu_{13} = \frac{W_3 - W_1}{h}$$

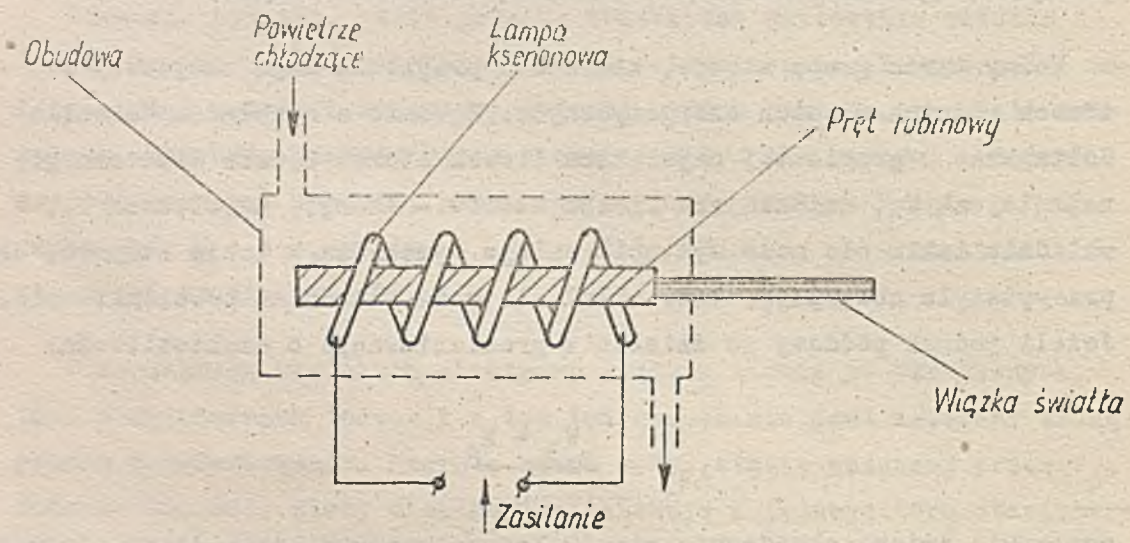
następuje zmiana obsadzenia stanów energetycznych przez atomy. Poszczególne atomy ze stanu 1 są wzbudzane do stanu 3, aż do wystąpienia rów-

nowagi liczbowej. Ten proces nazywamy pompowaniem. W jego obecności część atomów przechodzi samorzutnie ze stanu 3 do stanu 2, zwiększając jego obsadzenie, aż do utworzenia większego zbioru atomów niż w stanie 1, tzn. do wystąpienia inwersji obsadzeń. Oczywiście jest to możliwe tylko wtedy, gdy czas istnienia stanu 2 jest stosunkowo trwały i prawie nie zachodzą przejścia od tego stanu do stanu 1. Pojawienie się teraz promieniowania zewnętrznego o częstotliwości

$$\nu_{12} = \frac{W_2 - W_1}{h}$$

powoduje emisję wymuszoną i silne promieniowanie spójne, tzn. o tej samej częstotliwości ν_{12} i tej samej fazie. Dla podtrzymania emisji wymuszonej opisany proces powinien odbywać się w odpowiednim rezonatorze, którego płaskie, równoległe końce wielokrotnie odbijają tam i z powrotem emitowane kwanty, przez co zwiększają emisję w sposób lawinowy.

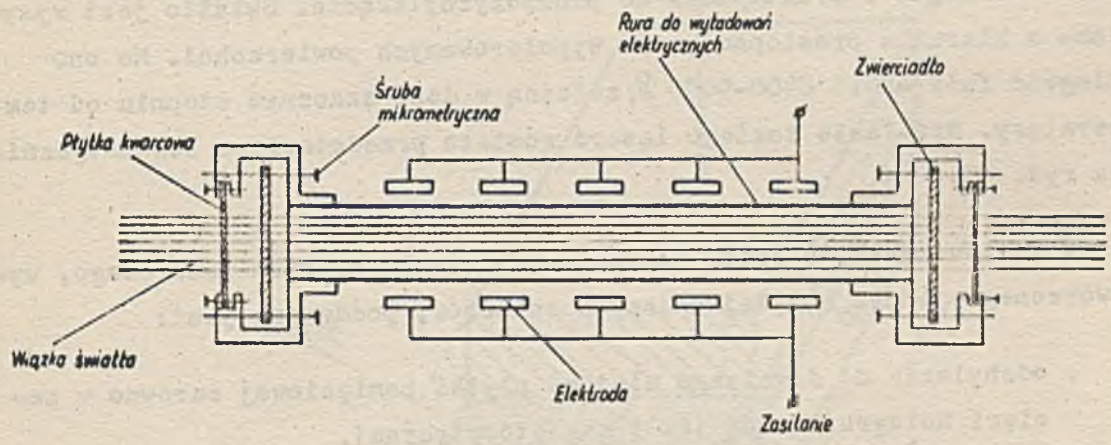
Pierwszym urządzeniem realizującym opisany powyżej proces w zakresie częstotliwości optycznych był laser rubinowy, którego konstrukcję schematycznie przedstawiono na rys. 13. Podstawowym elementem tego urządzenia jest pręt z syntetycznego rubinu /Al_2O_3 z domieszką 0,1% tlenku chromu Cr_2O_3/. Końce pręta są dokładnie płaskie i wzajemnie równoległe, a ponadto pokryte warstewką srebra, tworzącą zwierciadła, z których jedno jest nieco przezroczyste. Pod wpływem błysku światła



Rys. 13. Schemat lasera rubinowego

spiralnej lampy ksenonowej, trwającego około 0,5 ms i stanowiącego promieniowanie pompujące, dochodzi w atomach chromu do inwersji obsadzeń. W układzie tym jakikolwiek kwant wypromieniowany spontanicznie daje początek emisji wymuszonej, która lawinowo narasta i wychodzi na zewnątrz przez zwierciadło półprzezroczyste jako impuls światła czerwonego /6943 Å/ o bardzo dużej mocy /ponad 20 kW/cm^2/. Światło to jest spójne i monochromatyczne, o szerokości widma rzędu setnych części Å /wywołanej niewielką emisją spontaniczną/, a poza tym jest emitowane w postaci wiązki niemal dokładnie równoległej /o rozbieżności rzędu dziesiątych części stopnia/.

Akcję laserową można wywoływać również w ośrodku gazowym. Schemat urządzenia służącego do tego celu pokazano na rys. 14. W rurze kwarcowej, wypełnionej np. mieszaniną helu i neonu /mniej więcej w stosunku



Rys. 14. Schemat lasera gazowego

10:1/, wywołuje się wyładowania elektryczne wielkiej częstotliwości, które wzbudzają atomy helu do wyższego, trwałego poziomu energetycznego. Jak widać, pompowanie odbywa się tu na innej drodze niż w laserze rubinowym. Z kolei wzbudzone atomy helu zderzając się w ruchu cieplnym z atomami neonu oddają im swoją energię, przez co zmieniają ich stan energetyczny na wyższy, równie trwały. Gdy na poziomach energetycznych neonu wystąpi inwersja obsadzeń, emisja spontaniczna zapoczątkuje akcję laserową, wzmacnianą na skutek wielokrotnego odbijania się towarzyszącego jej promieniowania o długości fali 11500 Å od dwóch półprzezroczys-

tych zwierciadeł umieszczonych na końcach rury. Część tego promieniowania wychodzi na zewnątrz, tworząc ciągłą wiązkę spójną o widmie rzędu 10^{-6} Å. Moc wiązki jest stosunkowo niewielka, wynosi bowiem kilka do kilkudziesięciu mW/cm^2. Ze względu na to, że w neonie można wywołać inwersję obsadzeń również na innych poziomach energetycznych, laser He-Ne może dostarczyć promieniowań o różnych długościach fali, np. 6328 Å, 6118 Å itd.

Jeszcze innym źródłem promieniowania laserowego może być złącze półprzewodnikowe p-n, wytworzone np. w arsenku galu /GaAs/. Występująca tutaj pod wpływem gradientu potencjału skierowanego od p do n rekombinacja elektronów i dziur prowadzi do emisji promieniowania. W tym przypadku zbędne staje się stosowanie zwierciadeł, gdyż ich rolę pełnią dwie wypolerowane powierzchnie kryształu arsenku galu, wzajemnie równoległe i prostopadłe do płaszczyzny złącza. Światło jest wysyłane w kierunku prostopadłym do wypolerowanych powierzchni. Ma ono długość fali około 8400-9000 Å, zależną w dość znacznym stopniu od temperatury. Działanie takiego lasera zostało przedstawione schematycznie na rys. 15.

W zastosowaniu do celów pamięciowych wiązka światła laserowego, wytworzonego jednym z wyżej podanych sposobów, poddawana jest:

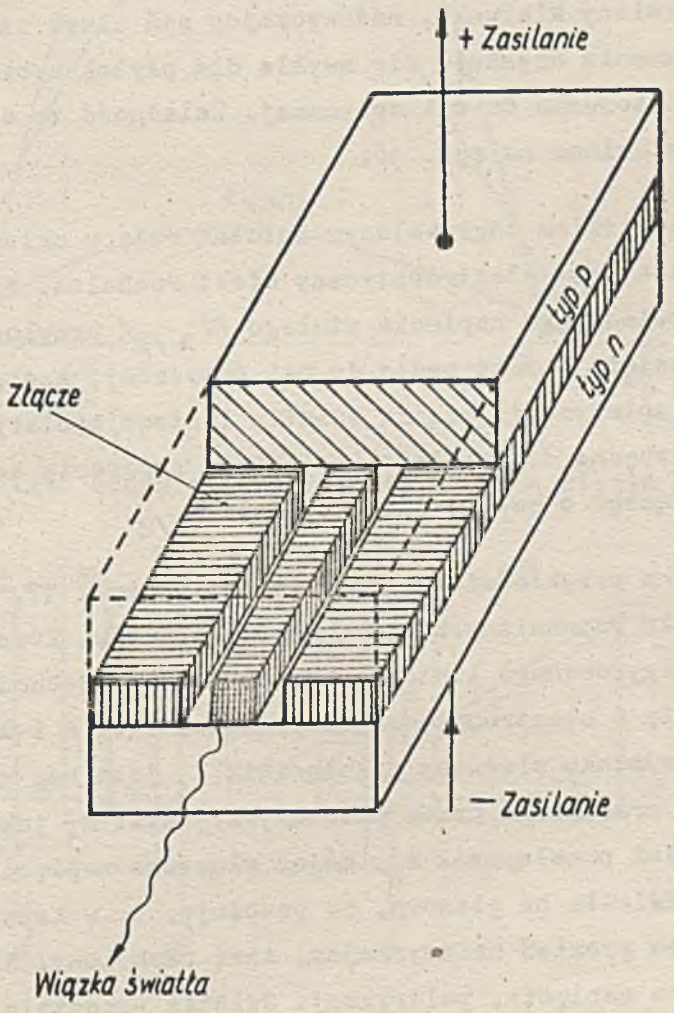
- odchylaniu do dowolnego miejsca płytki pamięciowej zarówno w pamięci holograficznej jak i magnetooptycznej,
- modulacji fazy - w celu poprawienia stosunku odczytywanego sygnału do zakłóceń w pamięci magnetooptycznej.

W przypadku odchylania wiązki światła wykorzystywane są następujące efekty:

- zjawisko dwójłomności,
- podłużny elektrooptyczny efekt Pockelsa.

Zjawisko dwójłomności, tzn. podwójnego załamania wiązki światła, występuje w wielu kryształach nie należących do układu regularnego /czyli optycznie anizotropowych/. Dla przykładu można wymienić kryształy: kalcytu /$CaCO_3$/, KDP /KH_2PO_4/, KD_2P /KD_2PO_4/, ADP, $NaNO_3$. Wspom-

niane zjawisko polega na tym, że wiązka światła padająca na taki kryształ po załamaniu na powierzchni granicznej ulega rozszczepieniu na dwa promienie o różnych właściwościach. W przypadku kryształu jednoosiowego jeden z promieni podlega zwykłym prawom załamania - jest to promień zwyczajny, drugi nie podlega tym prawom - jest to promień nadzwyczajny. Jeżeli wiązka światła pada prostopadle do ściany kryształu, to promień zwyczajny przechodzi przez kryształ nie załamany /jak przez ośrodek izotropowy/, natomiast promień nadzwyczajny załamuje się dwa razy - na przedniej i tylnej ścianie - po czym biegnie równolegle do promienia zwyczajnego. Ponadto obydwa promienie po wyjściu z kryształu są spolaryzowane liniowo w płaszczyznach wzajemnie prostopadłych oraz przemieszczone względem siebie o odległość proporcjonalną do grubości kryształu.



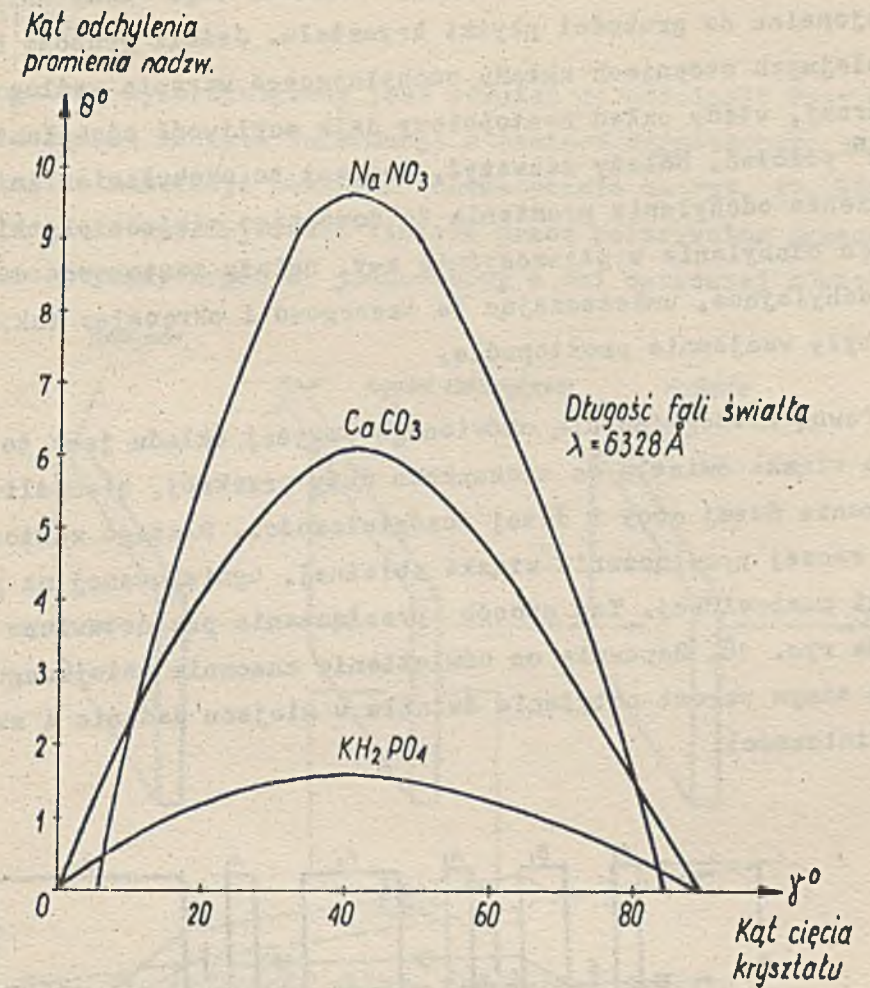
Rys. 15. Koncepcja lasera półprzewodnikowego

Można wyróżnić tutaj dwa przypadki szczególne, kiedy nie następuje rozszczepienie wiązki światła padającego na kryształ. Pierwszy przypadek zachodzi wówczas, gdy wiązka jest spolaryzowana w taki sposób, jak promień zwyczajny - przechodzi ona wtedy przez kryształ bez zmian. Drugi przypadek zachodzi wówczas, gdy jest ona spolaryzowana w taki sposób jak promień nadzwyczajny - wtedy następuje jej załamanie i przechodzi ona przez kryształ tylko jako promień nadzwyczajny.

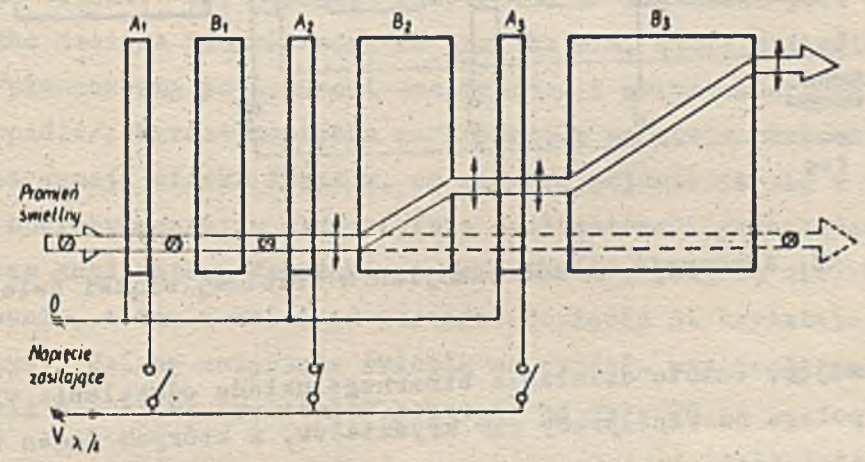
Ponadto rozszczepienie nie wystąpi wówczas, gdy płytka będzie wycięta z kryształu prostopadle do osi optycznej, a wiązka światła będzie padać prostopadle do płytki. W tym przypadku światło rozchodzi się jak w ośrodku izotropowym. Dla każdego innego cięcia kryształu i prostopadle padającej na płytkę wiązki światła promień zwyczajny przechodzi bez zmiany kierunku, nadzwyczajny zaś ulega załamaniu. Największy kąt załamania uzyskuje się zwykle dla płytek wyciętych pod kątem około 40° w stosunku do osi optycznej. Zależność tę dla różnych kryształów przedstawiono na rys. 16.

Drugim zjawiskiem odgrywającym istotną rolę w układzie odchylania wiązki światła jest elektrooptyczny efekt Pockelsa. Mianowicie, pod wpływem odpowiedniego napięcia stałego /$V_{\lambda/2}$/, przyłożonego do płytki kryształu wyciętej prostopadle do osi optycznej, następuje skręcenie płaszczyzny polaryzacji wiązki światła liniowo spolaryzowanego o 90°. Napięcie niezbędne do zaistnienia takiego skręcenia nosi nazwę napięcia opóźniającego o połowę długości fali $V_{\lambda/2}$.

Zobaczmy na przykładzie przedstawionym na rys. 17, jak wygląda współdziałanie wspomnianych wyżej dwóch efektów. Równoległa wiązka światła spolaryzowanego liniowo, np. poziomo, przechodzi przez układ składający się z elektrooptycznych przełączników A i dwójłomnych kryształów B. Na rysunku pierwszy przełącznik A_1 jest bez napięcia, wobec tego światło przechodzi przez pierwszy kryształ B_1 jako promień zwyczajny. Z kolei przełącznik A_2, mając włączone napięcie $V_{\lambda/2}$, zmienia polaryzację światła na pionową, co powoduje, że w krysztale B_2 przebiega ono jako promień nadzwyczajny, tzn. odchylony. Na przełączniku A_3 znów nie ma napięcia, polaryzacja światła pozostaje pionowa, a więc przez kryształ B_3 przejdzie ono również jako promień nadzwyczajny.



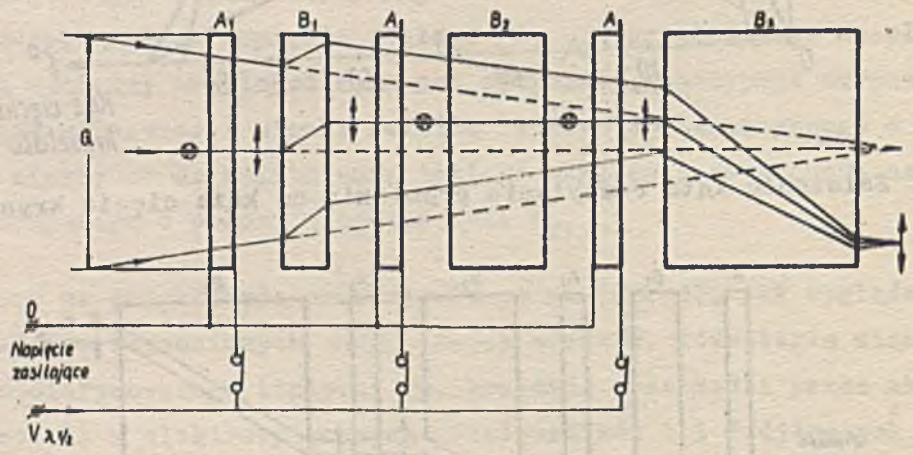
Rys. 16. Zależność kąta odchylenia promienia od kąta cięcia kryształu



Rys. 17. Koncepcja układu odchylania równoległej wiązki świetlnej

Jak stwierdziliśmy poprzednio, wielkość tego odchylenia jest proporcjonalna do grubości płytki kryształu. Jeżeli grubość kryształów B w kolejnych stopniach układu odchylającego wzrasta według sekwencji binarnej, wtedy układ n-stopniowy daje możliwość odchylania promienia do 2^n położeń. Należy zauważyć, że jest to odchylanie liniowe. Dla zapewnienia odchylania promienia do dowolnego miejsca płytki pamięciowej, a więc odchylania w płaszczyźnie x-y, należy zastosować dwa takie układy odchylające, umieszczając je szeregowo i skręcając tak, aby odchylenia były wzajemnie prostopadłe.

Pewną niedogodnością omówionego powyżej układu jest to, że równoległa wiązka światła ma stosunkowo duży przekrój, niemożliwe jest więc uzyskanie dużej mocy i dużej rozdzielczości. Dlatego zastosowanie znajdzie raczej przełączanie wiązki zbieżnej, ogniskowanej na powierzchni płytki pamięciowej. Ten sposób przełączania przedstawiono schematycznie na rys. 18. Zapewnia on oświetlenie znacznie mniejszego obszaru, a tym samym wzrost natężenia światła w miejscu padania i zwiększenie rozdzielczości.

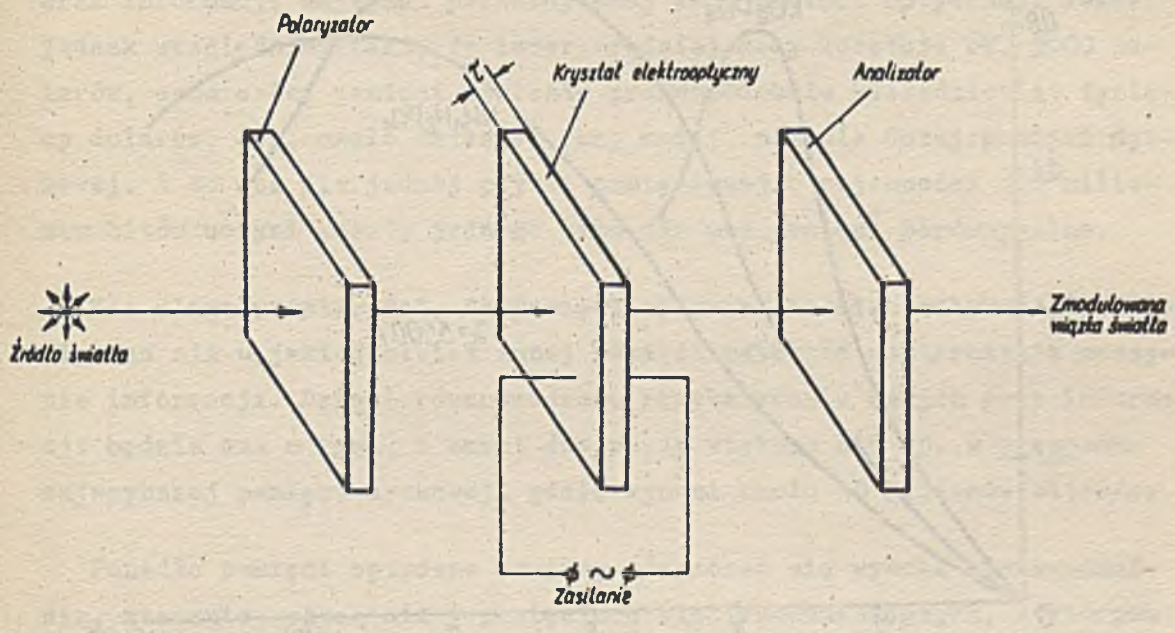


Rys. 18. Koncepcja układu odchylania zbieżnej wiązki świetlnej

Reasumując, istota działania binarnego układu odchylania wiązki światła polega na współpracy par kryształów, z których jeden wykazuje tylko właściwości elektrooptyczne, drugi tylko dwójłomność. Wykorzystuje się tutaj szczególny przypadek elektrooptycznego efektu Pockel-

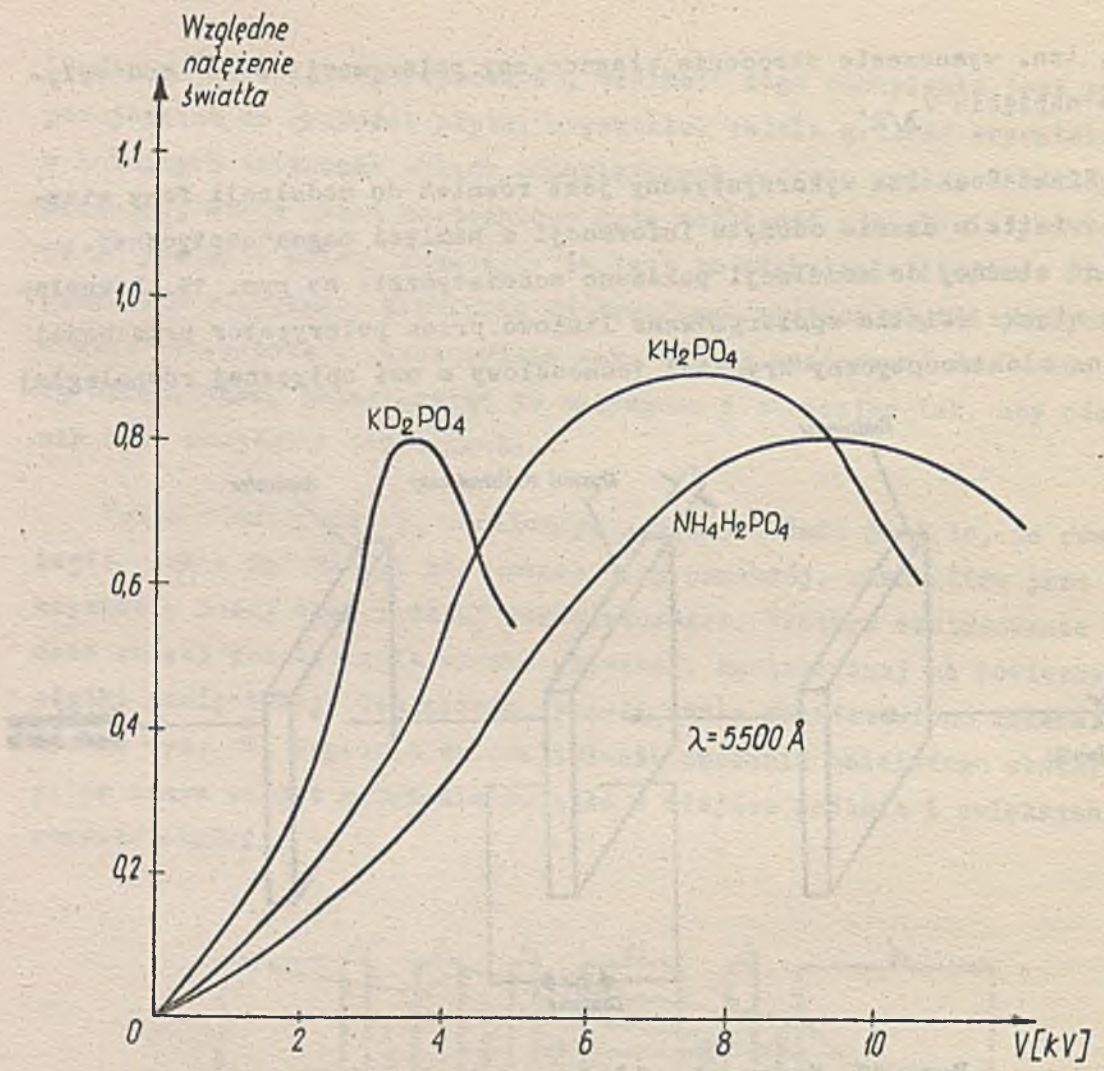
sa, tzn. wymuszenie skręcenia płaszczyzny polaryzacji o 90° pod wpływem napięcia $V_{\lambda/2}$.

Efekt Pockelsa wykorzystywany jest również do modulacji fazy wiązki światła w czasie odczytu informacji z pamięci magnetooptycznej. Układ służący do modulacji pokazano schematycznie na rys. 19. Równoległa wiązka światła spolaryzowana liniowo przez polaryzator przechodzi przez elektrooptyczny kryształ jednoosiowy o osi optycznej równoległej



Rys. 19. Koncepcja układu modulatora światła

do kierunku wiązki. Gdy napięcie przyłożone do kryształu jest równe zeru, wiązka dociera niezakłócona do analizatora, który całkowicie wygasza ją /płaszczyzny polaryzacji analizatora i polaryzatora są wzajemnie prostopadłe/. Wzrost napięcia na krysztale powoduje skręcenie płaszczyzny polaryzacji wiązki światła, co oznacza pojawienie się w wiązce składowej spolaryzowanej w płaszczyźnie analizatora i przechodzenie światła poza analizator. Natężenie tego światła zależy od wielkości kąta skręcenia, a ten z kolei od wartości napięcia na krysztale elektrooptycznym. Zmianę natężenia światła na wyjściu analizatora w funkcji napięcia dla kilku kryształów pokazano na rys. 20.



Rys. 20. Zależność natężenia światła od przyłożonego do kryształu napięcia

Pamięci optyczne ciągle jeszcze znajdują się w fazie badań, jednakże ich przyszłe walory użytkowe można już obecnie oceniać na podstawie osiągniętych wyników laboratoryjnych [3, 4, 14], porównując je z cechami innych rodzajów pamięci. Wydaje się, że już w niezbyt odległej przyszłości nastąpi konfrontacja tych ocen z rzeczywistością, kiedy to pamięci holograficzne i magnetooptyczne zostaną zainstalowane w systemach liczących. Z dużym stopniem prawdopodobieństwa można dzisiaj stwierdzić, że będą one pierwszymi elektronicznymi pamięciami masowymi, które poważnie zagrożą pamięciom elektromechanicznym, obecnie bezkonkurencyjnym pod względem pojemności i kosztów.

Dzięki niewielkim wymiarom płytki pamięciowej i przy zautomatyzowaniu jej wymiany powstanie możliwość podłączania do maszyn cyfrowych praktycznie nieograniczonych zbiorów informacji. W porównaniu z wymiennym pakietem dysków, objętość płytki /łącznie z kasetą zabezpieczającą/ dla takiej samej pojemności jest ok. 30 razy mniejsza.

Z pojemnością pamięci związany jest jej koszt, który w odniesieniu do jednego bitu zwykle maleje, gdy pojemność rośnie. W chwili obecnej brak informacji na temat przewidywanej ceny pamięci optycznej. Jeżeli jednak uwzględnimy fakt, że laser średniej mocy kosztuje ok. 5000 dolarów, cena całej pamięci wyniesie prawdopodobnie kilkadziesiąt tysięcy dolarów, tzn. około dziesięć razy mniej niż dla dużej pamięci dyskowej. A to już dla jednej płytki pamięciowej o pojemności 100 milionów bitów uczyni koszty jednego bitu dla obu pamięci porównywalne.

Nie ulega wątpliwości, że pamięci optyczne będzie cechować znacznie większa niż w jakiejkolwiek innej pamięci szybkość dostarczania maszynie informacji. Dzięki równoczesnemu przekazywaniu całych grup informacji będzie ona o rząd, a nawet dwa rzędy większa niż np. w przypadku najszybszej pamięci dyskowej, gdzie wynosi około 10 milionów bitów/s.

Ponadto pamięci optyczne powinny odznaczać się wysoką niezawodnością, znacznie wyższą niż w pamięciach elektromechanicznych, w których źródłem niesprawności są najczęściej elementy ruchome.

Zanim jednak cele te zostaną osiągnięte przed konstruktorami pamięci optycznych stoi jeszcze wiele problemów wymagających rozwiązania, jak np.: wyeliminowanie wpływu równoczesnego występowania obu promieni w kryształach dwójłomnych /w p. 3. omawialiśmy idealny przypadek zachowania się układu przełączającego/, zmniejszenie napięcia zasilania /kilka tysięcy woltów/ kryształów elektrooptycznych w celu zapewnienia większych szybkości przełączania, osiągnięcie na wyjściu układu przełączającego plamki świetlnej o średnicy rzędu 1 μm, opracowanie ścieralnego nośnika informacji dla pamięci holograficznej itp.

Literatura

[1] G.W. STROKE: An Introduction to Coherent Optics and Holography. Academic Press, 1966.

[2] H. PARKER: Laser Holography. Display Systems Engineering Vol. 5, Chap. 11, Mc Graw-Hill Book Company, 1968.

[3] J.N. BAIRSTOW: Billion-Bit Holographic Memories by 1970, Electronic Design, Nov. 8, 1967.

[4] F.M. SMITS and L.E. GALLAHER: Design Considerations for a Semipermanent Optical Memory, The Bell System Technical Journal, July-Aug. 1967.

[5] D.O. SMITH: Magnetic Films and Optics in Computer Memories. IEEE Transactions on Magnetics Nr 3, Sept. 1967.

[6] D.O. SMITH: Thin-Film Magneto-Optics in Information Processing. Optical a. Electro-Optical Information Processing, MIT Press, 1965.

[7] B.A. LENGYEL: Lasers. John Wiley and Sons, Inc., New York 1963.

[8] R.A. REDIKER: Principles of Injection Lasers. Optical and Electro-Optical Information Processing, MIT Press, 1965.

[9] C.P. CROCETTI i inni: Light Valves, Lasers and Electroluminescent Devices. Display Systems Engineering, Vol. 5, chap. 10, Mc Graw-Hill Book Company, 1968.

[10] W. KULCKE i inni: Convergent Beam Digital Light Deflector. Optical and Electro-Optical Information Processing, MIT Press, 1965.

[11] A. PIEKARA: Nowe oblicze optyki, PWN, W-wa 1968.

[12] M. BROTHERTON: Masery i lasery, PWN, W-wa 1968.
w tym H. Klejman: Uzupełnienie - Przegląd aktualnych i perspektywicznych zastosowań laserów.

[13] A. AMBROZIAK: Konstrukcja i technologia przyrządów fotoelektrycznych, WNT, W-wa 1965.

[14] R.L. AAGARD i in.: Optical Mass Memory Experiments on Thin Films of MnBi. IEEE Trans. on Magnetics Nr 3, Sept. 1968.

Mgr Andrzej SIKORSKI
Zakład Pamięci Wewnętrznych IMM

681.327.66

PAMIĘCI STAŁE
/Przegląd zastosowań i rozwiązań logicznych/

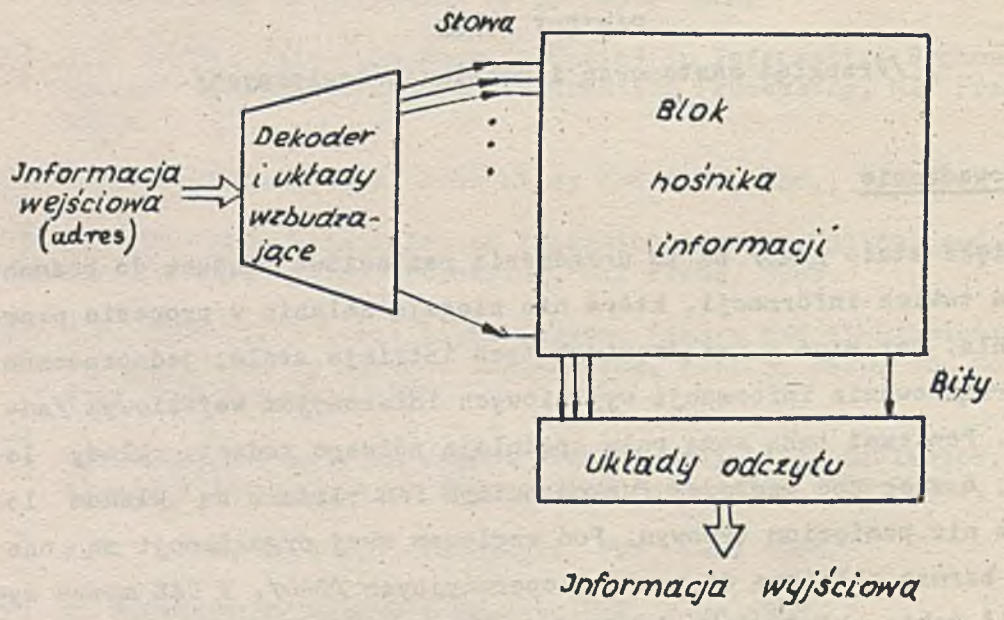
1. Wprowadzenie

Pamięci stałe /PAS/ są to urządzenia pamięciowe służące do przechowywania takich informacji, które nie ulegają zmianie w procesie przetwarzania. Tak więc w urządzeniach tych istnieje stałe, jednoznaczne przyporządkowanie informacji wyjściowych informacjom wejściowym /adresom/. Ponieważ taką samą rolę spełniają różnego rodzaju układy logiczne, a więc pod względem funkcjonalnym PAS bliższe są układom logicznym niż pamięciom typowym. Pod względem swej organizacji są one jednak bardzo zbliżone do pamięci operacyjnych /PAO/. W PAS można wyodrębnić takie układy jak: dekoder z układami wzbudzającymi, blok nośnika informacji oraz układy odczytu na ogół z rejestrem informacji. Tak więc schemat blokowy PAS /rys. 1/ wykazuje duże analogie ze schematami PAO, mimo że nie posiada układów zapisu informacji.

W większości PAS przyporządkowanie informacji adresom nie jest absolutnie stałe, ponieważ istnieje możliwość mechanicznej wymiany zapisanej informacji. Powstały również pamięci pośrednie pomiędzy typowymi PAS i PAO, zwane pamięciami pół-stałymi. W pamięciach tych zawartość informacji może być zmieniana na drodze elektrycznej, posiadają więc one również i układy zapisu. Pamięci te różni od PAO fakt dłuższego cyklu operacji zapisu informacji od cyklu odczytu. Są to pamięci z nieniszczącym odczytem i w związku z tym, w odróżnieniu od PAO, nie posiadają układów regeneracji informacji.

Zadania stawiane pamięciom stałym mogą być wykonywane również przez pamięci operacyjne. Nasuwa się więc pytanie jaki jest cel wprowadza-

nia do maszyny cyfrowej dodatkowego typu pamięci. Zasadniczą przyczyną stosowania PAS jest niska cena takiej pamięci w porównaniu z ceną PAO o analogicznych parametrach szybkości i pojemności. W maszynach z mikroprogramowaniem potrzebna jest do ich sterowania dodatkowa pamięć kilkakrotnie szybsza od podstawowej PAO. Najekonomiczniej zadanie to wypełnia właśnie PAS.



Rys. 1. Schemat blokowy pamięci stałej

Artykuł niniejszy składa się z dwóch części. W pierwszej części przedstawione są różne zastosowania pamięci stałych ze szczególnym uwzględnieniem wykorzystania PAS do sterowania maszynami mikroprogramowanymi. Druga część artykułu jest przeglądem różnych rozwiązań technicznych PAS, a właściwie przeglądem rozwiązań technicznych bloku przechowującego zapisaną informację. Przedstawione rozwiązania zostały usystematyzowane w oparciu o różne rodzaje zjawisk fizycznych wykorzystywanych do zapisu, przechowywania i odczytu pamiętanej informacji.

2. Przegląd historyczny zastosowań pamięci stałych

Budowa pierwszych pamięci i ich zastosowania związane są z automatycznymi łącznicami telefonicznymi. Pierwszym tego typu urządzeniem

był wybierak o 500 wyjściach skonstruowany przez E.C. Molina w 1905 r. [1]. Molina pierwszy podał pomysł budowy translatora przetwarzającego informacje z jednego kodu w inny. We wspomnianym wybieraku translator przetwarzał liczby dziesiętne wybierane przez abonenta na liczby niedziesiętne potrzebne do sterowania przekaźników.

Następnie w latach 20-tych zaczęto wykorzystywać tego typu pamięci-translatory w miejskich systemach central telefonicznych, gdzie zadaniem ich było przetwarzanie grupy cyfr określających centralę docelową na inne grupy cyfr, które ustawiając przekaźniki, wybierały połączenie między centralą wyjściową i centralą docelową.

Później podobnego typu układy zastosowano w identyfikatorach, których zadaniem było określanie abonenta wybierającego.

Szczegółowy opis translatorów oraz identyfikatorów stosowanych w automatycznych łącznicach telefonicznych będących odpowiednikami PAS podany został przez Schneckloth'a w publikacji [2].

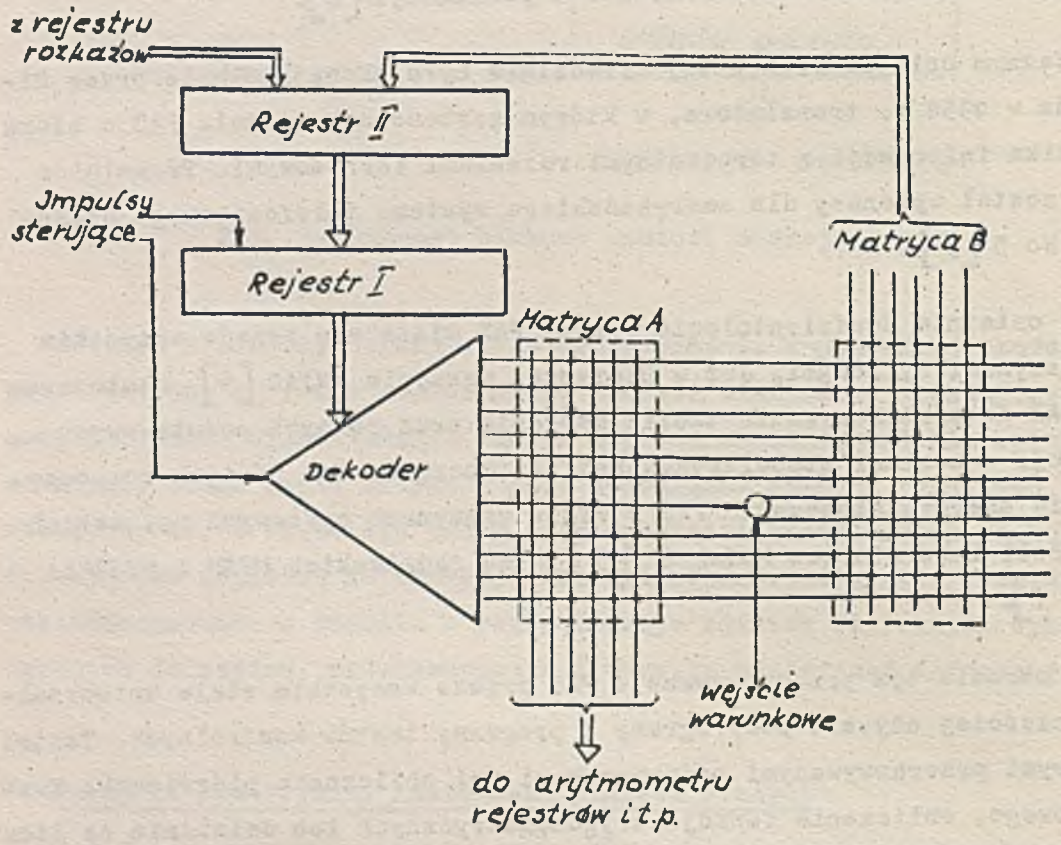
Ważnym osiągnięciem w tej dziedzinie było skonstruowanie przez Dimonda w 1951 r. translatora, w którym zastosowana została PAS o bloku nośnika informacji z toroidalnymi rdzeniami ferrytowymi. Translator ten został wykonany dla amerykańskiego systemu telefonicznego Crossbar No 5 [3].

W ostatnim dwudziestoleciu rozwój PAS wiąże się przede wszystkim z maszynami cyfrowymi. Już w pierwszej maszynie ENIAC [4] zastosowano PAS do przechowywania tablic mnożenia oraz różnych podstawowych funkcji w postaci stabelaryzowanej. Na początku lat 50-tych rozpoczęło się szersze stosowanie PAS w wielu maszynach cyfrowych np. takich jak Bell Laboratories Model 6 [5], czy radzieckich MESM i STRIEŁA [6, 7].

W okresie tym przechowywano w PAS przede wszystkim stałe uniwersalne, częściej używane podprogramy i programy testów kontrolnych. Takimi typowymi przechowywanymi podprogramami są: obliczanie pierwiastka kwadratowego, obliczanie funkcji trygonometrycznych lub działania na liczbach zespolonych. Stosowanie do przedstawionych zadań PAS zamiast PAO wynikało z niższej ich ceny a także większej niezawodności.

Nowy olbrzymi wzrost zainteresowania pamięciami stałymi nastąpił w końcu lat 50-ch i trwa do dzisiaj. Nastąpił on w wyniku rozpowszechnienia się metod mikroprogramowanego sterowania, których zasady ogłoszone przez Wilkesa w 1951 roku [8, 9] dopiero po kilku latach doczekały się pierwszego praktycznego wykorzystania. Wilkes zauważył, że wszystkie rozkazy typowych maszyn cyfrowych składają się z bardziej elementarnych operacji polegających głównie na przeniesieniach liczb z rejestru do sumatora i odwrotnie lub pomiędzy rejestrami, z przesunięciem informacji lub bez przesunięcia. Zadaniem układu sterowania jest właśnie kierowanie tymi mikrooperacjami.

Zaproponowany przez Wilkesa prosty, jednolity system sterowania mogący spełnić wymagania dowolnej listy rozkazów został przedstawiony na rysunku 2. W systemie tym mikrorozkaz znajdujący się w rejestrze I wzbudza przez dekoder jedną z linii wejściowych przechodzącą przez dwie matryce A i B. Linie wyjściowe matrycy A połączone są z bramkami



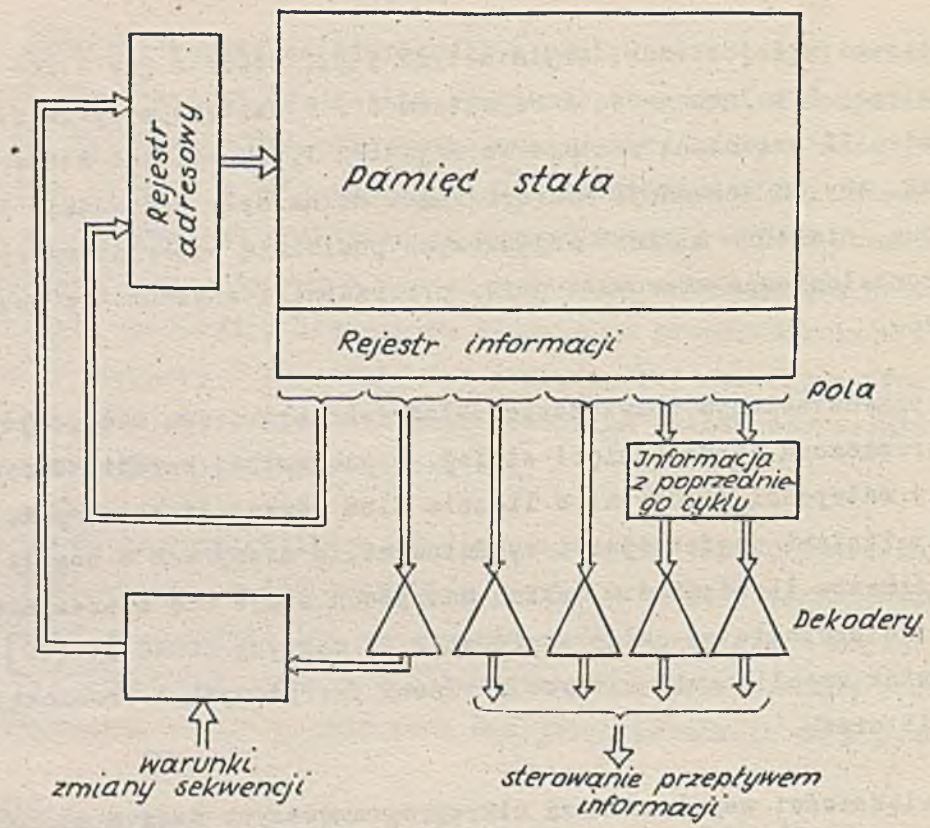
Rys. 2. System sterowania zaproponowany przez Wilkesa

logicznymi w rejestrach, arytmometrze itp., podczas gdy linie wyjściowe matrycy B połączone są z rejestrem II. W następnym cyklu zawartość rejestru II przesłana zostaje do rejestru I, określając następny mikrorozkaz. Aby do sekwencji mikrorozkazów można było wprowadzić kroki warunkowe, niektóre z linii wejściowych posiadają pomiędzy matrycami A i B rozgałęzienia sterowane przez przerzutniki arytmometru lub innych układów.

W przedstawionym rozwiązaniu układ dekodera i dwu matryc jest pewną uproszczoną formą pamięci stałej. W pierwotnej wersji matryce A i B były matrycami diodowymi o liczbie diod równej liczbie sprzężeń pomiędzy liniami wejściowymi i wyjściowymi. W maszynach o bogatej liście rozkazów ilość diod w takich matrycach staje się nierealnie duża, tak więc projektując układ sterowania do maszyny EDSAC II [10] Wilkes i Renwick zrealizowali matryce z rdzeni ferrytowych o prostokątnej pętli histerezy.

W większości współczesnych mikroprogramowanych maszyn sposób wykorzystania PAS w układzie sterowania niewiele odbiega od wyżej przedstawionego. Tak na przykład w maszynach IBM - System/360 [11] układ sterowania przedstawia się w zarysie tak jak na rys. 3. W układzie tym rejestr adresowy określa wybrany w PAS mikrorozkaz. Bity odczytanego mikrorozkazu zestawione są w pola, przy czym dwa pierwsze pola określają adres następnego w sekwencji mikrorozkazu, zaś bity następnych pól sterują przepływem informacji w maszynie. Gdyby wykorzystywać jeden bit mikrorozkazu do sterowania jednej bramki logicznej to dla dość złożonych systemów PAS musiała by posiadać słowa o długości przekraczającej 200 bitów. W Systemie/360 zestawiono bity w pola, które następnie zdekodowano na poszczególne linie, co pozwoliło zwiększyć liczbę sterowanych bramek bez wydłużania słowa PAS. Oczywiście w takim przypadku z jednego pola mogą być sterowane tylko takie bramki, które nigdy nie są otwierane równocześnie. W przypadku sterowania informacją pochodzącą z drugiego pola możliwa jest warunkowa zmiana sekwencji mikrorozkazów lub jej przerwanie.

Przykładem podobnego zastosowania PAS do mikroprogramowanego sterowania bardzo małą maszyną cyfrową może być sterowanie maszyny EL-BIT-100, przedstawione w pracy L. Dreyera [12].



Rys. 3. Układ mikroprogramowanego sterowania w maszynach IBM System/360

Wielostronne wykorzystanie PAS w maszynie Interdata Model 3 zostało zasygnalizowane przez Baileya w "Control Engineering" w 1967 roku [13]. W Modelu 3, PAS poza sterowaniem arytmometrem, rejestrami i pamięcią operacyjną może poprzez interface maszyny sterować urządzeniami zewnętrznymi takimi jak: czytniki i dziurkarki, drukarki czy też pamięci masowe. W zastosowaniach przemysłowych PAS może również poprzez interface kontrolować i sterować procesy produkcyjne.

Możliwość wymiany informacji zawartej w PAS pozwala poprzez zmianę mikrorozkazów na dopasowywanie listy rozkazów do zadań stawianych maszynie. Tego rodzaju system z listą rozkazów określaną przez zawartość PAS zwany jest często "pamiętaną logiką". Dodatkową zaletą PAS w stosunku do PAO jest ich większa niezawodność, a także pełne zabezpieczenie mikrorozkazów od ich starcia przez jakiś nieprawidłowy zapis.

H.T. Glatz zaproponował [14], aby dla zwiększenia operatywności maszyn stała lista rozkazów, o mikroprogramowaniu określonym przez PAS, została uzupełniona programowanym określaniem dalszych rozkazów. System taki zwany jest na ogół "programowaną logiką". Mikroprogramowanie dla tych drugich rozkazów musiałoby się znajdować w pamięci z zapisem. Do tego rodzaju zadania można stosować dodatkową, małą, szybką PAO, jednakże nadaje się do tego doskonale również pamięć półstała, o nieniszczącym odczycie, ponieważ czas zapisu informacji nie jest tak istotny jak czas odczytu.

PAS stosowana do mikrosterowania powinna posiadać kilkakrotnie krótszy czas cyklu niż pamięć operacyjna tego samego systemu. Jednocześnie koszt PAS musi być znacznie niższy od kosztu takiej PAO, która musiałaby mieć taką samą szybkość jak PAS.

Przydatność PAS znacznie wzrasta w maszynach specjalizowanych, tzn. przeznaczonych do rozwiązywania zagadnień jednego typu. W maszynach tych umieszcza się w PAS nie tylko mikroprogramowanie i podprogramy, ale całe typowe programy oraz wiele różnych funkcji w postaci stabelaryzowanej. W maszynach do przetwarzania danych mogą być zastosowane PAS o bardzo dużych pojemnościach przeznaczone do magazynowania danych bibliograficznych, patentowych itp. W maszynach zaś służących do tłumaczeń przechowywane są w nich słowniki oraz informacje semantyczne. Często pamięci takie są pamięciami zewnętrznymi, z których informacje sprowadzane są blokami do pamięci operacyjnej maszyny.

W sumie należy stwierdzić, że pamięci stałe zwiększają efektywną szybkość obecnych maszyn z jednej strony przez lepszą organizację - mikrosterowanie, z drugiej strony zaś przez umieszczanie w nich pewnych podprogramów należących do klasycznego softwaru.

3. Przegląd rozwiązań technicznych

Przed rozpoczęciem właściwego przeglądu rozwiązań technicznych różnych PAS warto przedstawić kilka możliwych klasyfikacji tych rozwiązań.

3.1. K l a s y f i k a c j e P A S

Powstała olbrzymia ilość najrozmaitszych PAS różniących się między sobą wieloma cechami, można je więc klasyfikować według rozmaitych kryteriów. Oto kilka z nich:

. Według sposobu wykorzystania pamięci, a co się z tym wiąże, według takich parametrów technicznych jak szybkość i pojemność, można PAS podzielić na:

a. pamięci o zastosowaniach w telefonii - stosunkowo wolne,

b. pamięci do sterowania maszynami uniwersalnymi i specjalizowanymi, bardzo szybkie /czas cyklu: 0,1 μs - kilku μs/ o pojemnościach małych i średnich,

c. pamięci pomocnicze zawierające podprogramy, tablice itp., o szybkościach rzędu kilku i kilkudziesięciu μs i pojemnościach średnich i dużych,

d. pamięci zewnętrzne stosunkowo wolne o bardzo dużych pojemnościach.

. Według zasad wybierania adresu, tzn. wg budowy dekodera, można PAS podzielić na:

. PAS z wybieraniem liniowym,
. PAS z wybieraniem koincydencyjnym,
. PAS z wybieraniem asocjacyjnym.

. Dzieląc pamięci według sposobu wymiany informacji mamy:

a. pamięci o informacji niewymienialnej, tzn. takich, w których wymiana informacji wymaga pracochłonnego przekonstruowania pamięci,

b. pamięci o mechanicznej wymianie informacji, w których wymiana odbywa się przez zamianę dziurkowanych kart, wiązek przewodów itp. w ciągu kilku lub kilkudziesięciu minut,

c. pamięci z elektrycznym zapisem informacji, półstałych o programowo wymienialnej informacji.

. Klasyfikacja pamięci według rodzaju zjawisk fizycznych wykorzystanych do przechowywania informacji sprowadza się do podziału opartego na zastosowanym sprzężeniu pomiędzy liniami wzbudzenia a liniami odczytu w bloku nośnika informacji. Mamy tutaj:

. PAS o sprzężeniu galwanicznym,
. PAS o sprzężeniu pojemnościowym,
. PAS o sprzężeniu indukcyjnym,
. PAS wykorzystująca zjawiska optyczne,
. PAS innego rodzaju.

W PAS dekodery, rejestry, wzmacniacze posiadają na ogół budowę standardową spotykaną również w wielu innych urządzeniach, podczas gdy bloki nośnika informacji są rozwiązaniami oryginalnymi. Z tego powodu ostatnia z przedstawionych klasyfikacji wydaje się najodpowiedniejszą do przedstawienia przeglądu różnych konstrukcji PAS.

3.2. Pamięci o sprzężeniu galwanicznym

Wśród pamięci o sprzężeniu galwanicznym można wyróżnić PAS z matrycami oporników, diod oraz fotodiod lub fototranzystorów.

W pamięci wykonanej dla pierwszej maszyny cyfrowej ENIAC pomiędzy liniami wybierającymi i liniami odczytu umieszczono oporniki dla zapamiętania informacji "1", a nie umieszczono ich dla informacji "0" 4 . Obecnie pamięci takie spotyka się rzadko i jedynie w przypadku niewielkich pojemności.

Jednym z nielicznych przykładów niedawno skonstruowanej pamięci tego typu jest PAS na opornikach drukowanych [15]. W pamięci tej oporniki wraz z linią wybierającą naniesione są na karty z folii "Mylar". Zapis informacji odbywa się przez perforowanie kart w miejscach połączeń oporników z linią wybierającą. Linie bitowe prowadzone są poprzez karty i wykonane przez zalanie niskotopliwym stopem lutowniczym przygotowanych otworów.

Podstawową zaletą pamięci diodowych jest ich duża szybkość. Szybkość ta bywa ograniczona głównie opóźnieniami układów dekodujących.

Klasyczne matryce diodowe, z wmontowanymi pomiędzy linie wybierające a linie odczytu diodami dla informacji "1", zostały swego czasu wyeliminowane z PAS przez inne techniki z powodu wysokiej ceny i wymiarów. Obecnie zaś dzięki nowej technologii znajdują od nowa coraz szersze zastosowanie.

Przykładem takiego nowego rozwiązania jest amerykańska pamięć dla pojazdów kosmicznych [16], w której na krzemowym krążku o średnicy 25 mm i grubości 0,2 mm wykonano do 1000 diod. Zapis informacji odbywa się w czasie produkcji płytek i polega na nieumieszczaniu diod dla bitów o informacji "0".

W podobnej pamięci oferowanej przez firmę Autonetics [17] na płytce szafirowej o wymiarach 1,27 x 2,7 mm pokrytej monokrystaliczną warstwą krzemu wykonano matrycę złożoną z 26 x 26 diod.

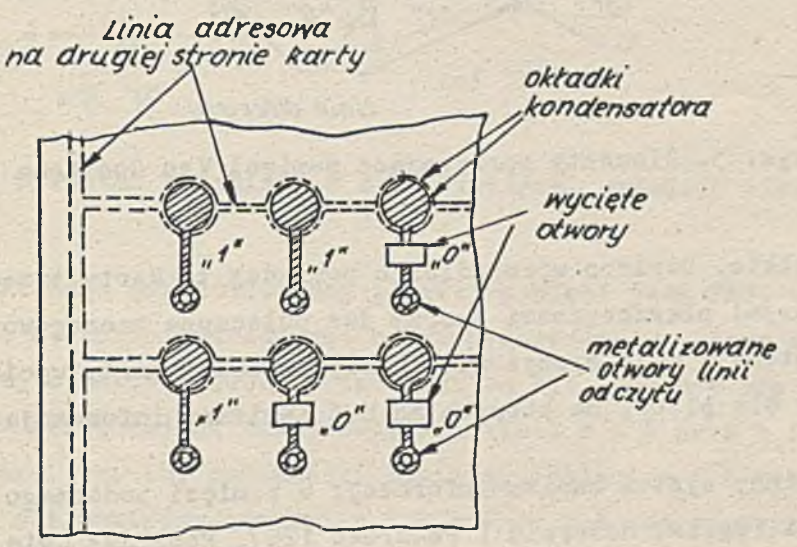
W jednej z pamięci tego rodzaju o nadrukowanej pełnej matrycy diod selenowych zapis informacji odbywa się przez elektryczne przepalanie zbędnych diod [18].

Pamięci wykorzystujące fotodiody [19] lub fototranzystory [20] posiadają pełne matryce tych elementów, zaś zapis informacji odbywa się przez perforowanie nieprzezroczystych kart wkładanych następnie pomiędzy matryce a źródła światła. Pozwala to na prostą i szybką zmianę przechowywanej informacji. Zaletą matryc fototranzystorowych jest uzyskiwanie na liniach odczytu już wzmocnionych sygnałów.

3.3. Pamięci o sprzężeniu pojemnościowym

Pierwsza pamięć o sprzężeniach pojemnościowych została skonstruowana przez Gutenmachera [6, 7] w 1952 roku. W pamięci tej pojemność pomiędzy linią słowa i linią odczytu dla bitu z informacją "1" była wielokrotnie większa niż dla bitu z informacją "0". Zostało to rozwiązane w ten sposób, że na obie strony kart z papieru kondensatorowego nanie-

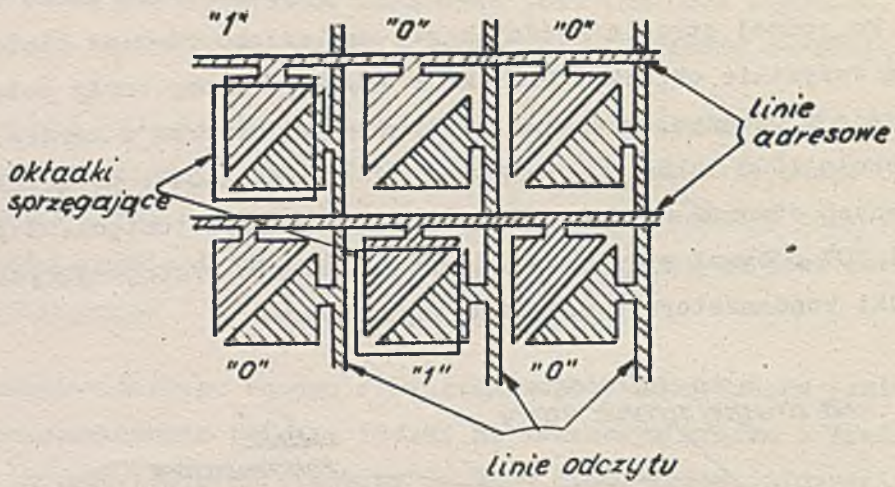
siono okładki miniaturowych kondensatorów o pojemnościach około 4 pF /Rys. 4/. Po jednej stronie każdej karty naniesiono również linię słowa łączącą wszystkie okładki. Okładki z drugiej strony karty połączone były każda z osobnym, wewnątrz metalizowanym otworem w karcie. Ze złożenia około 1000 takich kart ekranowych między sobą i połączenia metalizowanych otworów w linie odczytu uzyskano blok pamięci. Zapis informacji "0" odbywał się przez wycinanie otworów przerywających kontakt okładki kondensatora z metalizowanym otworem.



Rys. 4. Fragment karty bloku nośnika z pamięci Gutenmachera

Na takiej samej zasadzie oparta jest pamięć opisywana przez MacPhersona i Yorka [21], w której obie okładki i przewody wykonane zostały zwykłą techniką obwodów drukowanych, zaś dielektrykiem była folia "Mylar" o grubości 0.02 mm. W pamięci tej wszystkie wyprowadzenia wykonane były na złączach wtykowych. Bardzo podobną pamięć wykonano w IBM [22]. W pamięci tej jedna z okładek kondensatorów jest nadrukowywana na standardowej karcie zaś informację wprowadza się za pomocą zautomatyzowanej perforacji tych kart.

Inny system zapisu informacji w pamięci pojemnościowej zaproponował Van Goethem [23]. Nadrukowane na dwu foliach okładki kondensatorów w kształcie trójkątów wraz z doprowadzeniami nie leżą naprzeciw siebie, lecz obok siebie /Rys. 5/, a więc sprzężenie pojemnościowe między nimi



Rys. 5. Elementy sprzęgające pamięci Van Goethema

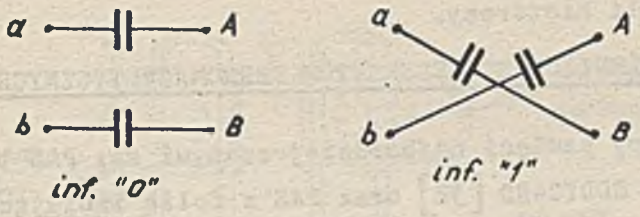
jest niewielkie. Dopiero wprowadzenie pomiędzy te karty trzeciej karty z nadrukowanymi płaszczyznami tworzy dwa połączone szeregowo miniaturowe kondensatory i daje sprzężenie. Z tej trzeciej karty wycina się płaszczyzny dla bitów, na których ma być zapisana informacja "0".

Jeszcze inny system zapisu informacji w pamięci podobnego typu przedstawili Foglia, McDermid i Petersen [24]. Pomiędzy dwie karty z nadrukowanymi okładkami wprowadzili uziemioną folię metalową izolującą obie grupy okładek. Jedynie dla tych par okładek, gdzie ma zostać zapisana informacja "1", wycinane są w folii okienka, przez które następuje sprzężenie. W pamięci tej wymiana informacji nie wymaga rozłączania ani jednego przewodu.

W analogicznej pamięci opracowanej w Japonii [25] otwory w folii ekranującej wypalane były za pomocą prądu elektrycznego, a nie wycinane mechanicznie.

W przedstawionych pamięciach o sprzężeniu pojemnościowym przedostają się na linie odczytu znaczne zakłócenia, co narzuca trudne warunki pracy wzmacniaczom odczytu. Aby uniknąć tych trudności wprowadzono po dwa przewody /a i b/ dla każdej linii słowa oraz po dwa przewody odczytu /A i B/ dla każdego bitu [26, 27]. Informacja "0" zapisywana jest przez wprowadzenie sprzężenia pojemnościowego pomiędzy liniami a i A, a także b i B, zaś dla informacji "1" wykonywano sprzężenie pomiędzy

liniami a i B oraz pomiędzy b i A /patrz Rys. 6/. Układy odczytu o wejściach symetrycznych rozróżniały polarność przychodzących sygnałów. W oparciu o przedstawioną zasadę działania wykonano w IBM pamięć o 2816 słowach 100 bitowych i czasie cyklu 200 ns [28]. Pamięć ta jest stosowana w kilku modelach maszyn System/360.



Rys. 6. Układ sprzężeń w pamięci o symetrycznych układach odczytu

Pewną modyfikacją przedstawionej powyżej pamięci jest PAS, w której pomiędzy kartą z liniami adresowymi o dwu przewodach na słowo, a kartą z liniami odczytu także o dwóch przewodach na bit, znajduje się folia dielektryka. W folii tej na skrzyżowaniach linii a i A oraz b i B powycinano okienka tak, aby pojemności pomiędzy liniami a i A oraz b i B były mniejsze niż pomiędzy liniami a i B oraz b i A, co odpowiada zapisowi informacji "1". Dla zapisu informacji "0" wycina się okienka na skrzyżowaniu linii a i B oraz b i A.

Zbudowano również pamięć, w której przewody wzbudzenia i przewody odczytu przetykane były za pomocą maszyny tkackiej [29]. Linie odczytu składały się z dwu przewodów, zaś linie poszczególnych słów w zależności od zapisanej informacji przebiegały obok jednego lub drugiego z nich. Układy odczytu o symetrycznym wejściu rozróżniały informacje według polarności impulsów. Wadą tego rozwiązania były małe amplitudy sygnałów wyjściowych spowodowane małymi pojemnościami sprzęgającymi o wartościach poniżej 0,1 pF.

Oprócz pamięci o sprzężeniu pojemnościowym, w których rozróżnianie zapisanej informacji odbywa się przez amplitudowe odróżnianie sygnału od zakłóceń, albo przez rozróżnianie sygnałów o dwóch polarnościach, została opracowana pamięć, w której sygnały na linii odczytu różnią się fazą [30]. Pamięć taka posiada zastosowanie w maszynach na parametronach.

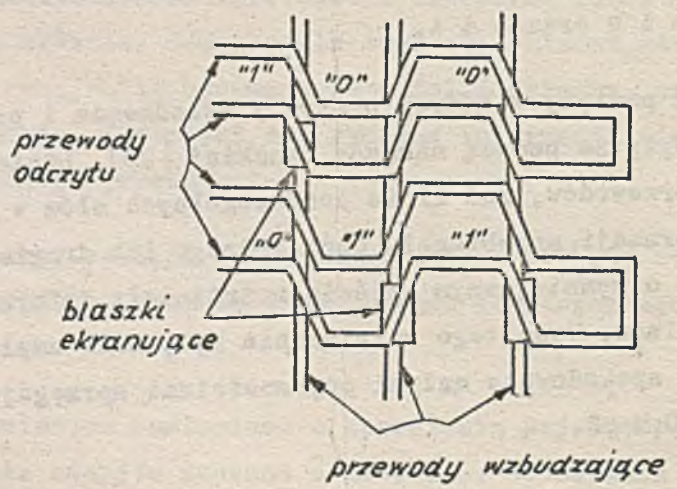
3.4. Pamięci o sprzężeniach indukcyjnych

Najliczniejszą grupą PAS są pamięci o sprzężeniach indukcyjnych. Można wyróżnić wśród nich trzy grupy: 1 - PAS o sprzężeniach bez elementów ferromagnetycznych, 2 - PAS o sprzężeniach za pośrednictwem elementów ferromagnetycznych o liniowej charakterystyce magnesowania, 3 - PAS o sprzężeniach za pośrednictwem elementów ferromagnetycznych o prostokątnej pętli histerezy.

3.4.1. PAS O SPRZĘŻENIACH BEZ ELEMENTÓW FERROMAGNETYCZNYCH

Z pierwszej grupy pamięci najbardziej znanymi są: PAS typu UNIFLUXOR [31], PAS typu EDDYCARD [32] oraz PAS z folią izolującą [33, 34, 35].

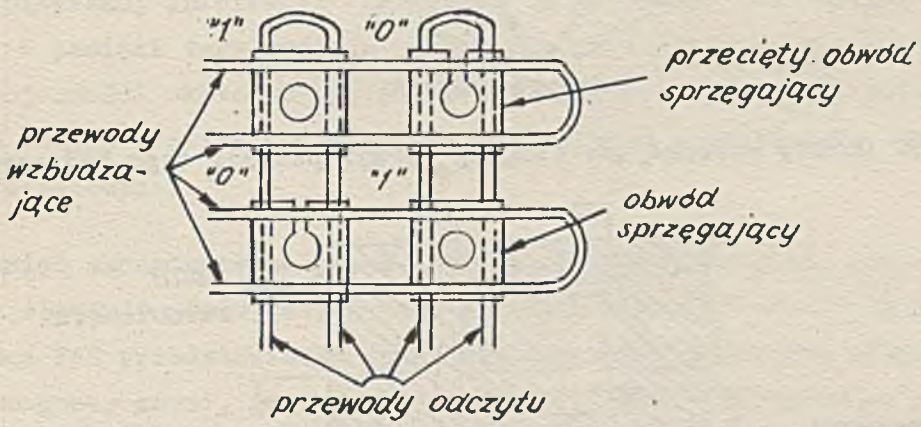
W pamięci typu Unifluxor /Rys. 7/ na jednej karcie zostały nadrukowane pojedyncze przewody linii adresowych, na drugiej zaś karcie linie odczytu w postaci podwójnego przewodu przecinającego linie adresowe pod pewnym kątem /nie prostopadle/. Gdy pomiędzy jeden z przewodów odczytu a przewód adresowy zostanie włożona metalowa blaszka wprowadzająca do układu asymetrię, to siła elektromotoryczna indukowana w przewodzie znacznie wzrasta, ponieważ w nieobecności blaszki ta indukowana w obu przewodach siła znosi się.



Rys. 7. Elementy sprzęgające pamięci typu Unifluxor

W pamięci Eddycard dwuprzewodowe linie wzbudzające nadrukowane na jednej karcie przebiegają prostopadle do dwuprzewodowych linii odczytu umieszczonych na drugiej karcie. Minimalne sprzężenie, jakie wystę-

puje pomiędzy liniami, zostaje znacznie zwiększone na skutek umieszczenia na skrzyżowaniach tych linii obwodu zamkniętego, w którym wzbudza się prąd wirowy /Rys. 8/. Obwody te umieszczone na trzeciej karcie są drukowane dla wszystkich skrzyżowań. Celem zlikwidowania sprzężeń w przypadku zapisywania informacji "0" wycina się w karcie otwór, przerywając obwód.

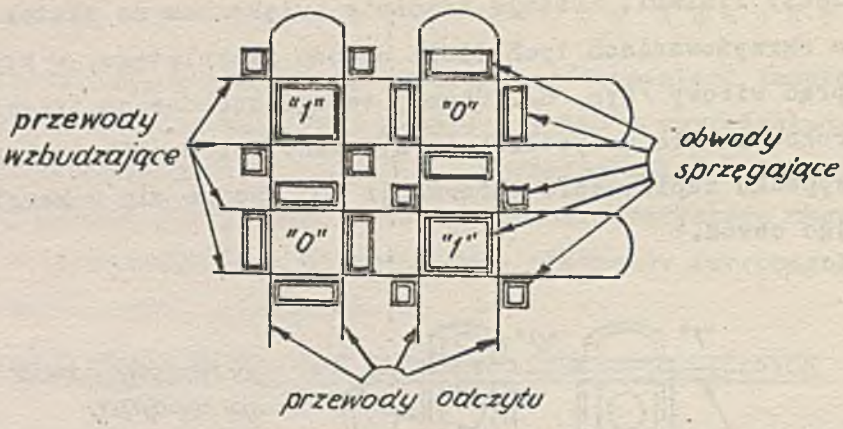


Rys. 8. Elementy sprzęgające pamięci typu Eddycard

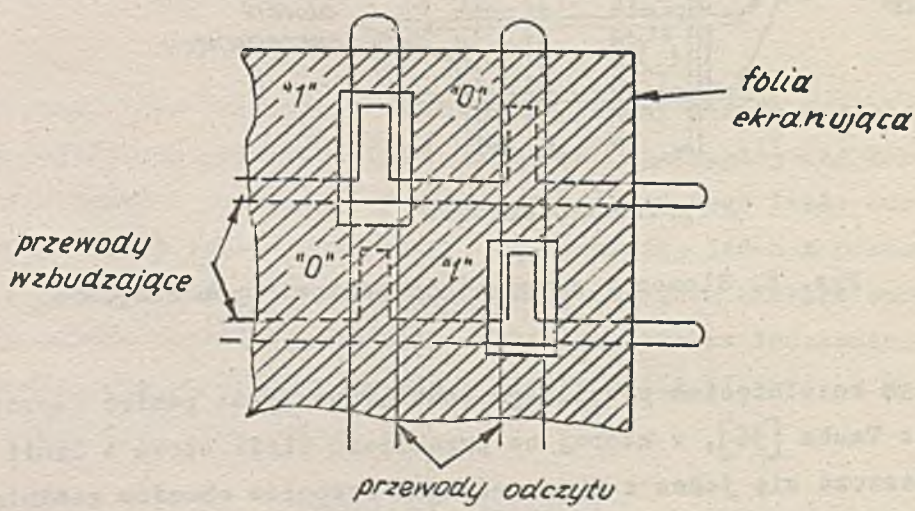
Pewnym rozwinięciem powyższego rozwiązania jest pamięć zaproponowana przez Tauba [36], w której na przecięciu linii słowa i linii bitowej umieszcza się jeden z dwóch różnych zespołów obwodów zamkniętych /patrz Rys. 9/. Jeden zespół odnoszący się do zapisu informacji "1" daje silniejsze sprzężenie niż w poprzednim rozwiązaniu, drugi zaś zespół odnoszący się do zapisu informacji "0" daje sprzężenie o przeciwnym znaku.

Pamięć z warstwą izolującą linie adresowe od linii bitowych jest bardzo zbliżona w konstrukcji do pamięci pojemnościowej Foglii. W pamięci takiej linie adresowe i linie bitowe są na pewnych odcinkach równoległe do siebie. Umożliwiałoby to sprzężenie indukcyjne pomiędzy nimi, gdyby nie izolująca je folia metalowa. Celem wytworzenia takiego sprzężenia dla zapisywanej informacji "1" wycina się w folii odpowiednie otwory /Rys. 10/.

Opracowano również pamięć o sprzężeniach indukcyjnych, w której wzbudzające linie adresowe i linie bitowe biegną na pewnych odcinkach



Rys. 9. Obwody sprzęgające drugiej wersji pamięci typu Eddycard



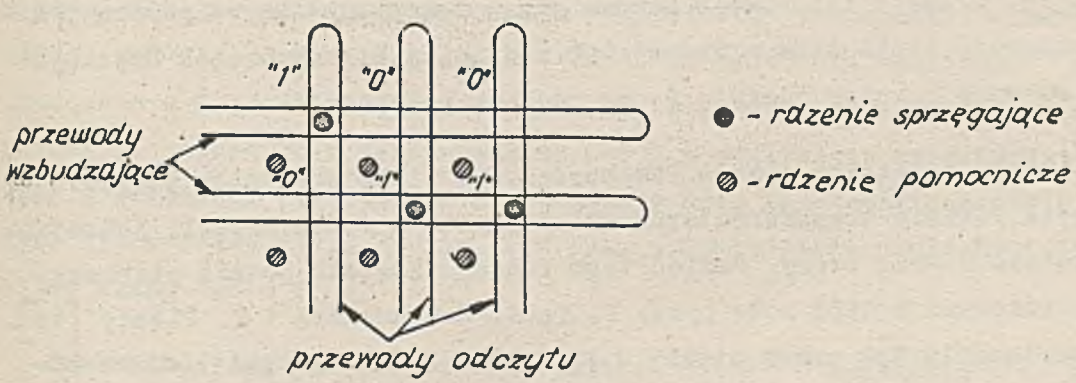
Rys. 10. Fragment nośnika informacji pamięci z ekranującą folią

równolegle i blisko siebie. Każde skrzyżowanie linii adresowej z linią bitową posiada dwa warianty sprzężeń. Przeprowadzenie linii adresowej wzdłuż linii bitowej w jednym kierunku daje jedno sprzężenie, zaś przeprowadzenie w kierunku przeciwnym - drugie. Zapis informacji odbywa się przez przecinanie kart z nadrukowanymi ścieżkami linii adresowych w taki sposób, aby z dwóch wariantów sprzężeń pozostawał zawsze tylko jeden. Sygnały odczytu powstałe w dwuprzewodowej linii odczytu tej pamięci posiadają w zależności od miejsca przecięcia linii wzbudzającej różną polarność [37].

Jednym z nowszych rozwiązań PAS bez elementów ferrytowych jest pamięć opracowana przez Yukun Hsia [38], w której na skrzyżowaniach linii

adresowych i linii odczytu, w celu uzyskania sprzężenia, skręcony jest miniaturowy solenoid o średnicy zewnętrznej Ø = 0,3 mm i wysokości h = 2 mm składający się z kilkunastu zwojów linii adresowej i kilkunastu zwojów linii odczytu. Cewki te skręcane są automatycznie na uprzednio przygotowanej desce ze szpilkami ustawionymi w zaplanowanych miejscach sprzężeń. Linie odczytu mają postać dwuprzewodowej linii transmisyjnej zwartej opornikiem 200 , zaś cewki sprzęgające w zależności od zapisywanej informacji wykonywane są na jednym lub drugim przewodzie. W pamięci tego rodzaju osiągnięto czas cyklu mniejszy od 200 ns dla pojemności około 60 tysięcy bitów. Zbliżone parametry osiągnięto i dla innych rozwiązań pamięci o indukcyjnych sprzężeniach bez elementów ferrytowych.

Pamięć skonstruowana przez Kilburna i Grimsdala [39], pomimo posiadania elementów ferrytowych jest z punktu widzenia zasady działania bliższa PAS przedstawionym wyżej niż typowym pamięciom z elementami ferromagnetycznymi, gdyż posiada osobne elementy sprzęgające dla każdego bitu. W pamięci tego rodzaju dwukierunkowe linie adresowe są drukowane równolegle do siebie na jednej karcie, zaś linie odczytu drukowane prostopadle do poprzednich na drugiej karcie /Rys. 11/. Celem zapisu informacji "1" umieszcza się miniaturowe pręty ferrytowe na skrzyżowaniach linii adresowych i linii odczytu, uzyskując w ten sposób znaczne zwiększenie sprzężenia. Pomiędzy tymi liniami znajdują się rdzenie pomocnicze, przez które zamyka się strumień zewnętrzny. Pamięć tego rodzaju wykonana dla maszyny Atlas I posiada 4096 słów 52 bitowych i czas cyklu 200 ns.



Rys. 11. Fragment nośnika informacji pamięci o elementach sprzęgających z miniaturowymi prętami ferrytowymi

3.4.2. PAS ZE SPRZĘŻENIAMI W ELEMENTACH FERRYTOWYCH O CHARAKTERYSTYCE LINIOWEJ

Typowe pamięci z elementami magnetycznymi o charakterystyce liniowej posiadają po jednym elemencie magnetycznym na jedną linię odczytu. Elementem tym jest transformator o wielu uzwojeniach pierwotnych i jednym uzwojeniu wtórnym. W różnych pamięciach stosowane są rdzenie o rozmaitych kształtach.

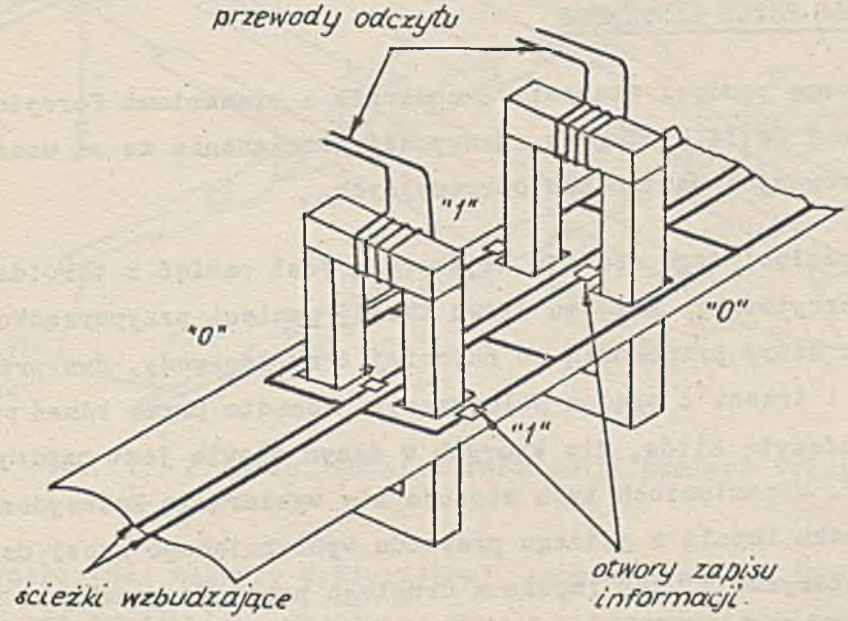
Klasyczną pamięcią tego typu jest translator opracowany przez Dimonda w 1951 roku [3]. Każdy toroidalny rdzeń tej pamięci posiada jedno uzwojenie odczytu, zaś poszczególne przewody adresowe albo są przewlekane przez rdzenie, zapisując informację "1", albo omijają te rdzenie, zapisując informację "0". O innym przykładzie tego rodzaju pamięci opracowanej do potrzeb mikroprogramowania wspomina Taub w swym przeglądowym artykule [36].

Wykorzystując transformatory o rdzeniach toroidalnych można także skonstruować dwa rodzaje pamięci, w których informacje "1" i "0" będą różniły się polarnością sygnałów odczytu. W pierwszym rodzaju pamięci przewód adresowy dla zapisu informacji "0" biegnie przez rdzeń w przeciwnym kierunku niż to ma miejsce podczas zapisu "1". W drugim rodzaju pamięci stosując po dwa transformatory na bit, przeprowadza się linie adresowe albo przez jeden, albo przez drugi.

Skonstruowano również pamięć z transformatorami o rdzeniach w postaci miniaturowych prętów ferrytowych z nawiniętymi uzwojeniami bitowymi [40]. Zapis informacji odbywa się w tym przypadku za pomocą przeprowadzania linii słów z jednej lub z drugiej strony pręta. Uzyskuje się wówczas impulsy odczytu o dwu różnych polarnościach.

W ciągu ostatnich pięciu lat opracowano wiele wariantów pamięci, w których rdzenie transformatorów składają się z dwóch części, jednej o kształcie U oraz zwory. Pamięć tego rodzaju została po raz pierwszy zaproponowana w 1963 roku przez F. Tsui, W. Anackera i H. Piloty [41]. W rozwiązaniu tym przez otwory w kartach z nadrukowanymi liniami adresowymi przetyka się rdzenie i następnie zwiera się je zworami. Linie adresowe są nadrukowane na folii w taki sposób, że dla każdego

bitu jedna ze ścieżek przechodzi przez rdzeń, a druga go omija. Zapis informacji dokonuje się przed włożeniem rdzeni za pomocą przecięcia jednej z dwu ścieżek każdego bitu. /Rys. 12/. Pamięć tego typu została wykonana do maszyn IBM serii System/360/, które posiadają pojemności 4 tys. słów 60-bitowych i czas cyklu 600 ns [42, 22].



Rys. 12. Fragment nośnika informacji pamięci z transformatorami typu U ze zworą

W innych rozwiązaniach wykorzystujących rdzenie typu U ze zworą, linie słów biegną zwykłymi przewodami [43, 44]. Przewody te przed nałożeniem na rdzenie splatane są w "warkocze", tak aby dla tych bitów, w których należy zapisać informacje "1", przewód przechodził przez rdzeń, zaś dla pozostałych omijał rdzeń. Do splatania "warkoczy" zastosowano w Massachusetts Institute of Technology maszynę tkacką sterowaną za pomocą kart perforowanych [45]. W pamięciach transformatorowych z rdzeniami o kształcie U osiągnięto przy pojemnościach około 60 tys. bitów czasy cyklu 200 ns, zaś przy pojemnościach około 500 tys. bitów czasy około 2 μs.

Podobna wersja pamięci wykorzystująca rdzenie o kształcie E ze zworą, została wykonana w Control Engineering [13]. W tym przypadku uzwojenia bitowe nawija się na środkowych ramionach rdzeni, zaś zapis

informacji polega na przeprowadzaniu linii słowa przez jeden otwór rdzenia lub przez drugi. Impulsy odczytu dla informacji "1" i "0" otrzymywane w uzwojeniu bitowym różnią się między sobą polarnościami.

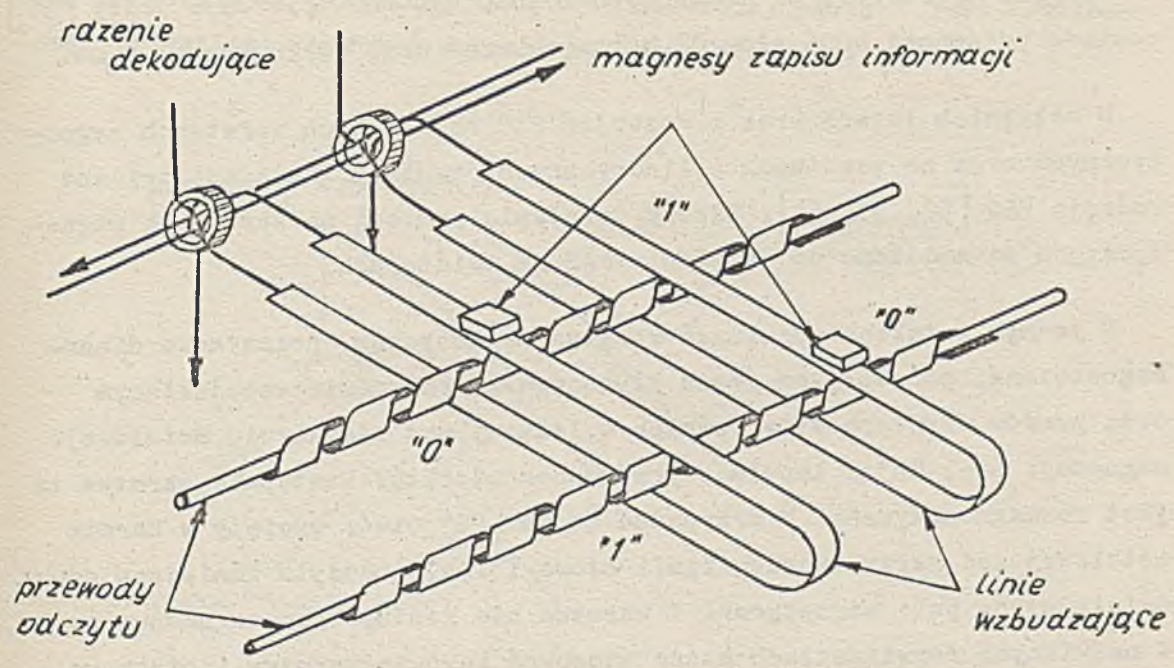
3.4.3. PAS ZE SPRZĘŻENIAMI W ELEMENTACH FERROMAGNETYCZNYCH O PROSTOKĄTNEJ PĘTLI HISTEREZY

Liczną grupę pamięci stanowią urządzenia z elementami ferrytowymi o prostokątnej pętli histerezy. Zazwyczaj rozwiązania te są wzorowane na już opracowanych pamięciach operacyjnych.

Spośród pamięci tego rodzaju najstarszą jest pamięć z toroidalnymi rdzeniami ferrytowymi. Każdemu słowu takiej pamięci przyporządkowano rdzeń, przez który przechodzą co najmniej trzy przewody, dwa przewody wybierające i trzeci z prądem polaryzacji. Ponadto przez rdzeń przebiegają przewody odczytu bitów, dla których w danym słowie jest zapisywana informacja "1". W pamięciach tych stosuje się wybieranie koincydencyjne. W tym przypadku impuls z jednego przewodu wybierającego znosi działanie prądu polaryzacji, zaś impuls z drugiego przewodu przełącza rdzeń. Po zakończeniu impulsów wzbudzających prąd polaryzacji przełącza rdzeń do stanu początkowego. Koincydencyjne wybieranie rdzeni zmniejsza liczbę linii wybierających, przejmując zadania ostatniego stopnia dekodera.

Pamięć tego typu opisał w 1955 roku Wier 46 . Została ona również m.in. zastosowana przez Wilkesa do maszyny Edsac II [10]. Ponadto pamięć taką opracowano w Polsce, w Instytucie Maszyn Matematycznych [47]. Pamięci takie ze względu na trudności wymiany informacji i dłuższe czasy cyklu zostały wyparte przez PAS z rdzeniami o liniowej charakterystyce magnesowania.

Do konstrukcji PAS zastosowano także twistory [48, 49, 50, 51]. Przewód twistorowy jest to drut miedziany owinięty pod kątem 45^{o} taśmą permalojową o prostokątnej pętli histerezy i o kierunku łatwego namagnesowania biegnącym wzdłuż taśmy. Przewód twistorowy stanowi w PAS linię bitową, zaś uzwojenie wzbudzające każdego słowa obejmuje wszystkie twistorowe przewody bitowe /Rys. 13/. Impuls prądowy uzyskiwany w uzwojeniu wzbudzającym w wyniku przełączania rdzenia toroidalnego



Rys. 13. Fragment nośnika informacji pamięci twistorowej

koincydencyjnej matrycy wybierającej, przemagnesowuje odcinek taśmy położony pod uzwojeniem, wywołując impuls w przewodzie odczytu. Z kolei impuls w linii wzbudzającej, który powstaje w wyniku powrotnego przemagnesowania rdzenia wybierającego, przemagnesowywuje taśmę do stanu pierwotnego. Zapis informacji otrzymujemy w rezultacie umieszczenia magnesu nad skrzyżowaniem linii wzbudzającej z twistorem. Magnes ten uniemożliwia przemagnesowanie taśmy, zmniejszając znacznie sygnał w przewodzie odczytu. Na ogół jednak zamiast magnesów stosuje się karty magnetyczne, w których nad przecięciami linii słów i linii bitów, gdzie ma być zapisana informacja "1" wycina się odpowiednie otwory.

Istnieją również inne warianty rozwiązania pamięci twistorowych. Mianowicie nad twistorami i liniami wzbudzającymi umieszcza się karty metalowe, w których wzbudzane są prądy wirowe. Prąd w linii wzbudzającej jest tak dobrany, że dopiero wspólnie ze wzbudzonymi w karcie prądami wirowymi przemagnesowuje on taśmę permalojową twistora. W razie wycięcia ponad wybranym skrzyżowaniem otworu sprzężenie staje się zbyt słabe, aby móc przemagnesować taśmę. W ten sposób jest zapisywana informacja "0".

Pamięci twistorowe są stosunkowo wolne, np. PAS opisana w pracy [50] posiada pojemność 4096 słów 88 bitowych, zaś czas cyklu wynosi 5 μs.

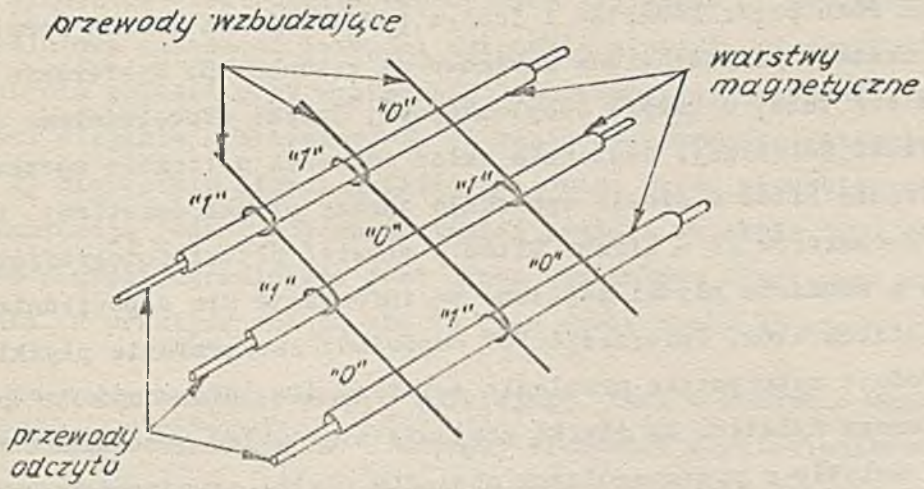
W ostatnich latach wraz z rozwojem PAO na płaskich warstwach magnetycznych oraz na warstwach cylindrycznych powstały także analogiczne rodzaje PAS [52, 53, 54]. Zasady działania pamięci na warstwach magnetycznych są zbliżone do działania PAS na twistorach.

W jednym z takich rozwiązań warstwa magnetyczna, początkowo nienamagnesowana, pod wpływem prądu płynącego w przewodzie wzbudzającym oraz prądów wirowych wytworzonych w leżącej nad nią karcie metalowej magnesuje się, dając impuls w przewodach odczytu. Następnie warstwa ta jest rozmagnesowywana. W przypadku zapisu "0" otwór wycięty w karcie metalowej nad skrzyżowaniem linii słowa i linii odczytu zmniejsza oddziaływujące pole magnetyczne i warstwa nie zostaje przemagnesowana. W omawianych rozwiązaniach można stosować zarówno warstwy izotropowe o prostokątnej pętli histerezy jak i warstwy anizotropowe.

W innych rozwiązaniach umieszcza się kartę magnetyczną nad warstwą magnetyczną. Karta ta utrzymuje warstwę w stanie namagnesowania, w którym wektor indukcji magnetycznej jest zgodny z kierunkiem trudnego namagnesowania, uniemożliwiając przemagnesowywanie warstwy i likwidując sprzężenie pomiędzy linią słowa i linią bitu. Nad skrzyżowaniami, w których zapisana jest informacja "1" wycięto w karcie magnetycznej odpowiedni otwór. Taką właśnie pamięć o pojemności 1024 słów 288-bitowych i czasie cyklu 45 ns wykonano w IBM [54].

Zasada działania PAS wykonanej na przewodach pokrytych cylindryczną warstwą magnetyczną /o poobwodowym kierunku łatwego namagnesowania/ przedstawia się następująco. Druty pokryte warstwą magnetyczną służą jako przewody odczytu, w których pod wpływem przemagnesowywania się warstwy indukują się odpowiednie impulsy, Przewody wzbudzające w zależności od naniesionej informacji albo oplatają przewody odczytu /zapis informacji "1"/, albo je omijają /zapis informacji "0"/ /Rys. 14/. Pole magnetyczne wytworzone pod wpływem prądu wzbudzającego przemagnesowywuje warstwę magnetyczną w kierunku trudnego namagnesowania, indukując prąd w linii odczytu. Indukowany w PAS na warstwach cylindrycznych sygnał odczytu jest znacznie większy niż analogiczny sygnał w

PAS na warstwach płaskich. Wadą przedstawionej pamięci jest konieczność przewijania uzwojeń w razie wymiany informacji.

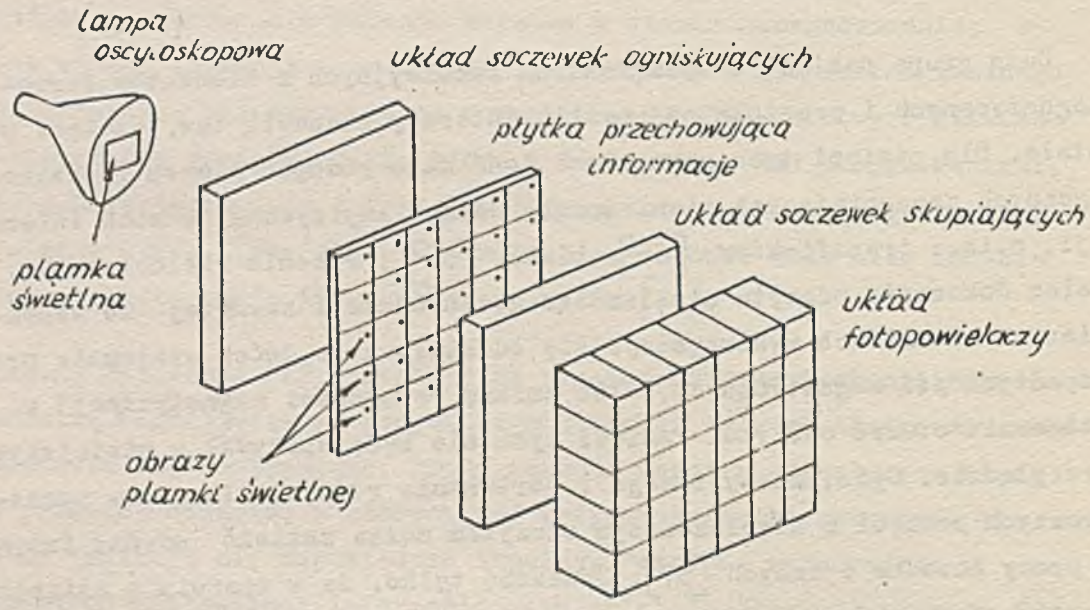


Rys. 14. Fragment nośnika informacji pamięci z cylindrycznymi warstwami magnetycznymi

Dużą grupę pamięci o sprzężeniach indukcyjnych z elementów ferromagnetycznych i prostokątnej pętli histerezy stanowią tzw. pamięci półstałe. Dla pamięci tych opracowano dość dużo różnych elementów magnetycznych zapewniających nieniszczący odczyt zapisywanej w nich informacji, m.in.: transfluksory [55], biaksy [56] , rdzenie wielootworowe. Celem dokonania odczytu nieniszczącego informacji zawartej we wspomnianych elementach wykorzystuje się oddziaływanie dwóch wzajemnie prostopadłych pól magnetycznych, albo zmianę "oporności magnetycznej" w otoczeniu otworu odczytu. Pamięci tych nie będę opisywał w niniejszym przeglądzie. Opis, klasyfikacje i porównania różnych elementów magnetycznych pamięci z nieniszczącym odczytem można znaleźć między innymi w pracy Aszmana i innych [57]. Zaznaczę tylko, że w oparciu o anizotropowość cienkich warstw magnetycznych wykonano szereg pamięci z nieniszczącym odczytem, wykorzystując do tego celu płaskie warstwy magnetyczne [58], a ostatnio nader liczne pamięci z warstwami cylindrycznymi np. [59].

3.5. Pamięci optyczne

Pamięcią optyczną, która doczekała się szeregu rozwiązań jest PAS z "biegającą" plamką świetlną /flying-spot/ przedstawiona po raz pierwszy w 1952 roku przez Robertsa i Younga [60]. Jedno z takich rozwiązań [61] zostało przedstawione szkicowo na rysunku 15. Wybieranie słowa odbywa się tutaj w lampie oscyloskopowej dzięki odpowiedniemu ustawieniu plamki świetlnej. Następnie układ soczewek o liczbie soczewek równej liczbie bitów w słowie ogniskuje obrazy plamki świetlnej na każdym z B-obszarów /B - liczba bitów w słowie/ płytki fotograficznej. Na każdym z obszarów płytki zapisane są informacje dla odpowiedniego bitu wszystkich słów. Informacji "0" odpowiada zaczernienie płytki, które powoduje zatrzymanie promienia światła, dla informacji "1" płytka przepuszcza światło. Za płytką znajduje się układ B-soczewek skupiających światło z poszczególnych obszarów płytki na odpowiadające im fotopowielacze. Przedstawiona pamięć o pojemności $2{,}2.10^6$ bitów posiada czas cyklu 5 μs.



Rys. 15. Pamięć optyczna typu Flying-spot

W innym podobnym rozwiązaniu [62] zamiast układów soczewek zastosowano światłowody z włókien szklanych rozprowadzające światło od źródeł przyporządkowanych poszczególnym słowom do płytki fotograficznej z za-

pisaną informacją. Drugi układ światłowodów łączy fotopowielacze przyporządkowane poszczególnym bitom z drugą stroną zaczernianej płytki.

Spotykamy także rozwiązania, w których źródło światła stanowi matryca elementów elektroluminescencyjnych wybierana koincydencyjnie [63]. Nieliniowa zależność jasności świecenia elementu od przyłożonego doń napięcia pozwala przy wybieraniu koincydencyjnym uzyskać stosunek jasności elementu wybieranego do elementu półwybranego znacznie większy od 2. Niewielkie ilości światła emitowane przez niewybierane elementy ograniczają jednak pojemność takiej pamięci do około 1000 słów. Szybkość pamięci ograniczona jest przez stosunkowo długi czas zaniku świecenia. W praktyce osiąga się tu czas cyklu około 25 μs.

Zbudowano również pamięć wolniejszą, lecz o znacznie większej pojemności około 16.10^3 słów. W matrycy elementów elektroluminescencyjnych tej pamięci wybierano za pomocą napięcia sinusoidalnego o częstotliwości f_1 kolumny, a za pomocą napięcia częstotliwości f_2 wybierano wiersze. W celu odcięcia zakłóceń układy wzmacniające prąd z fotopowielaczy posiadały filtry odcinające częstotliwości znajdujące się powyżej f_2-f_1 [36].

W specjalizowanej maszynie IBM do tłumaczeń zastosowano optyczną pamięć dyskową do przechowywania słownika [64]. W zasadach działania pamięć ta zbliżona jest do magnetycznych pamięci dyskowych. Źródłem światła jest tutaj lampa oscyloskopowa, której obraz jest ogniskowany za pomocą soczewki na powierzchni obracającego się szklanego dysku. Na dysku tym umieszczono informacje zapisane metodą fotograficzną. Za dyskiem znajduje się fotopowielacz rejestrujący przechodzący strumień świetlny. O wyborze odczytywanej ścieżki decyduje odpowiednie ustawienie plamki świetlnej na lampie oscyloskopowej.

W ostatnich latach opracowano różne rodzaje pamięci magnetooptycznych i holograficznych. Pamięci te charakteryzują bardzo duże pojemności do 10^{10} bitów. Szczegółowy opis tych pamięci znajduje się w pracy Z. Sawickiego [65].

3.6. R ó ż n e p a m i ę c i s t a ł e

Pamięcią, która nie należy do żadnej z uprzednio opisywanych grup, jest pamięć magnetostrykcyjna [66]. Elementem przechowującym informa-

cje jest w tym przypadku linia magnetostrykcyjna, na jednym końcu której umieszczono uzwojenie wzbudzające, na drugim zaś końcu której połączono szeregowo uzwojenia odczytu wszystkich bitów /rys. 16/. Podczas rozchodzenia się drgań mechanicznych /wzdłuż linii/ w obwodach odczytu indukują się kolejno dla poszczególnych bitów odpowiednie impulsy. Polarności impulsów uwarunkowano położeniem stałych magnesów ustawionych naprzeciwko uzwojeń odczytu. W innym rozwiązaniu zapis informacji "0" można realizować przez nieumieszczanie magnesu naprzeciwko uzwojenia odczytu. Otrzyma się wówczas pamięć z amplitudowym rozróżnianiem informacji "0" i "1".

Rys. 16. Element nośnika informacji pamięci magnetostrykcyjnej

Zasadniczą wadą pamięci magnetostrykcyjnych jest mała gęstość zapisu informacji.

Literatura

[1] HISTORIC FIRSTS: Translation. Bell Lab. Record 1948, 26, p. 445.

[2] SCHNECKLOTH H.H.: Some Basic Concepts of Translators and Identifiers Used in Telephone Switching Systems. Bell Syst. Tech. Journal 1951, 30, p. 588.

[3] DIMOND T.L.: No. 5 Crossbar AMA Translator. Bell Lab. Record 1951, 29, p. 62.

[4] BURKS A.W.: Electronic Computing Circuits of the ENIAC. Proc. Inst. Radio Engrs, 1947, 35, p. 756.

[5] ANDREWS E.G.: The Bell Computer, Model 6. Proceedings of a Second Symposium on Large-Scale Digital Calculating Machinery, Harvard, 1951, p. 20.

[6] GUTENMACHER L.I.: Statističeskije informacjonnyje mašiny novogo tipa, Vjestnik A.N. SSSR, 1956, Nr 10, str. 12.

[7] GUTENMACHER L.I.: Elektronnyc informacjonno-logičeskije mašiny. Wyd. 2.A.N. SSSR, 1962.

[8] WILKES M.V.: The Best Way to Design an Automatic Calculating Machine. Manchester University Computer Inaugural Conference 16-18 July 1951.

[9] WILKES M.V., STRINGER J.B.: Microprogramming and the Design of the Control Circuits in an Electronical Digital Computer Proceedings of the Cambridge Philosophical Society, 1953.

[10] WILKES M.V., RENWICK W., WHEELER D.J.: The Design of the Control Unit of an Electronic Digital Computer. Proceedings IEE, 1958, 105B, p. 121.

[11] TUCKER S.G.: Microprogram Control for System/360. IBM System Journal Vol. 6, No. 4, 1967.

[12] DREYER L.: Principles of Two-Level Memory Computer. Computers and Automation, May 1968.

[13] BAILEY S.J.: Faster Computer Control with a Read-Only Memory. Control Engineering, August 1967.

[14] GLANTZ H.T.: A Note on Microprogramming. Journal of the Associa- for Computing Machinery 3, No. 2, p. 77 /April 1956/.

[15] LEWIN M.H., BEELITZ H.R., GUARRACINI J.: Fixed Resistor-Gard Memory IEEE Trans. vol. EC-14, No. 3, 1965.

[16] Thin Silicon Wafers Used in Fixed Digital Memory. Electronic Design 1961, vol. 9, No. 2.

[17] Electron News 1965, vol. 10, No. 501.

[18] TIMOFIEJEW A.A.: Postojannyje zapominajuščije ustroistva, zbiór prac pt. Zapominajuščije ustroistva red. L.P. Kraizmer, Leningrad 1968.

[19] PRICE T.E.: High-Speed Programming of an Electron Beam Machine. Brit. Communications a. Electronics, 1964, vol. 11, No. 1.

[20] HAGIWARA H., AMO K., MATSUSHITA S., JAMAUCHI H.: The KT Pilot Computer - a Micro Programmed Computer with a Phototransistor Fixed Memory. Proc. of the IFIP Congress 62.

[21] MACPHERSON D.H., YORK R.K.: Semi-Permanent Storage by Capacitive Coupling. Trans. Inst. Radio Engrs., 1961, EC-10, p. 446.

[22] PAINKE H.: Der Festwertspeicher in digitalen Rechenanlagen. Elektr. Rechenanlagen Heft 1, 8, Februar 1966.

[23] VAN GOETHEM J.: The Capacitive Semi-Permanent Information Store and Its Uses in Telephone Exchanges. Proc. IEE, 1960, 107B, Suppl. 20, p. 346.

[24] FOGLIA H.R., MCDERMID W.L., PETERSEN H.E.: Card Capacitor - a Semi-Permanent Read-Only Memory. IBM J. Res. Developm. 1961, 5, No. 1, p. 67.

[25] TAKAHASHI S., WATANABE S.: Capacitance Type Fixed Memory. W "Large Capacity Memory Techniques for Computing System" red. M.C. Yovits. Proc. of May 1961 Symposium, Macmillan 1962.

[26] OWEN C.E., PROUDMAN A.: Read-Only Memory. IBM Techn. Disclosure Bull, 1963, vol. 5, No. 8.

[27] TAUB D.M.: Analysis of Sneak Paths and Sense-Line Distortion in an Improved Capacitor Read-Only Memory. Proc. IEEE, 1963, vol. 51, No. 11.

[28] ABBAS S.A., AYLING J.K., GIFFORD C.E., GLAND R.G., KWEI T.C., TAREN W.J.: A Balanced Capacitor Read-Only Storage. IBM Journal of Research and Development, vol. 12, No. 4, July 1968.

[29] AVDEJENKO L.M., KOROLKOV, N.V., MAKSIMOVA V.N., TREFIŁOV V.I.: Dołgovremiennyje /postojannyje/ zapominajuščije ustrojstva dlja CVM. Izd. V.C. A.N. SSSR, 1963.

[30] VISSONOVA I.A.: Dołgovremennoje jomkostnoje zapominajuščije ustrojstvo bolšogo objoma na radioimpulsach. Zbiór prac: Vyčislitelnaja i informacionnaja technika. VINITI A.N. SSSR, 1962.

[31] RENARD A.M., NEUMANN W.J.: Unifluxor - a Permanent Memory Element. Proceedings of the Western Joint Computer Conference San Francisco 1960, p. 91.

[32] ISHIDATE T., YOSHIZAWA S., NAGAMORI K.: Eddycard Memory - a Semi-Permanent Storage. Proc. of the Eastern Joint Computer Conference, Washington 1961, p. 194.

[33] BRUCE G.D., SHORTLE J.K.: High Speed Reader, IBM Techn. Disclosure Bull. 1961, vol. 4, No. 1.

[34] GAHRAN H.C., WAMSLEY J.C.: Ternary Read-Only Memory. IBM Techn. Disc. Bull. 1961, vol. 4, No. 5.

[35] JAMATO J., SUZUKI Y.: Forming Semi-Permanent Memories with Metal Card Storage. Electronics 1961, vol. 34.

[36] TAUB D.M.: A Short Review of Read-Only Memories. Proc. IEE, vol. 110, No. 1, January 1963..

[37] FABRI-TEK: Permacard Memory System. Bulletin No. 6329.

[38] YUKUN HSIA: Solenoid-Coupled Read-Only Memory. IEEE Trans. on Elec. Comp. EC-16, June 1967.

[39] KILBURN T., GRIMSDALE R.L.: A Digital Computer Store with Very Short Read Time. Proc. IEEE, 1960, 107B, p. 567.

[40] BUTCHER J.R.: A Prewired Storage Unit. IEEE Trans. 1964, vol. EC-13, No. 2.

[41] TSUI F.F., ANACKER W., PILOTY H.: Neues Konstruktionsprinzip für einen wirtschaftlichen und betriebssicheren Halbfestwertspeicher. Elektronische Rechenanlagen 1963, No. 5, Heft 1.

[42] TAUB D.M., KINGTON B.W.: The Design of Transformer /Dimond Ring/ Read-Only Stores. IBM Journal, September 1964.

[43] ALDRICH W.H., ALONSO R.L.: The Braid Transformer Memory. IEEE Trans. on Electr. Computer, EC-16, August 1966.

[44] SALAM M.P.A.: Analysis of High Speed Fixed Stores Using U-Cores. Electronic Engineering, June 1966.

[45] ALONSO R.L.: Vintage Machine Produces Memories. Electronics, May 1, 1967.

[46] WIER J.M.: A High Speed Permanent Storage Device. IRE Trans. 1955, vol. EC-4, No. 1.

[47] BOLIŃSKI R.: Pamięć stała PAS-2. Prace IMM PAN B2/15/, Warszawa 1963.

[48] LOONEY D.H.: A Twistor Matrix Memory for Semi-Permanent Information. Proc. of the Western Joint Computer Conf. 1959, p. 36.

[49] DEBUSKE J.J., JANIK J., SIMONS B.H.: A Card-Changeable Nondestructive Read-out Twistor Store, j.w. p. 36.

[50] BARRET W.A., HUMPHREY F.B., RUFF J.A., STADLER H.L.: A Card-Changeable Permanent-Magnet Twistor Memory of Large Capacity. Trans. Inst. Radio Engineers, 1961, EC-10, p. 451.

[51] FEUSTEL O.: Elektronische Zuordner. Elektronische Rechenanlagen 1965, No. 7, Heft 1.

[52] TAREN W.J.: Read-Only Thin Film Memory, IBM Techn. Disclosure Bull. 1962, vol. 5, No. 1.

[53] MATICK R.: Thick Film Read-Only Memory Device. Journ. Appl. Phys. vol. 34, April 1963.

[54] SIE C., PLESHKO P., TERMAN L.: A High Speed Thick Film Read-Only Store. Proc. of IFIP Congress 1965, p. 613.

[55] RAJCHMAN J.A., LO O.W.: The Transflux - a Magnetic Gate with Stored Variable Setting. RCA Rev. 1955, vol. 16, No. 2.

[56] WANLASS C.L., WANLASS S.D.: Biax-High Speed Magnetic Computer Element. IRE Wescon Conv. Record, 1959, vol. 3, pt. 4.

[57] ASZMAN A.E., KRUPSKIJ A.A., LJUBCZANSKIJ M.C.: Magnitnyje zapominajuscije elementy s nierazrušajuščim ščityvanijem. Ze zbioru prac Zapominajuščije ustrojstva, pod red. L.P. Krajzmera. Leningrad 1968.

[58] PETSCHANER R.J. TURNQUIST R.D.: A Nondestructive Read out Film Memory. Proc. West. Joint Comp. Conf. 1961, p. 441.

[59] FEDDE G.A.: Plated Wire: a Long Shot Thats Paying off. Electronics, November 1968.

[60] ROBERTS F., YOUNG J.Z.: The Flying Spot Microscope. Proc. IEE, 1952, 99, Part IIIA, p. 747.

[61] HOOVER C.W., HAUGK G.: The Flying Spot Store. Large Capacity Memory Techniques for Computing Systems. Red. M.C. Yovits. Proc. of May 1961 Symposium, Macmillan 1962.

[62] HOFFMAN G.R., JEFFREYS D.C.: A Computer Fixed Store Using Light Pulses for Read-out. J. Brit. IRE, vol. 25, No. 2, p. 99 Februar 1963.

[63] HOFFMAN G.R., SMITH D.H., JEFFREYS D.C.: High-Speed Light Output Signals from Electroluminescent Storage Systems. Proc. IEE, 1960, 107B. p. 599.

[64] Craft J.L. i inni: A Table Look-up Machine for Processing of Natural Languages. IBM Journal, July 1961.

[65] SAWICKI Z., NOWAK E.: Pamięci optyczne. ETO Nowości Nr 1/15/, 1969.

[66] SHOOK C.G.: A Digital Static Magnetic Wire Storage with Nondestructive Read-out. IRE Trans. 1961, vol. EC-10, No. 1.

Mgr inż. JERZY DAŃDA
Zakład Pamięci Wewnętrznych

681.322.004.14:621.317.799:
681.327.66

SYSTEM DO BADANIA PAMIĘCI OPERACYJNYCH I STAŁYCH

1. Wstęp

Opracowanie niniejsze zawiera propozycję realizacji systemu pomiarowego przeznaczonego do badań techniczno-funkcjonalnych pamięci operacyjnych ze stałym czasem dostępu /ferrytowych, z cienkowarstwowym nośnikiem magnetycznym/ oraz pamięci stałych.

Propozycja budowy systemu pomiarowego opiera się na zasadach przedstawionych w artykule [1], z których najważniejszą jest wykorzystywanie maszyny cyfrowej do wykonywania bardziej złożonych funkcji sterowania przebiegiem badań oraz przetwarzania wyników badań. Następną istotną cechą jest możliwość przeprowadzania badań pamięci o cyklu znacznie krótszym niż cykl pamięciowy maszyny sterującej. Wreszcie system pozwala na wykonywanie programów obliczeniowych, korzystających z pamięci badanej, dołączonej do maszyny sterującej. Cecha ta pozwala na sprawdzenie badanego urządzenia w normalnych warunkach, w jakich będzie ono pracowało w finalnym systemie.

2. Podstawowe cechy systemu

W systemie realizującym omawianą w artykule [1] metodę badań techniczno-funkcjonalnych urządzeń pamięciowych wyróżniamy następujące składniki:

- maszynę cyfrową sterującą wraz z niezbędnym standardowym wyposażeniem peryferyjnym i standardowym oprogramowaniem,

. tester przystosowany do współpracy z maszyną cyfrową,
. urządzenie do zmiany warunków wewnętrznych i zewnętrznych,
. urządzenie do pomiaru warunków wewnętrznych i zewnętrznych,
. oprogramowanie specjalne systemu,
. urządzenie badane /pamięć operacyjna lub stała/,
. operatora systemu.

Jest to więc typowy system maszyna-człowiek. Pierwszą podstawową cechą systemu powinna być taka jego organizacja i działanie, aby człowiek był w maksymalnym stopniu odciążony od wykonywania czynności monotonnych, powtarzalnych i innych, stwarzających niebezpieczeństwo powstawania omyłek. Do czynności takich zaliczamy w naszym przypadku m.in. dokumentowanie wyników badań i wykonywanie długotrwałych ciągów czynności, jakie występują np. przy określaniu obszarów sprawności badanego urządzenia.

Drugą cechą systemu powinna być jego modułowość i możliwość "przedłużania projektu" /open-ended design/. Innymi słowy, system nie powinien być "zamknięty". W miarę powstawania nowych potrzeb powinno być możliwe dodawanie modułów bądź rozbudowujących jego funkcje, bądź zwiększających wydajność pomiarową systemu. Modułowa budowa powinna cechować zarówno składniki urządzeniowe /hardware/ jak i programowe /software/.

Trzecią cechą systemu powinna być jego uniwersalność. Aczkolwiek cecha ta łączy się z poprzednią, w tym miejscu chodzi o to, by system bez większych zmian nadawał się do badania rozsądnie szerokiego wachlarza typów urządzeń. W tym celu powinno być możliwe badanie pamięci operacyjnych o różnych czasach cyklu, różnych pojemnościach informacyjnych, różnych długościach słowa i różnych sposobach sterowania - bez dokonywania zmian w układach elektronicznych systemu. Jednocześnie dopuszcza się możliwość stosowania zmian w programach. W ten sposób ciężar dopasowywania systemu do różnych urządzeń przenosi się na zmiany w oprogramowaniu. Oczywiście oprogramowanie to musi posiadać niezbędną elastyczność, jednakże zbytnia przesada w tym kierunku może powodować nadmierną jego rozbudowę i trudności przy użytkowaniu. Dlatego wydaje się bardziej celowe generowanie oprogramowania dostosowanego do poszczególnych typów urządzeń.

Czwartą cechą systemu powinno być uzyskanie takiej struktury języka zewnętrznego /źródłowego/ systemu, aby użytkownik mógł się nim posługiwać wygodnie, bez konieczności przyuczania się do nowej terminologii. Język ten powinien zapewniać wystarczająco wysoki stopień możliwości prowadzenia "konwersacji" między operatorem a maszyną. Szczególnie istotne jest zwrócenie uwagi na czytelność komunikatów przekazywanych przez maszynę człowiekowi, ponieważ będzie to inżynier a nie programista.

3. Metoda badania pamięci operacyjnych w systemie

Metoda badania, realizowana w omawianym systemie, stanowi skrzyżowanie dwu zasadniczych, dotychczas stosowanych metod sprawdzania pamięci operacyjnych:

- sprawdzania przy pomocy programowanego generatora typu "memory exerciser",
- sprawdzania przy pomocy testów programowych, wykonywanych przez maszynę, której integralną częścią jest badana pamięć operacyjna.

Tworząc metodę opartą o znane i rozpowszechnione metody, będziemy się starali wykorzystać zalety obu metod, unikając, o ile to możliwe, ich wad. Zacznijmy od krótkiej charakterystyki obu metod.

3.1. Badania pamięci operacyjnych przy pomocy testera

Badania przeprowadzane przy pomocy testera typu "memory exerciser" charakteryzują się przede wszystkim ograniczonym zasobem testów. Przyrządy tego typu pozwalają z reguły na zapis JEDYNEK, zapis ZER, zapis TESTU NAJTRUDNIEJSZEGO /worst case pattern/ i jego dopełnienia. Ponieważ różne sposoby prowadzenia przewodu odczytu wymagają różnych postaci testu najtrudniejszego, każdy dobry tester musi się charakteryzować odpowiednio bogatym ich repertuarem. Jak wiadomo, testy takie wykazują dość dużą symetrię. Dlatego układowa generacja odpowiednich ciągów zer i jedynek, tworzących wymagany TEST NAJTRUDNIEJSZY, nie nastręcza więk-

szych trudności i z reguły jest rozwiązana w firmowych urządzeniach w sposób zadowalający. Ograniczenie zatem, o którym była mowa wyżej, nie polega na niewystarczającej różnorodności struktur testów. Chodzi o to, że generator typu "memory exerciser" nie daje z reguły możliwości łatwego operowania testami, traktowanymi jako pewna całość. Wynika to w zupełnie oczywisty sposób z faktu, że wszelkie "programowanie" generatora osiąga się na drodze układowej.

Na ogół tester może w sposób automatyczny wykonywać jedną z następujących czynności:

- zapisywać dowolny test, z repertuaru dostępnych, do wszystkich miejsc pamięciowych,
- odczytywać zawartość wszystkich miejsc pamięciowych, sprawdzając czy jest ona zgodna z zawartością wprowadzoną do nich w czasie zapisu,
- odczytywać zawartość wszystkich miejsc pamięciowych, nie sprawdzając poprawności przechowywania /tzw. "ignore errors"/,
- odczytywać zawartość kolejnych miejsc pamięciowych, sprawdzając poprawność przechowywania, a w przypadku zgodności wpisywać do każdego miejsca pamięciowego negację /dopełnienie/ poprzedniej zawartości; ponadto w przypadku stwierdzenia przekłamania - zatrzymywać proces sprawdzania pamięci,
- dokonywać operacji zapisu względnie odczytu z jednego, dowolnie wybranego miejsca, określonego przez rejestr złożony z przełączników dwustabilnych /jest to operacja techniczna, pozwalająca na wygodne oglądanie przebiegów na oscyloskopie/.

Niektóre, bardziej rozbudowane testery mają jeszcze możliwość ignorowania przekłamań pochodzących z pewnego zakresu miejsc pamięciowych. Granice obszaru ignorowania są ustawiane przy pomocy dwóch zespołów przełączników. Ponadto wprowadza się czasem wyposażenie umożliwiające ignorowanie błędów pochodzących z pewnych wybranych bitów /płaszczyzn bitowych/.

Każdy z wymienionych rodzajów pracy daje się nastawiać ręcznie, a zmianę rodzaju pracy uzyskuje się przez manipulacje odpowiednimi przełącznikami. Niemożliwe jest natomiast automatyczne realizowanie bardziej rozbudowanych sekwencji, polegających na przykład na przeplataniu wykonywania zapisów i odczytów ZER i JEDYNEK wykonywaniem TESTÓW NAJTRUDNIEJSZYCH, względnie na wprowadzaniu przerw w wykonywanie TESTU NAJTRUDNIEJSZEGO i wykorzystywania ich do długotrwałego /rzędu setek milisekund/ wykonywania mikrooperacji pamięciowej tylko w odniesieniu do jednego miejsca pamięciowego, przy czym w każdym cyklu sprawdzania adres tego wybranego, termicznie obciążanego miejsca pamięciowego ulegałby zmianie.

3.2. Celowość rozbudowy funkcji testera

Może się wydawać, że omawiane mankamenty dadzą się łatwo usunąć przez odpowiednią rozbudowę testera. Otóż stwierdzenie takie jest tylko w połowie prawdziwe. Zmiany uzupełniające funkcje testera rzeczywiście można wprowadzić, jednak odbiłoby się to na znacznej komplikacji układu. Wszelako większa trudność zawiera się w tym, że o ile podstawowe rodzaje pracy testera, o których była mowa na początku, mają już ugruntowaną pozycję i można je nazwać uniwersalnymi, o tyle inne, bardziej złożone, mogą znajdować znacznie węższe zastosowanie. Na przykład test zwiększający obciążenia termiczne może mieć znaczenie przede wszystkim przy sprawdzaniu pamięci z wybieraniem liniowym, w której stosuje się elementy pasywne ze stratami, jak np. rdzenie z prostokątną pętlą histerezy, z których zbudowany jest bierny przełącznik macierzowy. Obciążenia termiczne, pochodzące od wielokrotnego wybierania jednego słowa, mogą powodować znaczne zmiany obszaru sprawności, na skutek zmienionych przez podwyższenie temperatury właściwości magnetycznych rdzenia. Oczywiście, nawet w pamięciach, w których wystąpienia takich efektów nie należy się spodziewać, jest wskazane sprawdzenie, czy rzeczywiście skutki obciążeń termicznych są pomijalne. Wszelako, jeżeli możliwość wykonania takiej, w zasadzie jednorazowej próby ma być okupiona znaczną komplikacją testera i większą jego oceną, sprawa przestaje się opłacać.

Tak też w istocie podchodzi się do tego zagadnienia, bowiem nie znane są na rynku urządzenia typu "memory exerciser", które by umożliwiały prowadzenie badań z uwzględnieniem obciążenia termicznego.

Nie ma w tym zresztą nic dziwnego, bowiem mamy tu do czynienia tylko z "ad hoc" utworzonym przykładem. Zasadą konstrukcyjną testerów jest ich programowanie na drodze układowej, możliwość wykonywania złożonych makrosekwencji testów kosztowałaby bardzo drogo. Dlatego też, jeśli chodzi o tę kwestię, należy zrezygnować z programowania układowego, a wykorzystać w pełni zasadę stosowania programu przechowywanego w pamięci testera.

W takim przypadku tester przekształci się w istocie rzeczy w małą maszynę cyfrową. Nasuwa się więc pytanie, czy nie lepiej w tym celu zastosować zwykłą maszynę cyfrową, wyposażając ją ewentualnie w pewne przystawki.

Na pierwszy rzut oka wydaje się, że stosowanie maszyny cyfrowej do badania pamięci jest absolutnie nieekonomiczne. Nie należy jednak zapominać o dwu sprawach. Po pierwsze, że stosowanie maszyny może mieć miejsce tylko przy pewnych, wybranych badaniach pamięci, przy których nawet duży koszt czasu maszyny nie stanowi większego problemu wobec podstawowej wagi przeprowadzanych badań. Po drugie, zastosowanie maszyny z wielodostępem od razu zdecydowanie poprawia wskaźniki ekonomiczne.

W tym miejscu, aby zakończyć omawianie badań pamięci prowadzonych przy pomocy testera pamięciowego typu "memory exerciser", musimy stwierdzić, że bardzo ważną cechą takich badań jest możliwość łatwego zmieniania parametrów czasowo-napięciowych impulsów sterujących, adresowych i informacyjnych. Równocześnie jednak należy podkreślić, że cecha ta jest w zasadzie ważna wtedy, gdy przy pomocy tego samego testera mają być badane różne typy pamięci, na przykład różniące się znacznie czasami cyklu. Jeśli bowiem chodzi o badania pamięci tego samego typu, to znaczenie może mieć najwyżej możliwość łatwej zmiany częstotliwości powtarzania /czasu cyklu pamięciowego/ w niewielkim zakresie rzędu kilkunastu procent w stosunku do wartości nominalnej cyklu. By-

wa to przydatne do badań marginesowych pamięci polegających na obserwacji zmian obszaru jej sprawności w funkcji czasu cyklu.

3.3. Badanie pamięci operacyjnych przy pomocy testów programowych

Badania pamięci operacyjnych przy pomocy testów programowych stosuje się powszechnie w dwóch przypadkach:

- do wykonywania testów diagnostycznych wykrywających przekłamania, względnie testów diagnostycznych lokalizujących przekłamania pamięci zainstalowanej w normalnie eksploatowanej maszynie,
- do badania prototypu pamięci w trakcie badań eksploatacyjnych pamięci, względnie całego systemu.

W takim przypadku prócz badania pamięci za pomocą typowych, czy specjalnie do tego celu opracowanych testów programowych poddaje się ją zazwyczaj badaniu polegającemu na wykonaniu tzw. zadań kontrolnych. Są to pewne problemy obliczeniowe, dowolne, bądź opracowane pod kątem wykorzystywania wszystkich operacji maszyny, bądź stwarzające specjalne obciążenia wybranych układów. Oczywiście, przy pomocy takich zadań badana jest przede wszystkim maszyna cyfrowa, a nie sama pamięć operacyjna. Tym niemniej złe funkcjonowanie pamięci operacyjnej w większości przypadków uwidoczni się w postaci niepoprawnych wyników zadania kontrolnego. Mogą wówczas wystąpić pewne trudności z wyodrębnieniem spośród wszystkich błędów tych, za które winę ponosi pamięć. Trzeba jednak podkreślić, że wyniki takich badań przeprowadzanych przy pomocy zadań kontrolnych są najbardziej rzetelne. Jeśli bowiem badania przeprowadza się przy pomocy "sztucznie" skonstruowanych testów, zawsze zachodzi taka możliwość, że konstruktor testu nie przewidzi najtrudniejszych kombinacji. Kombinacje takie mogą natomiast wyniknąć przy wykonywaniu zadania kontrolnego szczególnie wówczas, gdy operandami są liczby losowe.

Podstawową zaletą badań przy pomocy testów programowych jest praktycznie całkowita swoboda w doborze struktury testów i w tworzeniu ich

makrosekwencji. Możliwości tej brakowało przy badaniach prowadzonych za pomocą testerów. Należy jednak nadmienić, że ta zaleta może być w pełni wykorzystana tylko wtedy, gdy maszyna jest wyposażona co najmniej w dwa niezależne moduły pamięci operacyjnej. W przeciwnym wypadku istnieje poważne ograniczenie, nie pozwalające na dowolną zmianę warunków zewnętrznych badanej pamięci. Każde bowiem przekłamanie w rozkazach tworzących program powoduje tak istotną zmianę w pracy testu, że wyniki przestają mieć jakąkolwiek wartość. Jeśli natomiast maszyna jest wyposażona w dwa niezależne moduły pamięciowe, program testujący umieszcza się w jednym z nich i przy jego pomocy przeprowadza się testowanie drugiego modułu. W tym drugim module można wtedy zmieniać warunki pracy /np. przez zmianę napięć zasilających/, zwiększając prawdopodobieństwo wystąpienia przekłamania. Postępowanie takie ma szczególne znaczenie w badaniach profilaktycznych. Jego wadą jest to, że badana pamięć nie jest sprawdzana z maksymalną częstotliwością. Albowiem wszystkie odwołania do pamięci, potrzebne do pobrania rozkazu z pamięci, są wykonywane w module niesprawdzanym.

Mimo to istnieje możliwość pewnego zwiększenia częstotliwości korzystania z pamięci sprawdzanej. Polega ona na zastosowaniu do sprawdzania takich rozkazów, które w wyniku jednorazowego pobrania rozkazu z pamięci powodują dwa odwołania do pamięci badanej dla pobrania dwóch operandów. Są to operacje dotyczące przesyłania informacji do i z rejestrów akumulatora i mnożnika. Wszelako nawet wykorzystywanie takich operacji nie powoduje pracy badanego modułu pamięciowego z maksymalną częstotliwością.

Inną wadą sprawdzania przy pomocy testów programowych jest ograniczona możliwość dokonywania zmian parametrów czasowo-napięciowych impulsów sterujących, adresowych i informacyjnych. Jednakże, jak to powiedziano w p. 2.2, przy badaniach pamięci jednego typu wada ta nie jest zbyt istotna.

3.4. Przeznaczenie proponowanej metody sprawdzania pamięci operacyjnych

Omawiana tu metoda sprawdzania pamięci operacyjnych jest przeznaczona dla:

. prototypów pamięci operacyjnych,
. serii informacyjnych pamięci operacyjnych,
. serii produkcyjnych pamięci operacyjnych.

Ogólnie formułując, metoda ta winna umożliwiać pełne sprawdzenie wszystkich cech funkcjonalnych badanego urządzenia, także takich, które tradycyjnie są badane dopiero po dołączeniu pamięci do maszyny cyfrowej, z którą ma ona współpracować. Badania te mają zapewnić przyszłego użytkownika pamięci, że posiada ona wszystkie cechy funkcjonalne na poziomie określonych wymagań technicznych, a ponadto dostarczyć konstruktorowi takich informacji o urządzeniu, którymi w trakcie projektowania nie dysponował.

Metoda ta powinna umożliwiać:

. określanie rzeczywistych obszarów sprawności oraz ich dwuwymiarowych przekrojów [2] dla zmian napięć zasilających i położeń impulsów sterujących,

. określanie zmian rzeczywistych obszarów sprawności i wybranych dwuwymiarowych przekrojów tych obszarów pod wpływem czynników mechanoklimatycznych,

. określanie zmian obszarów sprawności w wyniku zmian parametrycznych zachodzących w elementach i podzespołach badanego urządzenia,

. określanie wpływu parametrów podzespołów i zespołów oraz ich rozkładów statystycznych na kształt rzeczywistego obszaru sprawności badanego urządzenia, względnie na wybrane dwuwymiarowe przekroje tych obszarów,

. wykrywanie szkodliwych efektów ubocznych, trudnych do przewidzenia na etapie projektowania pamięci, względnie niemożliwych do wykrycia przy badaniu urządzenia za pomocą testera "memory exerciser".

Pewne typy badań wymienione wyżej mogą być grupowane ze względu na podobną realizację, niezależnie od tego czy wyniki są interesujące dla użytkownika, czy też dla konstruktora pamięci. Ponadto poszczególne grupy badań różnią się istotnie stopniem trudności ich realizacji bądź

ze względu na konieczność opracowania specjalnych programów, bądź ze względu na konieczność zastosowania odpowiednich, czasem dość złożonych, przystawek.

Poszczególne grupy badań wraz z zarysem metodyki odnoszącej się do nich zostaną omówione w dalszych częściach pracy.

4. Metoda badania pamięci stałych w systemie

O ile literatura techniczna dotycząca metod badań pamięci operacyjnych jest stosunkowo uboga, o tyle literatura dotycząca badań pamięci stałych praktycznie nie istnieje. Na pewno jest to związane z faktem, że pamięci stałe mają szersze zastosowanie dopiero w ostatnich latach, w wyniku wielkiej popularności maszyn mikroprogramowanych. Ponieważ jednak dane dotyczące omawianych metod produkcji i badań są publikowane zawsze z pewnym opóźnieniem, można się spodziewać, że artykuły z interesującej nas dziedziny zaczną się dopiero pojawiać.

Inną przyczyną niepopularności tych kwestii jest trudność uzyskania zadowalającego technicznie rozwiązania sprawdzania poprawności informacji zawartej w bloku nośnika informacji, wprowadzanej tam zazwyczaj na stałe w procesie produkcji tego nośnika. W związku z tym można sądzić, że kontrola poprawności informacji zawartej w nośniku pamięci stałej ogranicza się przy wykonywaniu pojedynczych pamięci, względnie niewielkich ich serii, do szczegółowej kontroli międzyoperacyjnej, która może się opierać na ogół o metody badania wizualnego. Po zmontowaniu nośnika i poddaniu kontroli technicznej układów elektronicznych pamięci dokonuje się wyrywkowego lub stuprocentowego sprawdzenia poprawności przechowywania informacji przy pomocy jednej z niżej wymienionych metod.

4.1. Przegląd metod sprawdzania pamięci stałych

W pewnych pracach omówiono następujące metody sprawdzania poprawności informacji:

a. Odczyt zawartości jednego słowa pamięci stałej do rejestru wyposażonego w optyczne wskaźniki stanu i porównanie z informacją odniesienia przez operatora. Operację taką należy wykonać dla wszystkich słów.

b. Odczyt zawartości grupy kolejnych słów z jednej płaszczyzny bitowej i obserwacja impulsów wyjściowych na oscyloskopie z równoczesnym porównaniem z informacją odniesienia. Dla sprawdzenia całej pamięci operator musi powtórzyć tę operację dla wszystkich grup słów wszystkich płaszczyzn bitowych. Ponadto informacja odniesienia musi być odpowiednio przetworzona, co wprawdzie jest czynnością bardzo prostą, jednakże niskokwalifikowanemu operatorowi może nastręczyć pewne trudności.

c. Odczyt zawartości grupy kolejnych słów z jednej płaszczyzny i automatyczne porównywanie jej z informacją odniesienia ustawioną na rejestrze złożonym z kluczy dwustabilnych. Również i ta operacja odczytu musi być powtórzona przez operatora dla wszystkich grup słów wszystkich płaszczyzn bitowych.

Wspólną cechą metod a, b i c jest obecność operatora w procesie sprawdzania, co stwarza znaczne prawdopodobieństwo omyłek i wydłuża czas badań. Czas badań jest szczególnie długi, np. przy określaniu obszaru sprawności pamięci stałej, ze względu na konieczność wielokrotnego powtarzania poszczególnych czynności.

Wad tych nie posiadają lub są nimi obarczone w mniejszym stopniu metody d, e, f, omówione niżej. Wymagają one jednak znacznej rozbudowy przyrządu sprawdzającego. W metodach tych idzie o:

d. Wyposażenie przyrządu służącego do sprawdzenia pamięci stałej w czytnik taśmy papierowej, na którym zapisywane są informacje odniesienia. Informację odczytywaną z pamięci stałej porównuje się z informacją odczytywaną z taśmy perforowanej.

e. Wyposażenie przyrządu sprawdzającego w pamięć stałą, do której wprowadzono informację odniesienia. Sprawdzenia poprawności informacji zawartej w badanej pamięci dokonuje się przez synchro-

niczny odczyt i porównanie informacji pochodzących z obu pamięci.

f. Wyposażenie przyrządu sprawdzającego w pamięć operacyjną, do której wprowadzono informację odniesienia. Sprawdzenie poprawności informacji pamięci badanej następuje przez odczyt i porównanie informacji pochodzących z obu pamięci.

Nie wnikając w szczegółowe omówienie wad i zalet przedstawionych tu metod, podamy na zakończenie inną metodę, będącą pewnym kompromisem między referowanymi tutaj metodami, której stosowanie przewiduje się w omawianym systemie pomiarowym.

Jest ona pochodną metod d oraz f i polega na dołączeniu badanej pamięci stałej do maszyny cyfrowej jako /lub zamiast/ jednego z modułów pamięci operacyjnej, względnie jako urządzenia wejściowego. Połączenie uzyskuje się za pomocą stosunkowo prostych układów przejściowych. Do przechowywania informacji wzorcowej wykorzystuje się pamięć operacyjną maszyny cyfrowej; do wprowadzenia informacji wzorcowej - czytnik taśmy maszyny, a do porównania informacji - arytmometr.

4.2. Przeznaczenie proponowanej metody sprawdzania pamięci stałych

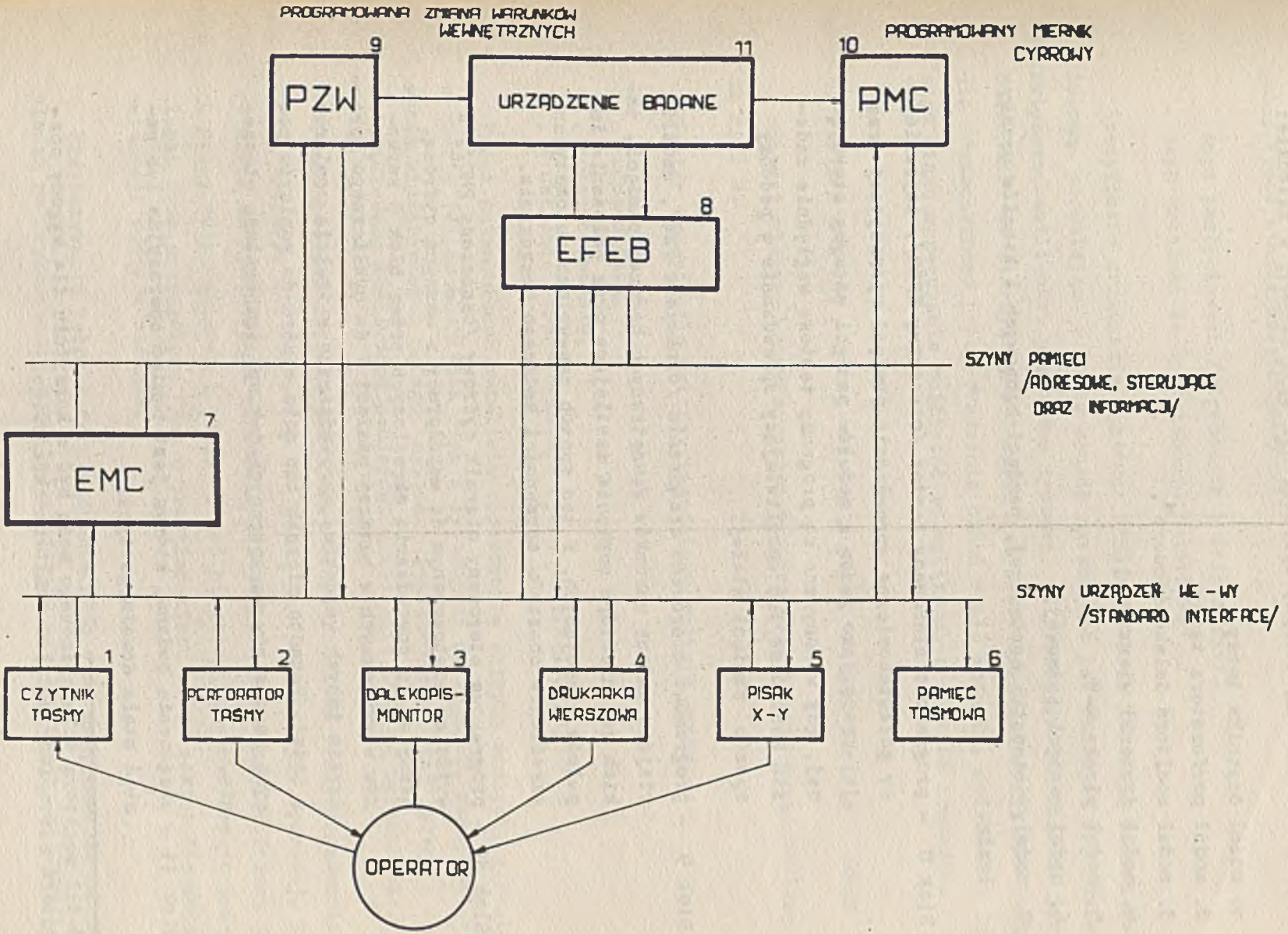
Metoda sprawdzania pamięci stałych w omawianym systemie jest przeznaczona dla:

- prototypów pamięci stałych,
- serii informacyjnych pamięci stałych,
- serii produkcyjnych pamięci stałych.

Metoda ta powinna umożliwiać przeprowadzanie badań technicznych i funkcjonalnych pamięci stałych, analogicznych do omówionych w p. 2.4. problemów pamięci operacyjnych.

5. Struktura systemu

Schemat strukturalny części urządzeniowej systemu pomiarowego przedstawiono na rys. 1



Rys.1. Struktura systemu pomiarowego

Bloki 1-7 stanowią maszynę cyfrową, np. typu ZAM-41, w składzie:

1. moduł czytnika taśmy,
2. moduł perforatora taśmy,
3. moduł monitora dalekopisowego*,
4. moduł drukarki wierszowej,
5. moduł pisaka X-Y,
6. moduł pamięci taśmowej,
7. moduły jednostki centralnej, pamięci bębnowych i kanałów przesyłania.

Blok 8 - programowo sterowany tester /oznaczony EFEB/, zapewniający półautonomiczne sprawdzanie pamięci operacyjnej oraz jej pracę jako jeden z modułów pamięci maszyny sterującej, gdy wykonywane są programy testowe względnie zadania kontrolne, lub umożliwiający sprawdzanie w podobny sposób pamięci stałej.

Blok 9 - programowo sterowane urządzenie /oznaczone PZW/, umożliwiające zmianę warunków wewnętrznych badanej pamięci, takich jak niektóre napięcia zasilające oraz położenia impulsów sterujących. W ten sposób zapewniono automatyczne określanie obszarów sprawności badanego urządzenia.

Blok 10 - programowo sterowany miernik cyfrowy /oznaczony PMC/, z wyjściem dostosowanym do współpracy z maszyną cyfrową. Służy on do sprawdzania określonych przez blok 9 warunków wewnętrznych w badanej pamięci i do cyklicznego sprawdzania innych warunków wprowadzanych w trakcie pomiarów i badań. Ponadto miernik ten może służyć do pomiarów pewnych parametrów zewnętrznych, jak np. temperatura otoczenia.

Blok 11 - urządzenie badane, którym jest pamięć operacyjna lub pamięć stała dowolnego typu.

---

* Moduł monitora dalekopisowego może być z korzyścią dla wygody operatora zastąpiony modułem monitora ekranowego.

Wszystkie urządzenia systemu komunikują się wzajemnie za pomocą dwóch typów standardowych połączeń:

. szyn pamięciowych /adresowych i informacji/,
. szyn urządzeń We-Wy /standard interface/.

Specyficzne urządzenia systemu: EFEB, PZW oraz PMC mają budowę modułową pozwalającą w łatwy sposób rozszerzać ich funkcje, względnie zwiększać możliwości pomiarowe systemu. W szczególności możliwe jest dołączenie do sterującej EMC kilku kompletów urządzeń EFEB, PZW i PMC dla równoczesnego przeprowadzania badań wielu modułów. Jednakże w dalszym ciągu opracowania możliwość tę wyłączymy z naszych rozważań.

5.1. Struktura i funkcje testera EFEB

Schemat blokowy programowanego testera EFEB został przedstawiony na rys. 2.

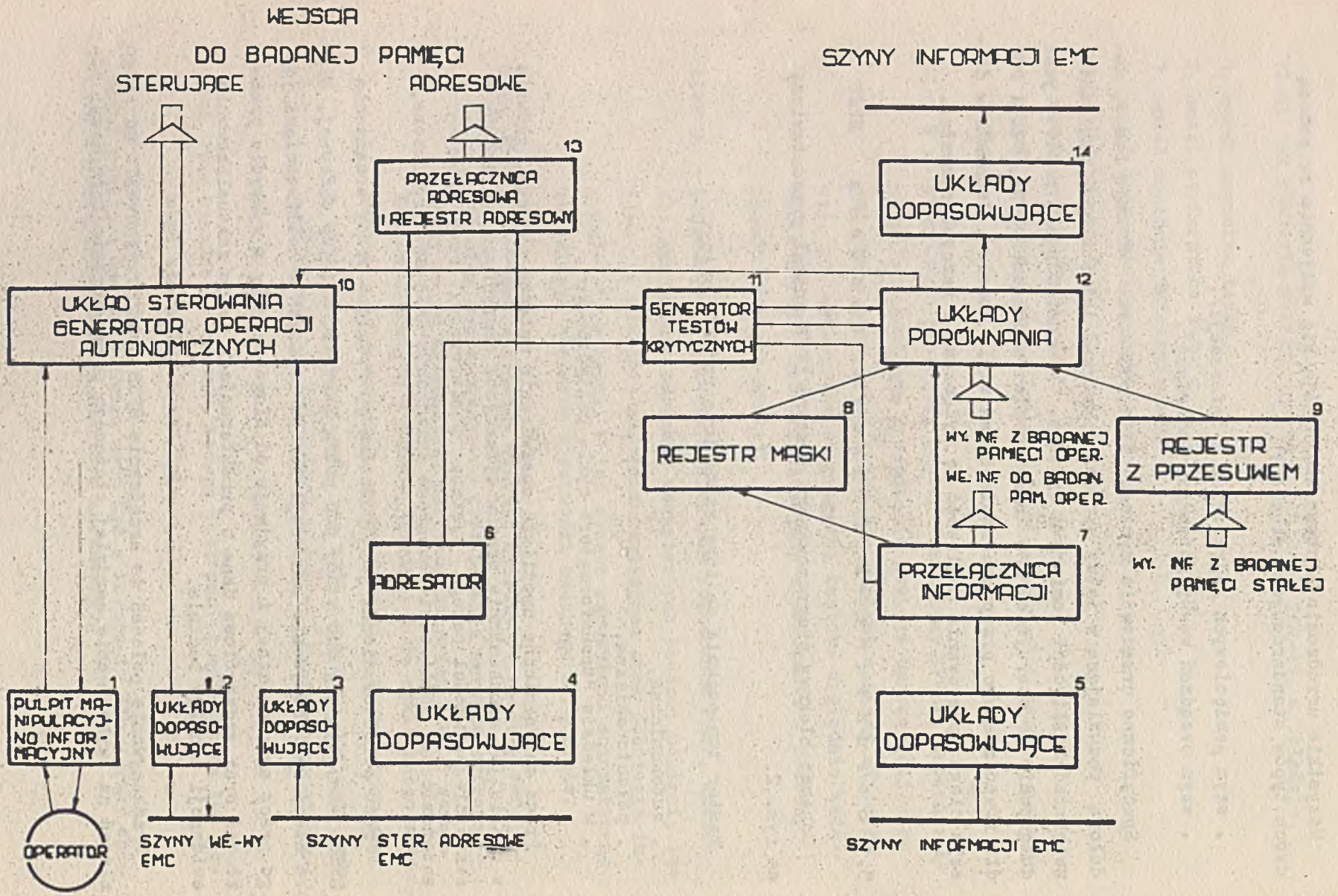
Tester ten pozwala na trzy zasadnicze rodzaje pracy:

. autonomiczną,
. półautonomiczną,
. w układzie "transformatora cyklu pamięciowego".

Praca autonomiczna umożliwia sprawdzenie wstępne pamięci, głównie w czasie jej uruchamiania oraz w sytuacjach awaryjnych, względnie w razie niesprawności całego systemu pomiarowego. Przy pracy autonomicznej możliwości pomiarowe urządzenia EFEB są ograniczone,

Praca półautonomiczna jest podstawowym rodzajem pracy urządzenia EFEB. Znajduje się ono wtedy pod pełną kontrolą maszyny cyfrowej, która zleca mu wykonywanie sekwencji testów leżących w możliwościach jego pracy autonomicznej i przyjmuje od niego sygnały o wykryciu przekłamań oraz szczegółowe dane o przekłamaniach celem zaktualizowania ewidencji wyników badania.

Przekazywanie poleceń do urządzenia EFEB oraz przyjmowanie od niego zleceń na wykonywanie bardziej złożonego przetwarzania informacji od-



Rys. 2. Struktura testera /EFEB/

bywa się za pośrednictwem szyn We-Wy. Z tego punktu widzenia urządzenie EFEB jest podobne do typowego urządzenia peryferyjnego maszyny cyfrowej. Natomiast przekazywanie większych masywów informacji następuje za pośrednictwem szyn pamięci.

Praca w układzie "transformatora cyklu pamięciowego" występuje przy badaniu pamięci operacyjnej za pomocą testów kontrolnych, względnie przy wykonywaniu zadań kontrolnych wykorzystujących badaną pamięć /operacyjną lub stałą/.

W czasie przeprowadzania takich badań istnieje możliwość uzyskania warunków symulujących naturalne parametry pracy urządzenia badanego. Odbywa się to przez "wplecenie" między odwołania się do pamięci badanej dodatkowych cykli pamięciowych, pochodzących z generatora operacji autonomicznych /stanowiącego część testera EFEB/. Powoduje to m.in. zwiększenie obciążeń termicznych, gdyż badana pamięć pracuje z własnym cyklem nominalnym, który może być znacznie krótszy od cyklu pamięciowego EMC sterującej.

Obecnie przejdziemy do krótkiego omówienia funkcji układów testera EFEB, wyróżnionych na rys. 2 w postaci oddzielnych bloków.

Pulpit manipulacyjno-informacyjny /blok 1/ przeznaczony jest do sterowania pracą testera EFEB przy pracy autonomicznej. Przy pracy półautonomicznej spełnia on rolę analogiczną do pulpitu typowego urządzenia peryferyjnego maszyny cyfrowej.

Układy przejściowe oznaczone są numerami 2, 3, 4, 5 i 14. Ich zadaniem jest dopasowywanie standardowych parametrów elektrycznych układów logicznych realizowanych inaczej w sterującej EMC i inaczej w systemie pomiarowym.

Układy adresowe składają się z adresatora /blok 6/ i przełącznicy /blok 13/. Adresatorem jest licznik binarny umożliwiający autonomiczne wybieranie adresów badanego urządzenia. Przy pracy półautonomicznej stan początkowy licznika może być ustalony przez maszynę cyfrową. Umożliwia to "wyrywkowe" adresowanie użyteczne np. przy sprawdzaniu grup miejsc adresowych. Długość licznika adresatora wynosi 6 ogniw, co

umożliwia sprawdzanie grup obejmujących 64 słowa pamięciowe. Wyższe pozycje adresu są określane przez zawartość rejestru adresowego mieszczącego się w bloku 13. Przy pracy półautonomicznej i przy wykonywaniu testów lub zadań kontrolnych rejestr ten jest ładowany przez EMC sterującą.

Przełącznica adresowa zapewnia dołączanie odpowiednich wejść adresowych badanego urządzenia do adresatora, względnie łączenie ich z szynami adresowymi EMC sterującej w zależności od rodzaju pracy urządzenia EFEB.

Układami informacji są bloki oznaczone liczbami 7, 8, 9 i 12.

Przełącznica informacji /blok 7/ spełnia następujące funkcje:

- przy pracy EFEB w układzie transformatora cyklu kieruje informacje z szyn EMC sterującej na wejścia pamięci badanej,
- przy pracy półautonomicznej kieruje informacje z EMC sterującej do rejestru maski, względnie do układów porównania. Rejestr maski /blok 8/ umożliwia ignorowanie przekłamań występujących na dowolnych płaszczyznach bitowych. Przy pracy półautonomicznej funkcję tę wykonuje EMC, przy pracy autonomicznej - operator.
- przy pracy autonomicznej służy do wpisywania testu krytycznego do urządzenia badanego. W tym przypadku do wszystkich płaszczyzn bitowych wpisywana jest dla danego adresu jednakowa informacja.

Rejestr przesuwowy /blok 9/ służy do sprawdzania pamięci stałej. Stosowana tutaj metoda polega na sekwencyjnym odczycie kolejnych słów z wybranej płaszczyzny bitowej, a następnie przekazaniu odczytanej informacji do EMC sterującej, gdzie zostaje ona porównana z informacją wzorcową, lub do układów porównujących urządzenia EFEB.

Układy porównujące /blok 12/ umożliwiają między innymi:

- porównywanie informacji odczytywanej z badanej pamięci operacyjnej z informacją produkowaną przez generator testów krytycznych,

. porównywanie informacji odczytywanej z badanej pamięci /operacyjnej lub stałej/ z informacją wprowadzaną do układów porównania z EMC sterującej. Informacja odczytywana przy badaniu pamięci stałej może być wprowadzana do układów przez rejestr przesuwowy lub bezpośrednio,

. przesyłanie informacji z badanej pamięci operacyjnej lub stałej do EMC sterującej, z ewentualnym maskowaniem wybranych bitów. Ta możliwość pracy układów porównania wykorzystywana jest przy pracy EFEB jako transformator cyklu pamięciowego - w czasie wykonywania testów lub zadań kontrolnych przez EMC sterującą.

Generator testów krytycznych /blok 11/ służy do produkowania ciągu impulsów synchronicznego z ciągiem adresów wytwarzanych przez adresator i zapisywanego do badanej pamięci operacyjnej w trakcie mikrooperacji pamięciowych. W czasie mikrooperacji odczytu informacja pochodząca z generatora jest informacją wzorcową.

Układ sterowania i generator operacji autonomicznych /blok 10/ kieruje działaniem omówionych wyżej bloków testera EFEB, w szczególności kieruje wewnętrznym przesyłaniem informacji, sygnalizuje przekłamania, wysyła zgłoszenia przerwania programu do EMC sterującej, przyjmuje od EMC zlecenia na wykonywanie testów leżących w ramach możliwości testera.

Funkcjonowanie układu sterowania przy pracy półautonomicznej i autonomicznej jest podobne. W pierwszym przypadku odbywa się ono pod nadzorem operatora posługującego się w tym celu pulpitem manipulacyjno-informacyjnym, w drugim - EMC sterującej, której praca jest nadrzędnie sterowana i obserwowana przez operatora, komunikującego się z nią w języku źródłowym systemu.

Generator operacji autonomicznych jest wykorzystywany do wytwarzania sygnałów mikrooperacji pamięciowych, "wypełniających czas" dodatkowymi cyklami pamięciowymi między odwołaniami do pamięci badanej EMC sterującej w czasie wykonywania przez nią testów lub zadań kontrolnych.

Uwaga: Na rys. 2 dla zwiększenia czytelności nie pokazano połączeń układu sterowania z innymi blokami, ponieważ praktycznie

łączy się on z każdym z pozostałych bloków. Połączenia uwidocznione na rysunku stanowią więc tylko drogi przesyłania informacji.

5.2. Struktura i funkcje urządzenia PZW

Schemat struktury urządzenia do programowanej zmiany warunków wewnętrznych /PZW/ badanej pamięci został przedstawiony na rys. 3.

Urządzenie to służy do zmiany, pod kontrolą sterującej EMC, pewnych wybranych napięć zasilających /np. określających amplitudy prądów przełączających rdzenie w badanej pamięci/ oraz pewnych istotnych parametrów impulsów sterujących. Chodzi tutaj o położenie i szerokość impulsów strobujących sygnał odczytu w badanej pamięci. Funkcje poszczególnych blcków PZW są następujące:

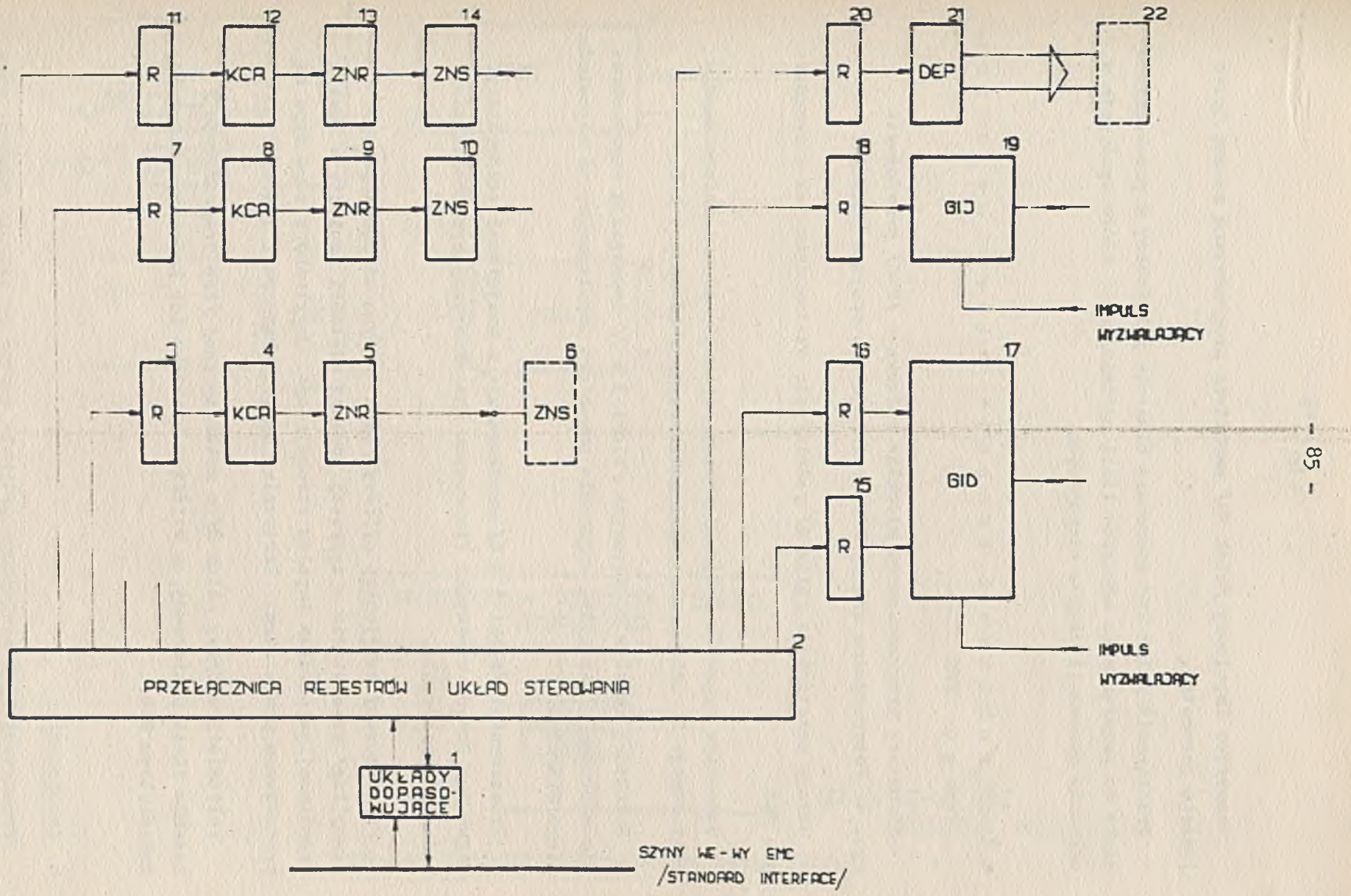
Układy przejściowe /blok 1/ dopasowują różne techniki realizacyjne PZW i EMC sterującej.

Przełącznica rejestrów i układ sterowania /blok 2/ zapewniają skierowanie informacji określającej wielkość regulowanego parametru do rejestru o adresie wskazanym przez maszynę. Układ sterowania przesyła też sygnał gotowości urządzenia do współpracy z maszyną cyfrową, względnie niegotowości przy stanach awaryjnych, ewentualnie na interwencję operatora.

Rejestry /bloki 3, 7, 11, 15, 16, 18 i 20/ służą do określania wartości jaką regulowany parametr ma przyjmować.

Konwertory cyfrowo-analogowe /bloki 4, 8 i 12/ sterują pracą bloków: 5, 9, 13, które są źródłami napięcia odniesienia. Źródła napięcia odniesienia określają z kolei napięcia zasadniczych zasilaczy napięć stabilizowanych, umieszczonych bądź w urządzeniu PZW /np. ZNS 10 i ZNS 14/, bądź też w badanej pamięci/ZNS 6/.

Generator impulsowy /blok 17/ pozwala na programowaną zmianę dwóch parametrów, np. położenia i szerokości impulsu generowanego, przy czym zmiana położenia następuje względem impulsu wyzwalającego, przychodzącego z badanej pamięci. Pozostałe parametry, jak np. czasy narastania zboczy, amplituda i biegunowość są ustawiane ręcznie.



Rys. 3. Struktura urządzenia zmiany warunków /PZW/

Generator impulsowy /blok 19/ umożliwia programowaną zmianę tylko jednego parametru.

Przełącznik /blok 21/ sterowany binarnie /zbudowany z przekaźników/ służy do przełączenia odczepów linii opóźniającej, która występuje w układzie generacji ciągów sterujących.

5.3. Struktura i funkcje miernika cyfrowego PMC

Strukturę programowanego miernika cyfrowego /PMC/ przedstawia rys. 4. Poszczególne układy PMC spełniają następujące funkcje:

Układy przejściowe /blok 1/ pełnią rolę analogiczną jak w urządzeniu PZW.

Generator sygnałów /blok 2/ steruje wybraniem odpowiedniego kanału pomiarowego i ustawieniem skal pomiarowych w blokach 4 i 8.

Selektory kanałów pomiarowych /bloki 3 i 7/ zapewniają doprowadzenie mierzonego napięcia, względnie przebiegu impulsowego, do odpowiedniego miernika.

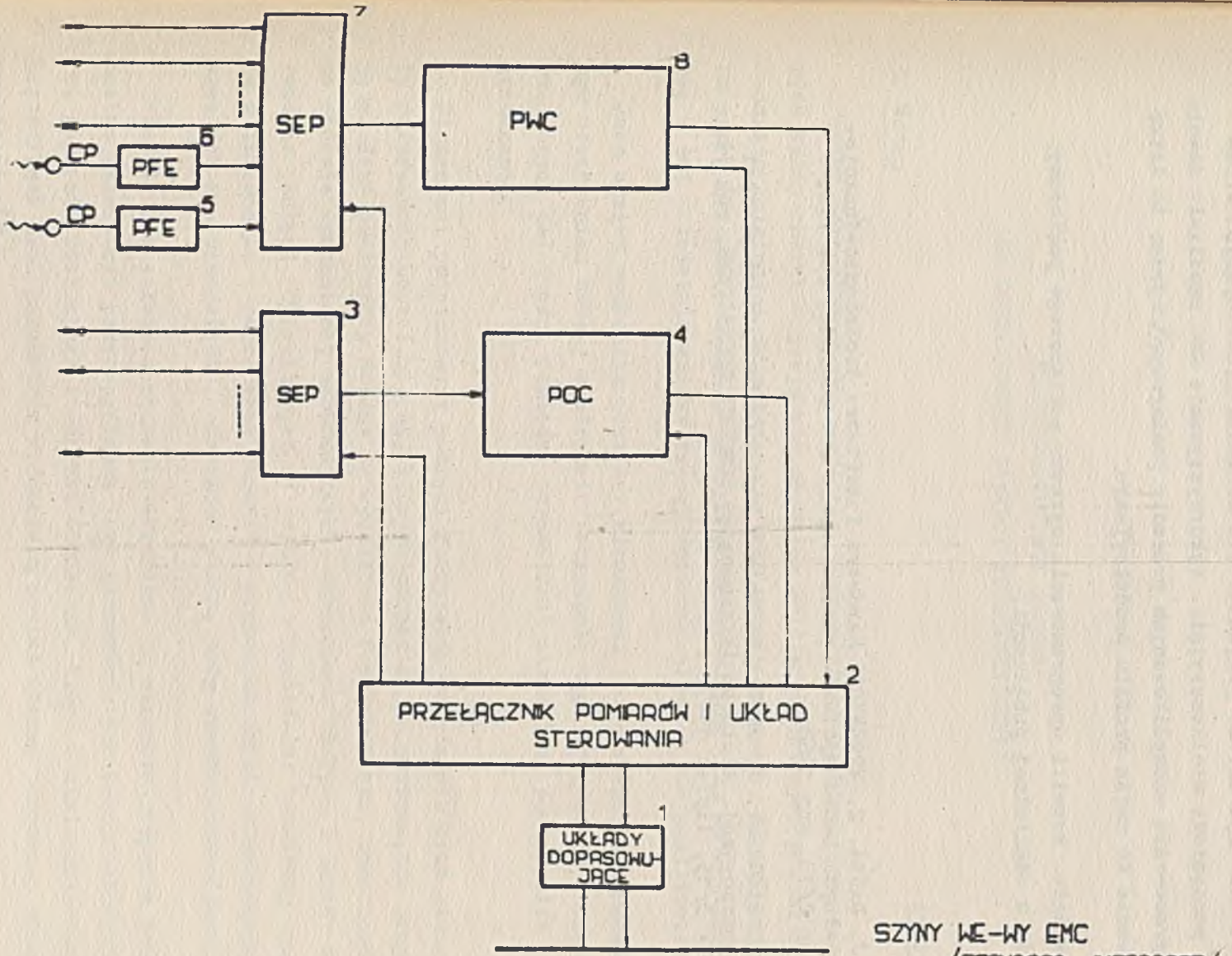
Przetworniki /bloki 5 i 6/ współpracują z czujnikami temperatury, drgań lub innych wielkości fizycznych charakteryzujących otoczenie badanego urządzenia.

Programowany oscyloskop cyfrowy /blok 4/ typu stroboskopowego /sampling/ przedstawia w cyfrowej postaci wartości napięcia w chwili określonej położeniem impulsu strobującego. Oscyloskopy tego typu są produkowane przez firmy: Tektronix, Hewlett-Packard i inne.

Woltomierz cyfrowy /blok 8/ o automatycznej /lub programowanej/ zmianie skali pomiarowej, z wyjściem binarnym lub kodowanym binarnie dziesiętnym BCD.

6. Zakończenie

Przedstawiony w niniejszym artykule system do badania pamięci operacyjnych i stałych stanowi, zdaniem autora, ekonomiczne rozwiązanie



Rys. 4. Struktura miernika cyfrowego /PMC/

problemu prowadzenia szczegółowych badań, interesujących zarówno konstruktora jak i użytkownika. Ponadto wydaje się, że proponowane rozwiązanie może być bardzo przydatne dla zakładów produkujących urządzenia pamięciowe wielkoseryjnie. Wykorzystywanie EMC umożliwia dowolne programowanie skomplikowanych procedur pomiarowych, a przez to łatwe dopasowanie do zmian profilu produkcyjnego.

Omówienie kwestii oprogramowania systemu pomiarowego postaramy się dać w oddzielnej publikacji.

Literatura

[1] J. DAŃDA, Z. WRZESZCZ: Hardware i software techniczno-funkcjonalnych badań systemów pamięciowych. ETO NOWOŚCI, rok VII, nr 2/18, maj 1968.

[2] A. SIKORSKI, J. DAŃDA: Badanie i kontrola ferrytowej pamięci operacyjnej. Biuletyn Informacyjny NOWOŚCI TECHNICZNE, rok VI, nr 3/15, lipiec 1967.

Mgr inż. Jan RYŻKO
Zakład Pamięci Wewnętrznych IMM

621.318.134.642.15:681.327.66

WPŁYW PARAMETRÓW RDZENI NA OBSZAR PRACY PAMIĘCI KOINCYDENCYJNEJ

1. Wstęp

Pamięć ferrytowa zawiera znaczną ilość elementów składowych, z których każdy charakteryzuje się zespołem ściśle określonych parametrów. Jednakże zależności określające w jaki sposób parametry te wpływają na pracę całego urządzenia są trudne do określenią i do dziś stosuje się w tej dziedzinie metody raczej doświadczalne, a nie analityczne.

Jako ogniwo pośrednie pomiędzy elementami podstawowymi a kompletnym urządzeniem możemy wyodrębnić podzespoły tego urządzenia i szukać wzajemnych zależności pomiędzy parametrami elementów, podzespołów i urządzenia.

Elementami podstawowymi pamięci ferrytowej są rdzenie oraz elementy półprzewodnikowe i bierne, których parametry są powszechnie przyjęte. Jako podzespoły możemy tu wyodrębnić ramkę pamięci, poszczególne rodzaje wzmacniaczy wzbudzających, wzmacniacz odczytu i układy sterowania pamięci. Charakteryzować je będą odpowiednio: parametry sygnału i zakłócenia w ramce oraz parametry prądowych impulsów wzbudzających jak np. wzmocnienie, szerokość pasma, próg wzmacniacza odczytu.

Właściwości całego urządzenia określane są zazwyczaj poprzez dopuszczalne tolerancje poszczególnych jego parametrów jak prądy wzbudzające, napięcia zasilające i warunki otoczenia, które w wielowymiarowej przestrzeni tych parametrów wyznaczają pewien obszar poprawnej pracy urządzenia [1].

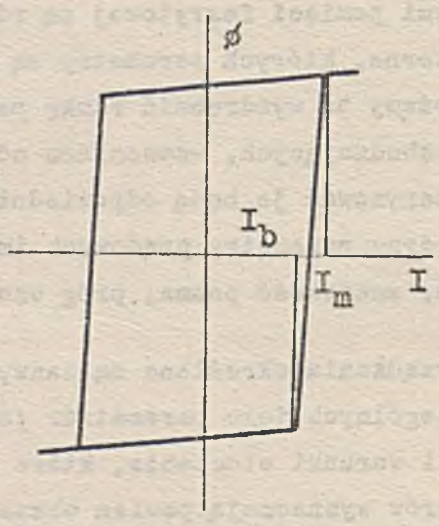
Nie sposób zająć się jednocześnie wpływami wszystkich elementów, toteż w artykule niniejszym omówiony będzie tylko wpływ rdzeni pamięciowych, jako elementów najliczniejszych, a jednocześnie najistotniejszych dla całego urządzenia ze względu na poprawną pracę pamięci. Aczkolwiek zagadnieniu temu poświęcono wiele badań, jak to referowano w pracy [2], to przytoczone tu postępowanie opierać się będzie na eksperymentalnie określonych zależnościach omówionych w literaturze [3].

Parametry i metody pomiarowe stosowane dla rdzeni pamięciowych nie wymagają na ogół wyjaśnień, natomiast obszary pracy pamięci koincydencyjnej, nazywane w literaturze anglosaskiej "shmoo /lub schmoo/ plot" [4.5] nie były obszerniej /poza wzmianką w pracy [6] / omawiane w naszym piśmiennictwie. Dlatego przede wszystkim krótko zreferujemy tę kwestię.

2. Punkt i obszar pracy pamięci koincydencyjnej

2.1. I d e a l n y o b s z a r p r a c y

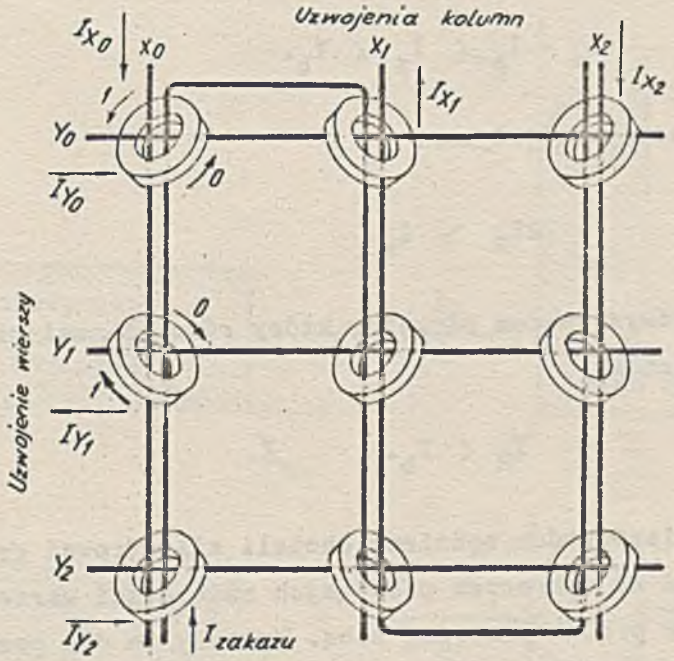
Jeżeli przyjmiemy wyidealizowaną pętlę histerezy rdzenia pamięciowego w postaci równoległoboku /rys. 1/, to widzimy, iż do pełnego przyłączania niezbędny jest prąd I_m, natomiast prąd o amplitudzie mniejszej od I_b nie powinien powodować nieodwracalnych zakłóceń stanu rdzeni.



Rys. 1. Wyidealizowana pętla histerezy rdzenia pamięciowego

Przypomnijmy sobie teraz zasadę pracy ramki pamięci koincydencyjnej /rys. 2/. Zapis informacji odbywa się przy pomocy prądów połówkowych posyłanych do wybranego wiersza i wybranej kolumny zgodnie z oznaczeniem na rys. 2, przy czym dla zapisu zera dodatkowo posyłany jest prąd zakazu uniemożliwiający przemagnesowanie rdzenia wybranego przez prądy zapisu.

Odczyt odbywa się przez posyłanie prądów połówkowych w przeciwnym kierunku, wówczas w przypadku stanu "1" indukuje się na uzwojeniu odczytu sygnał wyjściowy, zaś w przypadku "0" - sygnał zakłócenia.



Rys. 2. Zasada pracy ramki pamięci koincydencyjnej

Z przytoczonych na wstępie wymagań odnośnie prądów wzbudzających rdzenie z prostokątną pętlą histerezy /rys. 1/ oraz z uwzględnienia zasady pracy ramek pamięci koincydencyjnej wynikają następujące ograniczenia na prądy wzbudzające:

. Przy zapisie jedynek:

$$2I_w \geq I_m , \qquad /1/$$

gdzie I_w - jest połówkowym prądem zapisu, który zawsze powinien być mniejszy od prądu granicznego:

$$I_w < I_b . \qquad /2/$$

. Przy zapisie zer:

$$2I_w - I_z \leqslant I_b, \qquad /3/$$

gdzie I_z - jest amplitudą prądu zakazu, która powinna spełniać nierówność:

$$I_m - I_b \leqslant I_z \leqslant I_b. \qquad /4/$$

. Podobnie przy odczycie jedynek:

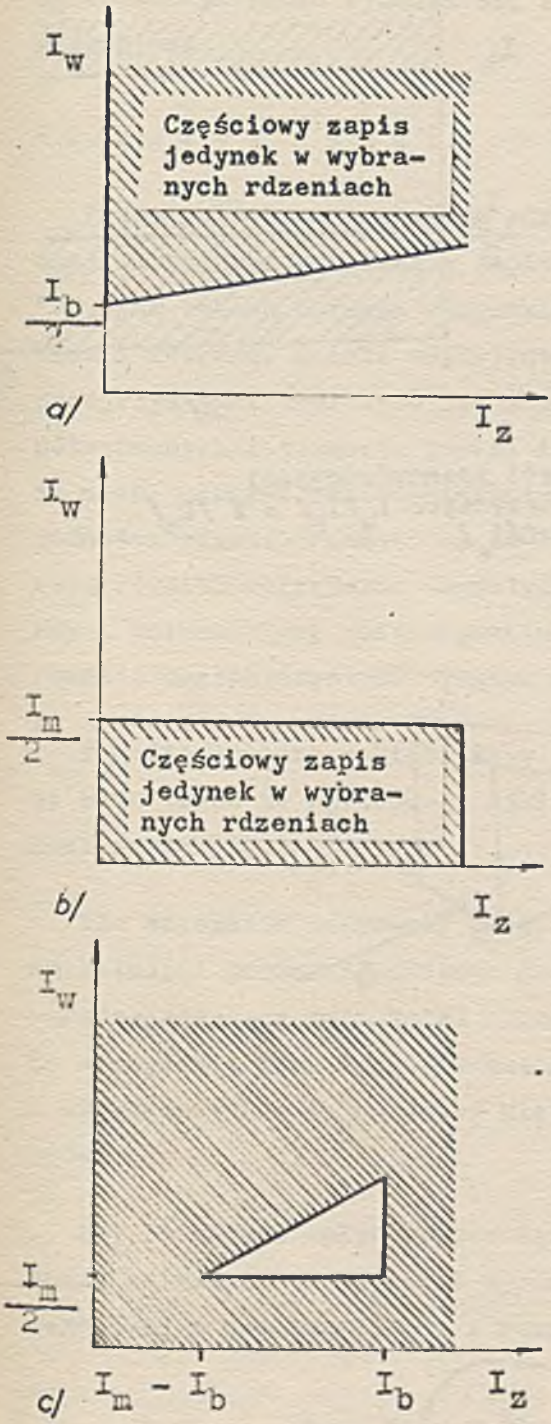
$$2I_R \geqslant I_m, \qquad /5/$$

gdzie I_R jest połówkowym prądem odczytu, który również musi nie przekraczać prądu granicznego

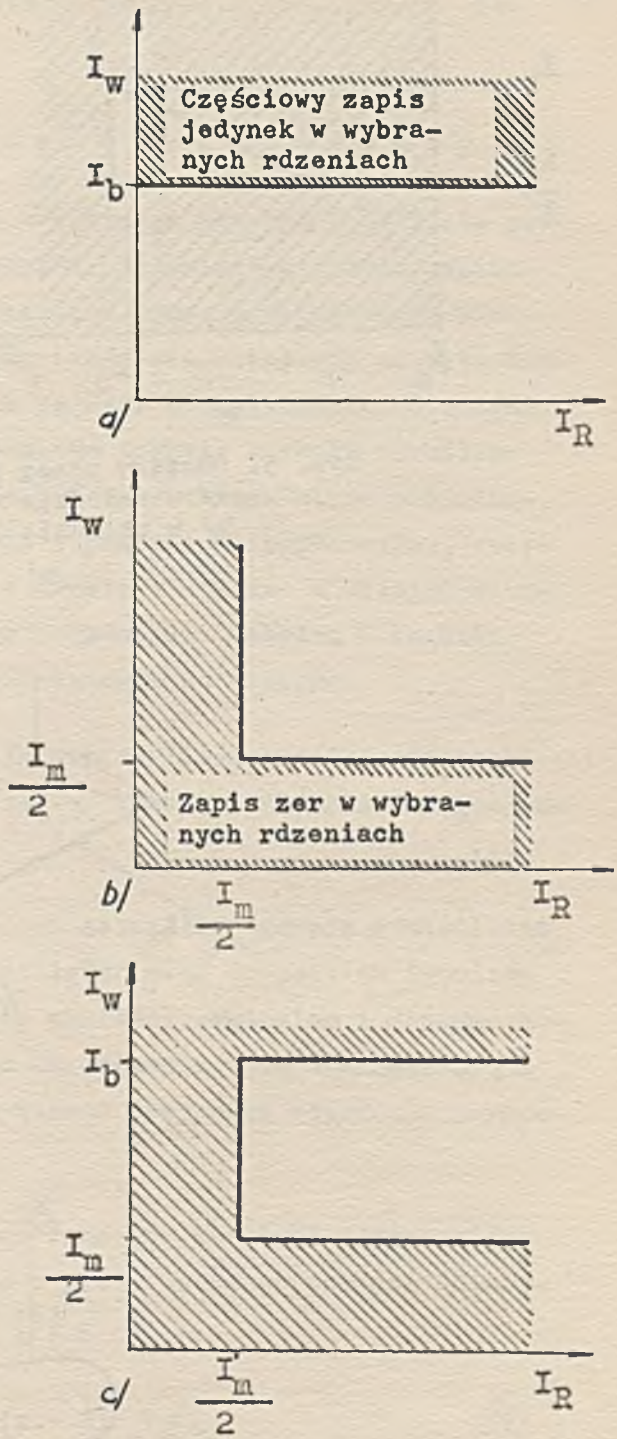
$$I_R < I_b. \qquad /6/$$

Jeżeli powyższe nierówności będziemy chcieli zilustrować graficznie, możemy to zrobić na wykresach podających zależności wartości poszczególnych rodzajów prądów pomiędzy sobą. Wykresy te dla poszczególnych przypadków zostały pokazane na rys. 3, 4 i 5. Natomiast na rys. 6a przedstawiono wypadkowy obszar pamięci koincydencyjnej w przestrzennym układzie współrzędnych wszystkich rozpatrzonych rodzajów prądów.

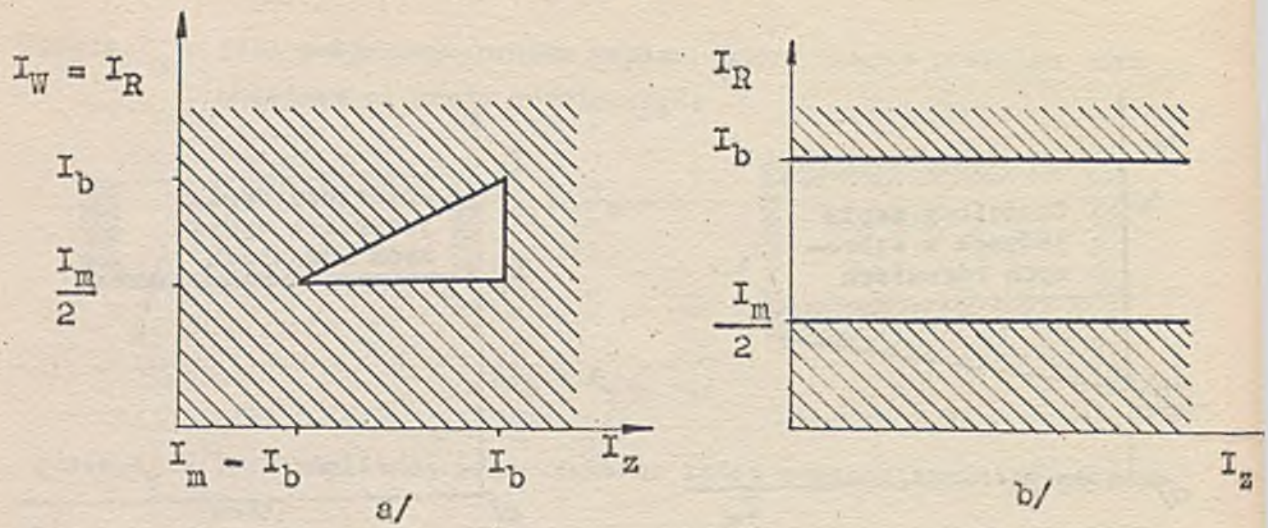
Uwzględnienie wszystkich poprzednio wymienionych zależności w postaci płaszczyzn ograniczających daje w sumie bryłę o kształcie klina, która odpowiada tzw. teoretycznemu obszarowi pracy. W rzeczywistości szereg czynników dodatkowo ogranicza ten teoretyczny obszar pracy i przy zdejmowaniu tego obszaru dla rzeczywistej ramki pamięci koincydencyjnej otrzymuje się przebieg zbliżony do pokazanego na rys. 6b, który przypomina komiczną postać rysowaną przez grafika Al Capp´a i nazywaną shmoo. Czynniki te zostaną omówione poniżej, przy czym na



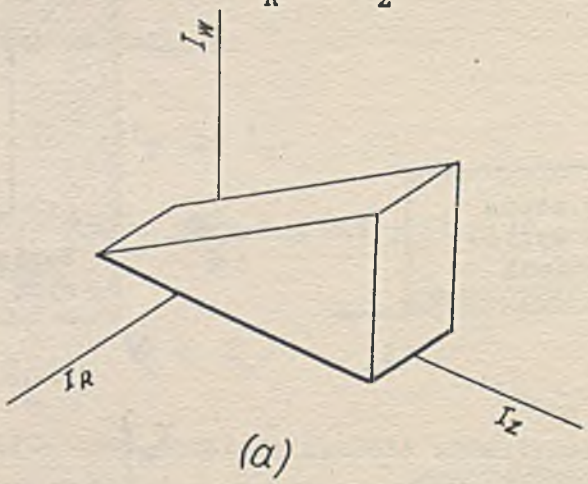
Rys. 3. Obszar poprawnej pracy pamięci koincydencyjnej w układzie współrzędnych $I_w = f/I_z/$, a/ same żera, b/ same jedynki, c/ obszar wypadkowy

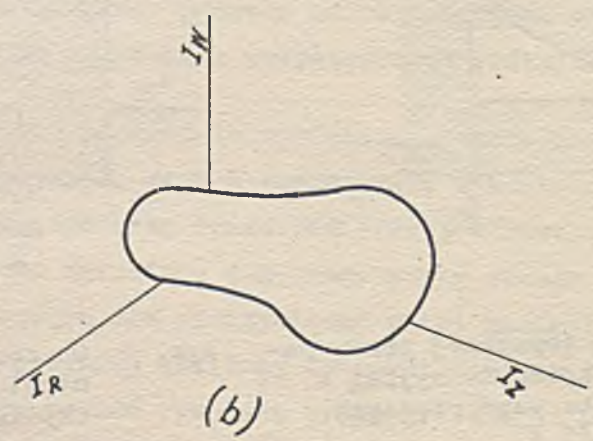


Rys. 4. Obszar poprawnej pracy pamięci koincydencyjnej w układzie współrzędnych $I_w = f/I_R/$, a/ same żera, b/ same jedynki, c/ obszar wypadkowy



Rys. 5. Obszary pracy pamięci koincydencyjnej
a/ w układzie współrzędnych $I_W/I_R/ = f/I_z/$.
b/ w układzie $I_R = f/I_z/$





Rys. 6. Wypadkowy obszar pracy
a/ teoretyczny, b/ rzeczywisty /shmoo/

czoło zdecydowanie wysunie się kwestia ograniczeń spowodowanych zakłóceniami.

2.2. Wpływ zakłóceń na obszar pracy

Prądy połówkowe naruszają rdzenie w wybranym wierszu i kolumnie podczas odczytu oraz w czasie zapisu jedynki. Natomiast w czasie zapisu "0" prąd zakazu narusza wszystkie rdzenie w ramce poza wybranym wierszem i kolumną. Dzięki odpowiedniemu prowadzeniu uzwojenia odczytu /dla przejrzystości pominięto to uzwojenie na rys. 2/ zakłócenia od rdzeni półwybranych znoszą się parami i wypadkowe sygnały z ramki określane są m.in. poprzez zakłócenie różnicowe [2] stanowiące miarę niejednorodności rdzeni. Ponadto na zakłócenia w pamięci koincydencyjnej wpływają również sprzężenia magnetyczne i elektrostatyczne z uzwojeń wierszy i kolumn. Przy rozpatrywaniu tego zagadnienia wchodzą w rachubę również charakterystyki dyskryminacji wzmacniacza odczytu.

Ponadto znaczne zakłócenie w czasie zapisu /którego stan nieustalony może trwać do następnego cyklu odczytu/ wnosi sprzężenie uzwojeń zakazu i odczytu.

Dla uzyskania poprawnej pracy pamięci należy krytycznie kontrolować amplitudy i parametry czasowe /częstotliwościowe/ wszystkich impulsów wzbudzających. A to z kolei znaczy, że wartości nominalne i dopuszczalne odchylenia tych impulsów muszą być określone z dużą dokładnością i z uwzględnieniem najbardziej niekorzystnego przypadku rozrzutów parametrów.

Aby rozróżnić wpływy poszczególnych rodzajów zakłóceń przypomnijmy znaną zależność na napięcie wyjściowe z płatu bitowego pamięci koincydencyjnej o pojemności n x n rdzeni [7] :

$$V_{wyj} = V_s - 2V_{hs} \pm (n - 2)\ V_\delta , \qquad /7/$$

gdzie

V_s - jest sygnałem z wybranego rdzenia,

V_{hs} - tzw. zakłóceniem połówkowym, to znaczy sygnałem indukowanym przy wzbudzaniu rdzenia impulsu prądu o amplitudzie $I_{m/2}$

a V_δ - zakłóceniem różnicowym.

Równanie to pokazuje w jaki sposób oba rodzaje zakłóceń wpływają na sygnał wyjściowy, nie uwzględnia natomiast wpływu sprzężeń indukcyjnych i pojemnościowych pomiędzy uzwojeniami. Ogólne zmniejszenie wpływu zakłóceń można osiągnąć przez odpowiedni dobór rdzeni ze względu na tzw, parametry drugiego rzędu [2] oraz zastosowanie odpowiedniej geometrii uzwojeń ramki i wzmacniaczy odczytu o wysokim współczynniku tłumienia zakłóceń synfazowych.

Jak widać z zależności /7/ wzrost zakłócenia wypadkowego spowodowany pogorszeniem prostokątności rdzeni bądź powiększeniem pojemności płatu powodować będzie zmniejszenie się obszarów pracy pamięci na skutek zwiększenia się prawdopodobieństwa przekłamań przechowywanej informacji /zwłaszcza zer w jedynki/. Badania [4] wykazały, iż obszar $I_w = f/I_r/$ wykazuje wówczas największe ubytki w lewym - górnym i prawym - dolnym rogu, co świadczy o dominującym wpływie zakłóceń połówkowych. Praca na niesymetrycznej pętli histerezy powoduje bowiem efektywne zmniejszenie prądu "łamiącego" prąd I_b wg [8], a co za tym idzie wzrost zakłóceń. Wpływ poszczególnych rodzajów zakłóceń można określić poprzez zmianę postaci przechowywanej informacji. Początkowe zmniejszanie się obszaru pracy występuje wówczas, gdy amplituda zakłóceń połówkowych przekroczy próg wzmacniacza odczytu. Dalsze zwiększanie tego zakłócenia nie wpływa już decydująco. Ten sam obszar określony przy porównywaniu poprawności odczytu samych jedynek i samych zer wykazuje, że jedynki odczytywane są poprawnie w prawej górnej części obszaru, zera natomiast prawie w całej lewej dolnej połowie i wokół przekątnej równych prądów.

Potwierdza to przypuszczenie, iż zakłócenia połówkowe wpływają przede wszystkim na błędne odczytanie zer. Dwa nieskompensowane rdzenie w ramce przełączają się częściowo, przy czym niesymetryczne wzbudzenie znacznie zwiększa sygnał zakłócenia, aż do wystąpienia przekłamania informacji. Natomiast utrzymanie równych amplitud impulsów prądów zapisu odczytu pozwala na poprawną pracę w szerokim zakresie ich jednoczesnych zmian.

Ponadto badanie wpływu zakłócenia połówkowego na obszar $I_w = I_r = f/I_z/$ wykazuje, iż wzrost tego zakłócenia powoduje tylko obniżenie

górnej granicy obszaru, która określa efektywny zapis zer. Wynika to z zależności /3/, gdyż przy małym I_z i dużych wartościach I_w warunek ten nie będzie spełniony i wybrany rdzeń będzie częściowo przełączany.

Zmniejszanie się obszarów pracy pamięci na skutek zakłócenia różnicowego jest proporcjonalne do pojemności ramki. Spowodowane jest ono rozrzutami w przenikalnościach różnicowych rdzeni w ich stanach remanencji i zależy w silnym stopniu od prostokątności rdzeni, rodzaju zapamiętywanej informacji i rodzaju zakłóceń, jakim uprzednio były poddawane rdzenie. Zakłócenie różnicowe obniża górną granicę obszaru $I_w = f/I_r/$, a dla dużych płatów wpływa również na granicę dolną.

Pozostaje do rozpatrzenia jeszcze trzeci rodzaj zakłócenia nie występujący w zależności /7/, a wynikający z silnego sprzężenia pomiędzy uzwojeniami zakazu i odczytu. W czasie zaniku prądu bitowego, pod koniec operacji zapisu, wytwarzane są w uzwojeniu odczytu znaczne impulsy napięciowe, po których następuje zwykle dłuższy okres tłumionych oscylacji, zanim nastąpi całkowite ustalenie się stanów. Napięcie to powoduje nasycenie wzmacniacza odczytu, tak że wymagany jest wówczas czas dodatkowy, aby mógł on powrócić do swego pierwotnego stanu. Zanikanie stanów przejściowych zależy od stałej czasu L/R uzwojenia zakazu i jeśli jest ona zbyt duża, zakłócenie może trwać do następnego cyklu odczytu i wraz z występującymi tam zakłóceniami spowodować może przekłamanie informacji.

Wpływ tego rodzaju zakłócenia na obszary pracy pamięci jest dość wyraźny. Przekroje wzdłuż mniejszej osi obszaru shmoo odpowiadające wykresom we współrzędnych $I_w = f/I_r/$ wykazują przede wszystkim pogarszanie się dolnej granicy obszaru, przy czym mamy tutaj znaczne zmniejszanie się wspomnianego obszaru. Zachowany obszar układa się wzdłuż przekątnej równych prądów $I_w = I_r$. Badanie zależności $I_w = I_R = f/I_z/$ odpowiadających przekrojom obszaru shmoo wzdłuż jego dłuższej osi wykazuje, iż wzrost zakłócenia bitowego powoduje zmniejszenie obszaru pracy, zwłaszcza przy dużych wartościach prądu zakazu. W jeszcze silniejszym stopniu dotyczy to również dolnej granicy obszaru. Ponadto na postać tych przekrojów ma także wpływ próg wzmacniaczy odczytu, który powoduje zwykle pionowe przesunięcie obszarów.

2.3. Wybór punktu pracy pamięci

Wyznaczenie obszaru shmoo służy przede wszystkim do wyboru właściwego punktu pracy pamięci, przy czym oprócz omawianych tu trzech prądów uwzględnia się również inne parametry pamięci, a w szczególności próg dyskryminacji wzmacniacza odczytu. W grę mogą wchodzić napięcia zasilające, parametry czasowe impulsów sterujących, ich usytuowanie w harmonogramie pamięci itd. Obszar pracy winien być wyznaczony w taki sposób, aby uwzględnić najbardziej niekorzystne warunki pracy pamięci, zarówno gdy chodzi o postać przechowywanej informacji, jak i o graniczne wartości elementów i napięć zasilających. Następnie dla takiego zminimalizowanego obszaru dobieramy punkt pracy w taki sposób, aby dopuszczalne były maksymalne zmiany parametrów będących współrzędnymi obszaru.

Eksperymentalnego doboru właściwego punktu pracy pamięci dokonywano w taki sposób [4], że zdejmowano następujące dwuwymiarowe obszary pracy prądu: 1/ odczytu i zapisu w funkcji progu wzmacniacza odczytu przy różnych wartościach amplitudy prądu zakazu oraz 2/ prądu odczytu w funkcji prądu zapisu przy ustalonych wartościach prądu zakazu i progu wzmacniacza odczytu. Dla otrzymanych w ten sposób obszarów pracy określono optymalny punkt pracy. Właściwy wybór oraz ilość przekrojów shmoo powinny być tak ustalone, aby utworzony obszar dotyczył najgorszego przypadku, to znaczy posiadał najmniejszy przekrój poprzeczny. Wybrany w takim obszarze punkt pracy powinien z kolei być jak najbardziej odległy od jego krańców, co w praktyce można określić przy pomocy wrysowywania kół w poszczególne przekroje. Pozwala to określić nominalne wartości napięć zasilających, progi wzmacniacza odczytu i inne parametry pamięci. Sprawdzanie poprawności dokonanego wyboru można dokonywać metodą opisaną w pracy [1] zmieniając o odpowiednie przyrosty poszczególne parametry i kontrolując poprawność pracy pamięci.

3. Przykłady rozwiązań urządzeń do określania obszarów pamięci

Przytoczymy tutaj krótkie opisy dwu różnych systemów pozwalających na automatyczne wyznaczanie obszaru pracy pamięci. Obszar ten określany jest przy pomocy przekrojów poprzecznych zarówno wzdłuż krótszej

jak i dłuższej osi obszaru pracy pamięci. Zdejmowanie tych przekrojów za pomocą pojedynczych pomiarów a następnie ręczne ich wykreślanie jest niezwykle pracochłonne i nie pozwala na zgromadzenie niezbędnego materiału w odpowiednio krótkim czasie. Dlatego wysiłki konstruktorów zostały skierowane na zbudowanie automatycznych urządzeń pozwalających na badanie pamięci w warunkach symulujących współpracę z maszyną. Chodzi przy tym o zachowanie szerokiego zakresu możliwych zmian takich parametrów zewnętrznych pamięci, jak prądy wzbudzające, napięcia zasilające, długość cyklu, częstotliwość repetycji itd.

Sprawdzenie dotyczy wielokrotnego wpisywania i odczytywania danych cyfrowych a następnie porównywania odczytanych wyników z postacią wpisywanej uprzednio informacji. Niezgodność powoduje uruchomienie obwodów wykrywania błędów, które sygnalizują granicę obszaru sprawności [1]. Opisywane układy różnią się m.in. sposobem zewnętrznego przedstawiania wyników.

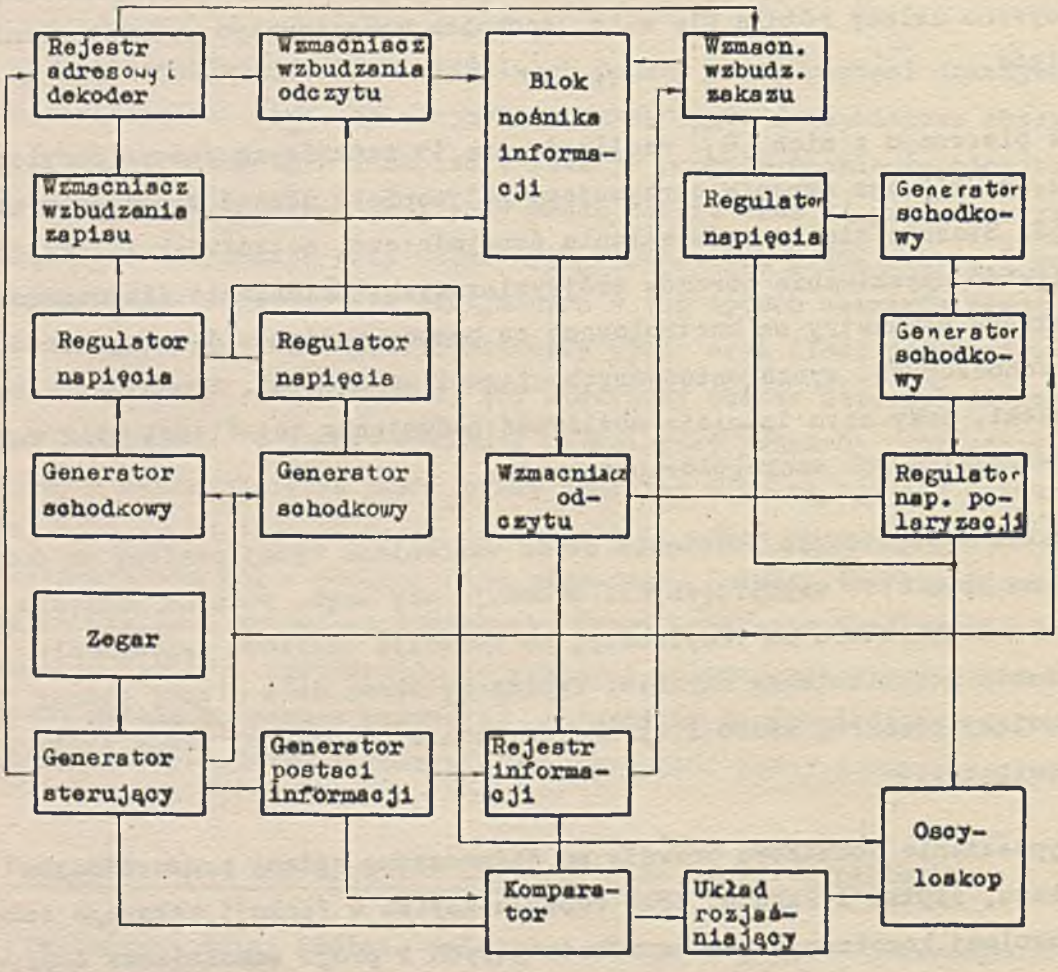
W pierwszym z nich [4] realizuje się to zadanie za pomocą oscyloskopu, na którego ekranie otrzymujemy natychmiast postać żądanego przekroju. Stosuje się tu wyświetlanie dwuwymiarowe, aczkolwiek istnieje możliwość uzyskiwania obrazów trójwymiarowych. Zmienianie dla danego przekroju parametry są kontrolowane za pomocą poziomów dwóch generatorów schodkowych, synchronizowanych ciągami zegarowymi. Stosuje się tu 32 skoki, przy czym istnieje możliwość podwojenia tej ilości dla uzyskania dodatkowych szczegółów przekroju.

Celem wyświetlenia położenia błędu wspomniane wyżej poziomy są podawane na obie osie współrzędnych. Dokonuje się tego, podając napięcie błędu z komparatora na oscyloskop, co powoduje chwilowe zwiększenie natężenia strumienia na ekranie. Wypadkowy obraz daje ciemny obszar stanowiący przekrój shmoo i wyrażający zakres poprawnej pracy systemu pamięciowego.

Wyposażenie dodatkowe pozwala na jednoczesne zmiany prądu odczytu i zakazu, zapisu i zakazu, oraz odczytu-zapisu w funkcji zakazu, a także dowolnej kombinacji prądów wzbudzających i progu wzmacniacza odczytu.

Chociaż pamięć może przechowywać dowolną postać informacji, przy sprawdzaniu wykorzystuje się głównie cztery kombinacje: same jedynki, same zera, postać najgorszego przypadku /zwykle tzw. podwójna szachownica/ i dopełnienie tej postaci.

Przedstawiony na rys. 7 schemat blokowy układu, po tym co zostało powiedziane, nie wymaga już dodatkowych wyjaśnień. Interesującą jest natomiast rola dodatkowego układu normalizującego. Potrzeba jego zastosowania wyniknęła z faktu, iż przy odczytywaniu i ponownym zapisie najgorszego przypadku informacji, jedynki i zera są ciągle zapamiętywane w tych samych miejscach. Oznacza to, iż połowa rdzeni nie jest przemagnesowywana i rdzenie te /zapamiętujące zera/ ustalają swe punkty pracy w nietypowych stanach remanencji, w których rdzenie nigdy nie bywają całkowicie przełączane.



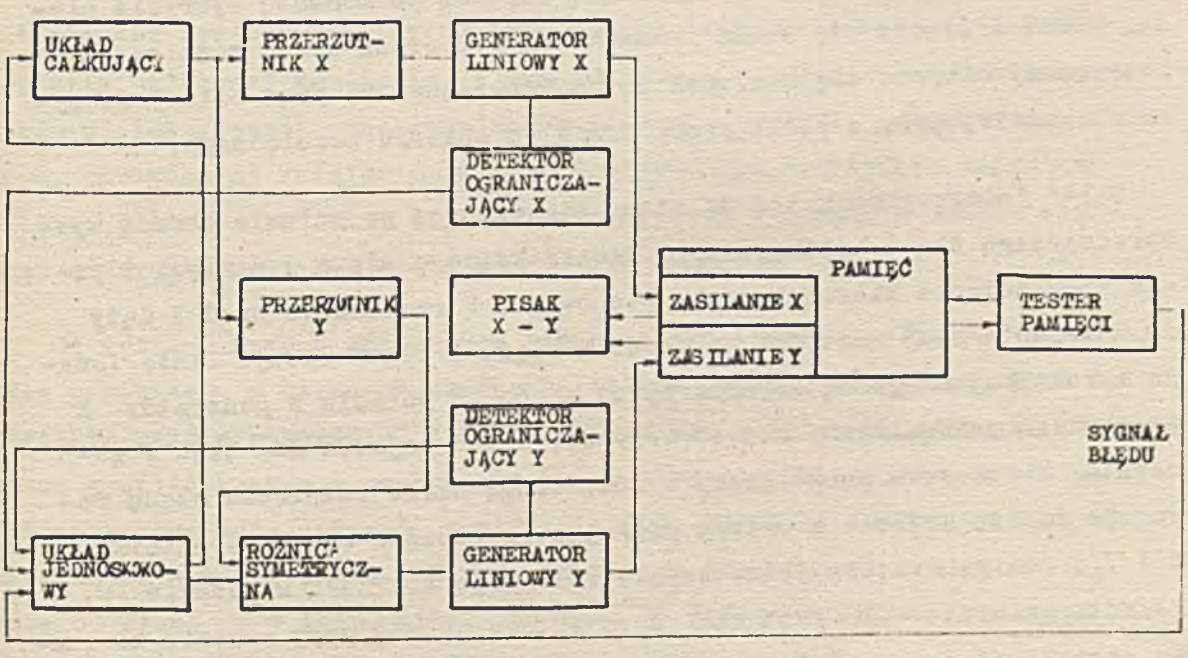
Rys. 7. Schemat blokowy układu do wykreślania obszaru pracy pamięci wg pracy [4]

Normalizacja polega na tym, że pomiędzy kolejnymi zapisami i odczytami, rdzenie przechowujące zera są przemagnesowywane wzdłuż pełnej pętli histerezy poprzez posłanie dodatkowych prądów zapisujących jedynki, których odczyt nie jest kontrolowany.

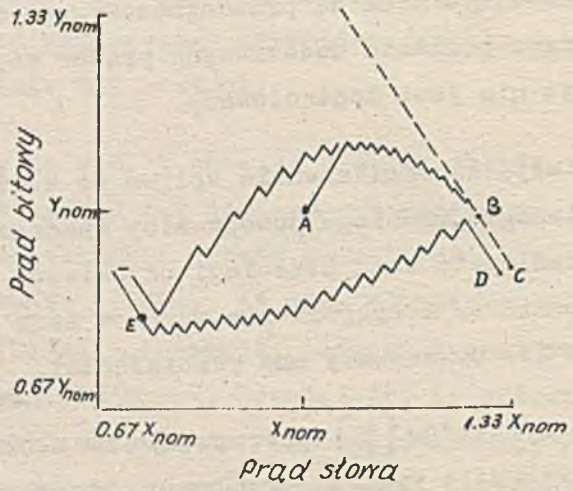
Jak wykazały pomiary, znormalizowanie wpływa na kształt obszarów pracy i brak wspomnianego przebiegu powodowałby znaczne zafałszowanie wyników. Dla sprawdzenia, te same przebiegi uzyskiwano również na drodze indywidualnych pomiarów i wykreślenia wyników oraz za pomocą opisywanego urządzenia. Nie wykazywały one rozbieżności.

Drugi z opisywanych układów [5] wykorzystuje na swoim wyjściu pisak dwuwymiarowy, który wykreśla wybrane przekroje obszaru shmoo. Zestaw ten może być wykorzystany do badania dowolnego układu o 2 lub więcej źródłach zasilających, bądź też innych parametrach, które mogą być analogowo zamieniane na prąd lub napięcie.

Schemat blokowy tego układu pokazano na rys. 8, a zasadę pracy na rys. 9. Dwa generatory przebiegów liniowych w funkcji czasu sterują odpowiednimi zasilaczami pamięci, określającymi np. amplitudy prądów



Rys. 8. Schemat blokowy testera pamięci [5]



Rys. 9. Zasada wykreślania obszaru pracy przez układ z rys. 8

wzbudzających słowa pamięci i prądów bitowych. Wartość tych amplitud określa także położenie pisaka. Rozpatrzmy cykl pracy tego urządzenia, startując z normalnego punktu pracy oznaczonego na rys. 9 literą A. Oba prądy zmieniają się liniowo, przy czym szybciej zmienia się Y. Pisak rysuje prostą, stromo wznoszącą się, aż do momentu wykrycia błędu. Wówczas włącza się układ jednoskokowy i poprzez układ różnicy symetrycznej odwraca się kierunek zmian generatora Y: prąd bitowy zaczyna się zmniejszać, a punkt pracy wraca do obszaru bezbłędnego.

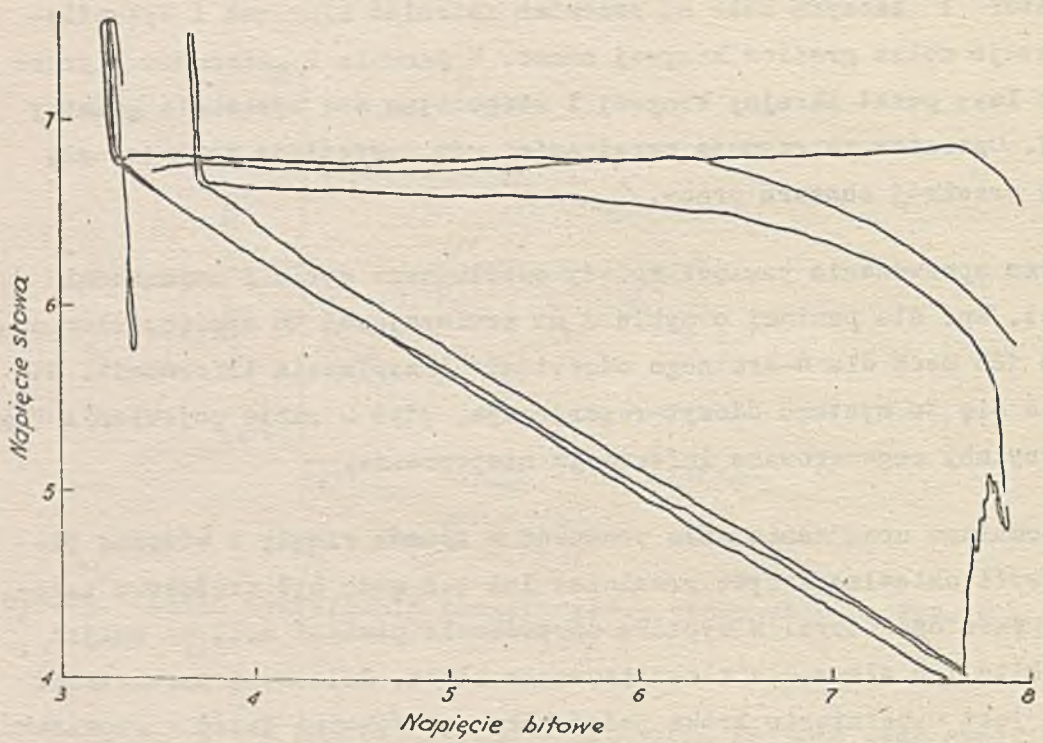
Układ jednoskokowy wraca do stanu pierwotnego po połowie okresu wystarczającego dla 4-krotnego sprawdzenia każdego słowa w pamięci i pisak znów zmienia kierunek ruchu pionowego. W rezultacie prąd Y dąży do ustalenia swej wartości na granicy błędu i pisak rysuje linię łamaną aproksymującą górną część krzywej shmoo. W punkcie B generator X przekracza prawostronny koniec krzywej, wciąż pojawia się błąd i generator Y przesuwa punkt pracy w dół. Długi okres istnienia błędu powoduje to, że wyjście z układu całkującego wzbudza oba przerzutniki X i Y i oba generatory jednocześnie zmieniają kierunek w punkcie C. Ponadto generator X jest tak zaprojektowany, aby przy zmianie kierunku następował skok z C do D i układ nie kreślił linii przerywanej nazewnątrz obszaru bezbłędnej pracy. Kiedy błędy przestaną się pojawiać,

generator Y zaczyna znów na przemian zmieniać kierunek i wykreślona zostaje dolna granica krzywej shmoo. W punkcie E generator X przekracza lewy punkt skrajny krzywej i rozpoczyna się rysowanie granicy górnej. Operator zatrzymuje urządzenie, gdy wykreślony zostaje cały żądany przekrój obszaru pracy.

Okres sprawdzania pamięci zależy od długości cyklu i pojemności pamięci. Np. dla pamięci o cyklu 2 μs zawierającej 16 tysięcy słów potrzeba 128 msek dla 4-krotnego odczytania i zapisania informacji. Nie stosuje się tu systemu odczyt-regeneracja, gdyż w razie pojawienia się błędu byłaby regenerowana informacja niepoprawna.

Wspomniane urządzenie może pracować w sposób ciągły i wówczas pisak kreśli aktualne krzywe graniczne lub też może być częściowo ustawiany przez operatora. W wypadku sprawdzania pamięci może on omijać pewne bity lub słowa dla zlokalizowania błędu. Istotnymi parametrami układu jest wypełnienie kroku jednoskokowego /chodzi tutaj o stosunek długości wygenerowanego impulsu do okresu czasu pomiędzy kolejnymi pobudzeniami/ i dokładność wykreślania. Pierwszy z tych parametrów określony jest współczynnikami nachylenia kreślonej prostej względem osi współrzędnych. Dokładność zaś zależy z kolei od dokładności pisaka /zwykle rzędu 0,2%/, czasu potrzebnego do sprawdzenia całej pamięci oraz szybkości kreślenia. W rzeczywistości wartość błędu pomiaru zależy od lokalizacji przekłamującego elementu pamięci, od momentu w którym, sprawdzając kolejno całą pamięć natrafiamy na błędnie odczytane słowo. Dlatego określany błąd maksymalny jest z reguły znacznie większy od średniego.

Od systemu wymaga się małego błędu maksymalnego, możliwości kreślenia przebiegów o stromych zboczach, małych amplitudach oscylacji i krótkim czasie rysowania. Badania wykonanego modelu wykazały, iż pisak może kreślić krzywe o nachyleniu 84° w stosunku do poziomu, a układ jednoskokowy może osiągać wypełnienie 90%. Uzyskany całkowity czas wykreślenia wynosił około 7 minut, przy czym dla różnych pamięci może się on wahać od 1 do 30 minut. Na rys. 10 podano przykład przebiegu uzyskanego na opisywanym urządzeniu.



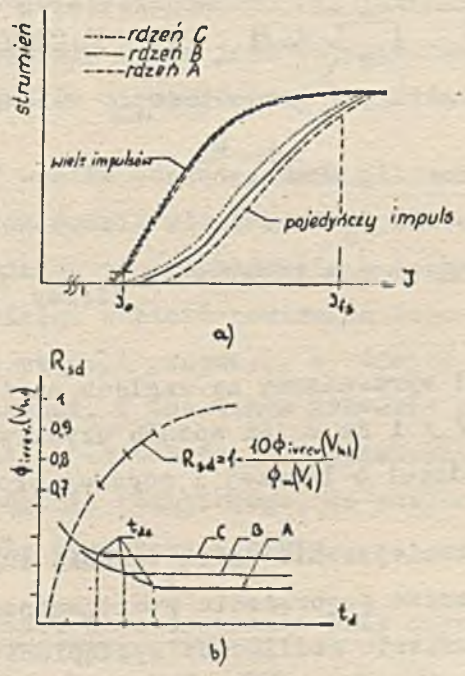
Rys. 10. Przekrój obszaru shmoo uzyskany na urządzeniu opisanym w pracy [5]

4. Dynamiczno parametry rdzenia pamięciowego a parametry konwencjonalne

Ograniczenia obszaru pracy pamięci wynikają między innymi z właściwości rdzeni pamięciowych. Wybitnie nieliniowe charakterystyki tych rdzeni, a także nieliniowość układów elektronicznych stosowanych w pamięci znacznie utrudniają określenie zależności analitycznych pomiędzy parametrami rdzeni a obszarami pracy pamięci. Ponadto okazuje się, że powszechnie przyjęte parametry rdzeni pamięciowych, wypracowane w czasie kilkunastoletniego okresu rozwoju miernictwa tych rdzeni, nie odzwierciedlają w dostatecznym stopniu ich najbardziej istotnych właściwości, jeśli chodzi o prace w pamięci, i trudno o ich bezpośrednią korelację z krzywymi shmoo. Dlatego podjęto próbę [3] znalezienia takich dynamicznych parametrów rdzeni, które mogłyby być określane za pomocą konwencjonalnych metod pomiarowych i mogłyby być bezpośrednio wykorzystane dla oceny całej pamięci, w której rdzenie te zastosowano. Do takich parametrów zaliczano: prostokątność, szybkość przełączania i prąd progowy rdzenia. Stosowany dotychczas współczynnik prostokątności rdzenia

$$R_s = \frac{B\left(-\frac{H_m}{2}\right)}{H_m} \qquad /8/$$

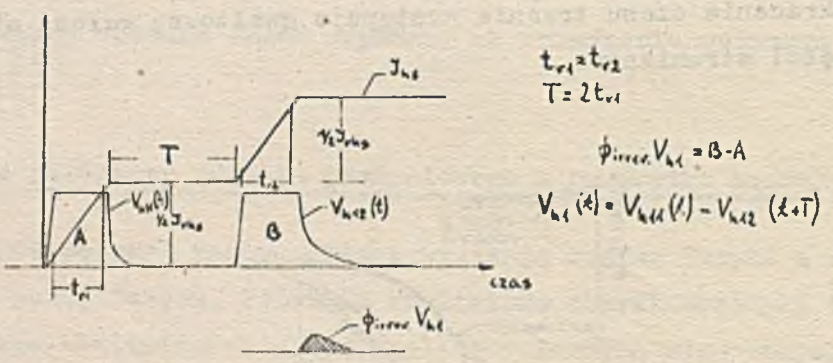
określany był w oparciu o statyczną pętlę histerezy materiału i dlatego nie odzwierciedlał dynamicznych własności rdzenia w przypadku szybkiego przełączania. Pomiary wykazały, że rdzenie o jednakowych charakterystykach przełączania $\Phi = f\ /I/$ dla wielu impulsów wykazują rozbieżności przy przełączaniu ich pojedynczym impulsem o możliwie najkrótszym czasie trwania zapewniającym całkowite przełączanie /rys. 11a/. Rozbieżności te ujawniają się w poziomych przesunięciach poszczególnych krzywych, co odpowiada różnym progom dynamicznym dla poszczególnych rdzeni. Ponadto rdzenie te posiadają różne charakterystyki nieodwracalnej części strumienia przełączanego impulsem połówkowym wyrażonym w funkcji długości impulsu przełączającego /rys. 11b/. Krytyczny minimalny czas trwania impulsu /t_{dc}/ określany jest w momencie, w którym podczas skracania czasu trwania następuje gwałtowny wzrost nieodwracalnej części strumienia.



Rys. 11. Charakterystyki określające dynamiczną prostokątność rdzeni

Z rysunku 11b widać ponadto, iż ustalona wartość nieodwracalnej części strumienia jest odwrotnie proporcjonalna do dynamicznego progu rdzenia, a jednocześnie rdzenie o bardziej prostokątnej pętli są bardziej wrażliwe na skracanie czasu trwania impulsu wzbudzającego. Nieodwracalną część strumienia określa się w ten sposób, że rdzeń zostaje wzbudzony przebiegiem prądowym pokazanym na rys. 12, w czasie którego prąd osiąga kolejno dwa poziomy odpowiadające 1/4 I_m i 1/2 I_m, a przebiegi napięciowe indukowane w czasie narastania prądu, podawane są na układ całkujący. Różnica strumieni przełączanych wspomnianym drugim i pierwszym skokiem prądu nosi właśnie nazwę nieodwracalnej części strumienia $\emptyset_{irrev}/V_{h1}/$. Parametr ten służy do określenia dynamicznego współczynnika prostokątności rdzenia

$$R_{sd} = 1 - \frac{10\ \emptyset_{irrev}\ /V_{h1}/}{\emptyset\ /uV_1/}\ . \qquad /9/$$



Rys. 12. Metoda określania $\emptyset_{irrev}\ V_{h1}$

Współczynnik 10 został wprowadzony ze względu na to, że $\emptyset_{irrev}/V_{h1}/$ stanowi zwykle 1-3% $\emptyset\ /uV_1/$ i że w ten sposób uzyskiwana jest większa możliwość rozróżnienia rdzeni o lepszej i gorszej prostokątności.

Z rys. 11b widać, iż zmniejszenie czasu trwania impulsów poniżej wartości t_{dc} powoduje znaczne pogorszenie prostokątności rdzenia, a tym samym gwałtowne zwiększenie możliwości wystąpienia nieprawidłowej pracy pamięci. Dlatego celem zapewnienia poprawnej pracy pamięci czas

trwania impulsów wzbudzających powinien być dłuższy od minimalnego, krytycznego czasu trwania określonego na podstawie charakterystyk rdzeni. Ponadto rdzenie o niedopuszczalnie dużym parametrze t_{dc} mogą być eliminowane w indywidualnym sprawdzaniu na skutek wprowadzenia górnej granicy na czasy przełączania i czas szczytu sygnału jedynki.

Szukając zależności pomiędzy parametrami konwencjonalnymi, a wprowadzonymi parametrami dynamicznymi, badano zmiany sygnału zakłóconego zera dV_z w funkcji współczynnika R_{sd} dla elementów o różnych prądach progowych. W rzeczywistości zmiany progu uzyskiwano poprzez zmianę temperatury. Okazało się wówczas, że w zakresie $R_{sd} = 0,7 \div 0,9$ zależność ta jest liniowa, a zmiana progu powoduje jedynie niewielkie przesunięcia. Oznacza to, iż posługując się tą zależnością i opierając się na zmierzonym parametrze dV_z, możemy określać parametr R_{sd} potrzebny nam przy znajdywaniu obszaru pracy pamięci.

Podobnie przedstawia się problem zależności sygnału niezakłóconej jedynki uV_1 i prądu granicznego I_o, przy którym rozpoczyna się proces przełączania rdzenia. Funkcja ta jest linią prostą w całym interesującym nas zakresie i wykazuje tylko niewielkie przesunięcia przy zmianach prostokątności. W wyniku tego potrafimy dwa podstawowe napięciowe parametry konwencjonalne przetransponować na interesujące nas parametry dynamiczne. Można również, o ile jest to wygodniejsze, zastąpić parametr dV_z różnicą sygnałów niezakłóconej i zakłóconej jedynki $uV_1 - dV_1$.

Z zależności /7/ wynika ponadto, że w płatach o dużej pojemności ważną rolę odgrywa zakłócenie różnicowe V_s. Dlatego w przypadku pary rdzeni wyrażono zależność tego zakłócenia w funkcji amplitudy prądu wzbudzającego, zmieniając wartość nominalną tego prądu o ponad $\pm 10\%$, dla rdzeni o różnych prądach progowych i różnych dynamicznych współczynnikach prostokątności. W omawianym zakresie zależności te okazały się również liniowymi, a zmiana progu i "prostokątności" powodowała pewne powiększenie zakłócenia różnicowego, co powinno być uwzględnione w wyrażeniach na sygnały wypadkowe z płatu.

5. Podstawowe zależności i postępowanie przy określaniu obszarów pracy

W oparciu o określone powyżej zależności można przewidzieć marginesy pracy pamięci dla rdzeni o dowolnych rozkładach dynamicznego współ-

czynnika prostokątności i prądu progowego w przypadku takich znanych parametrów pracy pamięci jak:

- parametry czasowe impulsów wzbudzających,
- ilość rdzeni przez które przechodzi jedno uzwojenie odczytu,
- dolny i górny próg wzmacniacza odczytu,
- postać zapamiętywanej informacji,
- temperatura pracy,
- nominalne wartości prądów wzbudzających.

Parametry te określają również odpowiednie warunki sprawdzania rdzeni, zarówno w wypadku parametrów klasycznych, jak i zakłóceń różnicowych. Szczególnie istotne są tu wartości progowych napięć wzmacniacza odczytu, ponieważ warunkiem poprawnej pracy pamięci jest spełnienie takich warunków, aby maksymalny sygnał indukowany przy odczycie zera był mniejszy od dolnego progu wzmacniacza odczytu, a minimalny sygnał indukowany przy odczycie jedynki był większy od górnego progu tego wzmacniacza.

Jeżeli, rozdzielając wpływy od obu współrzędnych i uwzględniając wpływ progu i prostokątności na zakłócenie różnicowe, podstawimy do formuły na sygnał wyjściowy /I/ dokładniejsze wyrażenie na zakłócenie, uzyskamy wówczas:

$$V_{1min}=dV_1-V_{hsx}-V_{hsy}-\frac{n_x-2}{2}\left(V_{\delta x}+\delta_{I_o x}+\delta_{sqx}\right)-\frac{n_y-2}{2}\left(V_{\delta y}+\delta_{I_o y}+\delta_{sqy}\right). \qquad /10/$$

Analogicznie wyrażenie na maksymalne zakłócenie przybiera postać:

$$V_{Omax}=dV_z-V_{hsx}-V_{hsy}+\frac{n_x-2}{2}\left(V_{\delta x}+\delta_{I_o x}+\delta_{sqx}\right)+\frac{n_y-2}{2}\left(V_{\delta y}+\delta_{I_o y}+\delta_{sqy}\right). \qquad /11/$$

n_x i n_y są tu ilościami rdzeni wzdłuż tych kierunków płatu, a δ_{I_o} i δ_{sq} przedstawiają różnice V_δ dla optymalnego zestawu elementów i dla elementów o niższym progu lub gorszej prostokątności. Wszyst-

kie wartości parametrów napięciowych jakie występują w tych zależnościach, dotyczą chwili strobowania wzmacniacza odczytu. Dla uproszczenia przyjęto również, że $I_x = I_y = I_z$. Jeżeli w równania te podstawimy znalezione uprzednio doświadczalne zależności przyrostów zakłócenia różnicowego, możemy określić dolną i górną granicę prądów wzbudzających dla rdzeni o dowolnych parametrach. Dolna granica jest tutaj określona minimalnym sygnałem jedynki, a górna - maksymalnym sygnałem zera.

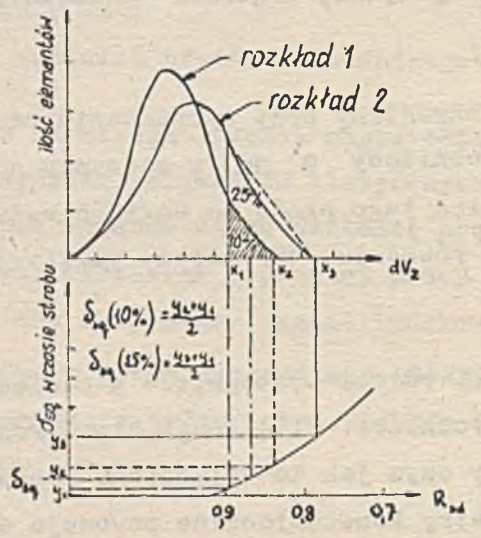
Sygnał dV_1 bywa zwykle określany przy sprawdzaniu rdzeni dla amplitudy prądu wzbudzającego obniżony o 10% w stosunku do wartości nominalnej. Jeśli dolna granica tego prądu ma wartość wyższą od stosowanej przy sprawdzaniu, to w równaniu /10/ należy podstawić odpowiednio skorygowaną wartość dV_1.

Ze względu na duże ilości rdzeni występujące w pamięci, nie można uzyskać ich idealnej jednorodności. Eliminacji złych rdzeni dokonuje się w czasie selekcji, przy czym jak to wyjaśniono poprzednio, wprowadzenie ograniczeń na parametry konwencjonalne powoduje odrzucenie rdzeni o nieodpowiednich właściwościach dynamicznych. Rdzenie wolne, które mają zwykle pętlę histerezy o wyższym współczynniku prostokątności, będą odrzucane na skutek przekroczenia górnych granic czasu przełączania i czasu szczytu. Natomiast rdzenie o zwiększonym prądzie progowym wyeliminowane będą na skutek nieosiągania dolnej granicy sygnału. Jednakże, ponieważ V_{0max} i V_{1min} są funkcjami δ_{I_o} i δ_{sq}, które są bezpośrednio związane z niskim progiem i złą prostokątnością rdzeni, niezbędna jest znajomość charakteru ich rozkładu dla określenia dopuszczalnych procentowych tolerancji prądów.

Całkowite zakłócenie podawane na wzmacniacz odczytu w czasie strobowania będzie najmniejsze wówczas, kiedy wszystkie rdzenie posiadać będą identyczne właściwości. Każda para o gorszej prostokątności lub niższym progu powiększa to zakłócenie o wartość proporcjonalną do odchylenia parametrów od wartości nominalnej. Rysunek 13 ilustruje metodę określania wartości δ_{sq} dla danego rozkładu. W analogiczny sposób można również określić wartość δ_{I_o}.

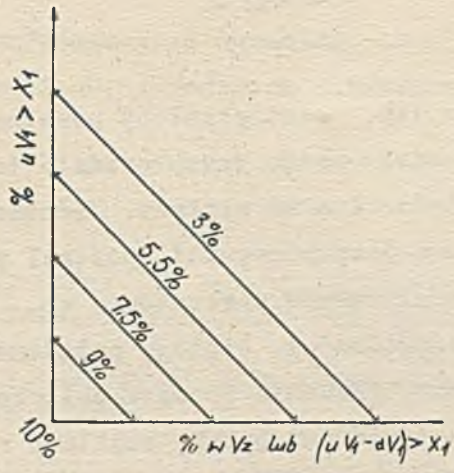
Ponadto można wykazać, że w pewnym zakresie δ_{I_o} i δ_{sq} rosną proporcjonalnie do uV_1 i dV_z. Rdzenie o gorszej prostokątności i niż-

szym progu usytuowane są na krańcu rozkładu normalnego. Dla uproszczenia obliczeń aproksymujemy skrajną część rozkładu trójkątem prostokątnym. W ten sposób można do wzorów /10/ i /11/ wprowadzić obok δ_{I_o} i δ_{sq} współczynniki p_1 i p_2 wyrażające stosunek ilości rdzeni o odpowiednio mniejszym progu i gorszej prostokątności do pełnej populacji rdzeni.



Rys. 13. Określenie średniego δ_{sq} dla różnych rozkładów

Spełnienie nierówności obejmujących sygnały wypadkowe i poziomy graniczne wzmacniacza odczytu daje nam bezpośrednio graniczne wartości prądu wzbudzającego dla danych rozkładów parametrów rdzeni. W ten sposób można na drodze obliczeniowej określić obszar pracy we współrzędnych uV_1 i dV_z lub $uV_1 - dV_1$, z których jedna uV_1 jest wskaźnikiem wielkości progu a druga dV_z - prostokątności. Na skutek opóźnień, regeneracji i innych zjawisk zachodzących w układach elektronicznych pamięci, rzeczywiste obszary pracy pamięci różnią się od obszarów obliczonych teoretycznie. Mimo to obliczenia wykonane z uwzględnieniem rozkładów statystycznych pozwalają określić dane wyjściowe, które po odpowiednim skorygowaniu dają zależności pokazane na rys. 14. Autorzy pracy [3] zastosowali opisany sposób postępowania do 30 zespołów pamięciowych i uzyskali wyjątkową zgodność pomiędzy marginesami przewidzianymi na podstawie obliczeń i pomierzonymi na zrealizowanych układach. Oznacza to, iż zaproponowana metoda może okazać się użyteczna



Rys. 14. Krzywe stałych tolerancji prądów

przy projektowaniu nowych pamięci, bez potrzeby budowania modelu o pełnej pojemności. Jest ona dalszym krokiem udoskonalającym analityczne projektowanie pamięci ferrytowych ze względu na parametry rdzeni. Stało się to możliwe z chwilą opanowania metod określania zakłóceń różnicowych stosowanych rdzeni. Metody te zostały omówione w pracy [2].

6. Zakończenie

W artykule niniejszym starano się przedstawić czytelnikowi, zainteresowanemu projektowaniem i oceną pamięci ferrytowych, niektóre pojęcia i problemy, z którymi styka się każdy konstruktor nowoczesnych pamięci operacyjnych. W szczególności zajmowano się problemem obszaru pracy w pamięci koincydencyjnej oraz metody jego wyznaczania. Pojęcia te są dziś nierozłącznie związane z kontrolą i oceną pamięci ferrytowych. Następnie w oparciu głównie o pracę [2] przedstawiono zagadnienie sformułowane w tytule artykułu. Jest ono, zdaniem autora, niezmiernie istotne w aktualnym okresie rozwoju techniki pamięciowej, kiedy po kilkunastoletnim okresie swego rozpowszechnienia pamięci ferrytowe stały się synonimem pamięci operacyjnych i pomimo ogromnego rozwoju nowych technologii niewątpliwie utrzymają swą dominującą pozycję jeszcze przez wiele lat [9].

W przypadku pamięci masowych, jak przyjęto nazywać pamięci o bardzo dużej pojemności, wykonywanie modelu o pełnej pojemności celem sprawdzenia poprawności przyjętych założeń konstrukcyjnych, właści-

wego doboru typu rdzenia itp. nastręczałoby poważne trudności. Za pomocą omówionej tutaj metody można przeprowadzić to analitycznie, ograniczając prace doświadczalne do minimum. Jednocześnie zaś trzeba podkreślić, że metoda ta w propoponowanej postaci posiada jeszcze, zwłaszcza przy rozpatrywaniu wielu wariantów, np. dla różnych rodzajów rdzeni, pewne niedogodności. Dlatego pożądane byłoby jej rozwinięcie w kierunku zautomatyzowania procesu obliczeń za pomocą maszyn cyfrowych. Danymi wejściowymi byłyby rozkłady rdzeni dla interesujących nas parametrów, progi wzmacniacza odczytu, zależności zakłóceń różnicowych od pozostałych parametrów rdzeni i prądów wzbudzających. Program na maszynę obejmowałby całą procedurę obliczeniową, przy czym można by tu uniknąć aproksymacji, stosowanych w opisanym postępowaniu. Danymi wyjściowymi byłyby obszary pracy pamięci, bądź zmiany tych obszarów /w postaci np. tolerancji prądów jak na rys. 14/ w funkcji zmian jednego lub kilku parametrów wejściowych. W ten sposób byłoby możliwe określanie optymalnych parametrów pamięci lub rdzeni przy innych zadanych parametrach.

Warto nadmienić, że podobne, aczkolwiek w innym aspekcie ujęte zagadnienie zostało omówione w pracy [10]. Zastosowano tu maszynę cyfrową do zdejmowania obszarów pracy pamięci z wykorzystaniem informacji o charakterze i lokalizacji błędów występujących przy przekraczaniu obszaru pracy dla celów diagnostycznych. Może to być wykorzystane zarówno przy normalnej pracy pamięci jak i przy opracowywaniu nowych rozwiązań. Ponadto pojawiły się ostatnio nowe prace [11, 12] poświęcone temu problemowi, w których autorzy podają, iż w związku z intensywnym rozwojem małych maszyn matematycznych coraz częściej zestawy drogiej i skomplikowanej aparatury pomiarowej zastępuje się prostszym zespołem wykorzystującym małą maszynę, a posiadającym znacznie bardziej rozległe możliwości. Dalszy postęp w dziedzinie pamięci umożliwi zastosowanie EMC w procesie projektowania.

Możliwość szybkiego przeanalizowania znacznej ilości wariantów powinna prowadzić do znalezienia bardziej optymalnych rozwiązań, a tym samym do poprawienia parametrów opracowywanych w ten sposób pamięci. Automatyzacja projektowania wyeliminuje długotrwałe i żmudne etapy pro-

jektowania konwencjonalnego i ograniczy do minimum konieczność sprawdzania nowych rozwiązań na modelach doświadczalnych.

Literatura

[1] SIKORSKI A, DAŃDA J.: Badanie i kontrola ferrytowej pamięci operacyjnej. Nowości Techniczne IMM, Nr 3/1967.

[2] RYŻKO J.: Wybór rdzeni do nowoczesnych pamięci ferrytowych. ETO Nowości, Nr 4/1968.

[3] GOGOS B., ZAGURSKY J.J.: Ferrite Device Characteristics and Coincident Current Store Performance. IEEE Trans. on Magnetics, Mag-3, Nr 3, IX.1967.

[4] WOMACK C.P.: Schmoo Plot Analysis of Coincident-Current Memory Systems. IEEE Trans. on El. Comp. II. 1965.

[5] GERBACH J.E.: The Great Shmoo Plot: Testing Memory Automatically, Electronics, 25.VII.1966.

[6] DAŃDA J., WRZESZCZ Z.: Hardware i software techniczno-funkcjonalnych badań systemów pamięciowych. ETO Nowości. Nr 2/1968.

[7] Cyfrowe układy magnetyczne. Praca pod red. J. Meyerhoffa. Tłum. polskie WNT, W-wa 1964.

[8] WRZESZCZ Z., RYŻKO J., DAŃDA J.: Projekt standardu dotyczącego materiałów, rdzeni i ramek pamięci operacyjnych EMC. ETO Nowości, Nr 1/1968.

[9] Special Report: Memory Technology. Electronics. No 22/1968.

[10] DAŃDA J.: An Application of a Digital Computer for Extended Shmoo-Plotting of Ferrite-Core Memories. Proc. of IFIP Congress 1968, booklet D.

[11] STOUGHTON A.M.: Computer-Controlled Memory Testing. Modern Data Systems, VIII. 1968.

[12] DAŃDA J.: System badania pamięci operacyjnych i stałych. ETO Nowości Nr 1/1969.

SPIS TREŚCI ETO NOWOŚCI ZA ROK 1968

. DAŃDA Jerzy FIETT Jerzy	Postępy automatyzacji wytwarzania maszyn cyfrowych Część I Część II Część III	Nr 1 Nr 2 Nr 3	s. s. s.	3-23 3-45 3-29
. DAŃDA Jerzy WRZESZCZ Zdzisław	H a r d w a r e i s o f t w a r e techniczno-funkcjonalnych systemów pamięciowych	Nr 2	s.	47-61
. DAŃDA Jerzy	patrz: WRZESZCZ Zdzisław, RYŻKO Jan, DAŃDA Jerzy	Nr 1	s.	45-66
. DUDEK Zbigniew	Organizacja i opis funkcjonalny specjalistycznej maszyny cyfrowej GEO-1	Nr 3	s.	71-82
. EKNER Jerzy	O technologii łączenia przewodów z wyprowadzeniami kontaktów złącz przez zaciskanie	Nr 3	s.	91-111
. EKNER Jerzy	O technologii montażu modułów i podsystemów mikroelektronicznych stosowanej w zakładach produkcyjnych International Computers A. Tabulatores, Ltd	Nr 1	s.	87-93
. FIETT Jerzy	patrz: DAŃDA Jerzy, FIETT Jerzy	Nr 1 Nr 2 Nr 3	s. s. s.	3-23 3-45 3-29
. GŁOWACKI Bartłomiej	Współczesne systemy cyfrowe. Część I	Nr 4	s.	3-19
. JAGIELSKI Jerzy	Propozycja rozwiązania niektórych układów modułu drukarki wierszowej z mechanizmem ICT 666	Nr 1	s.	95-98

. KALINOWSKI Wacław ROTH Mirosław	Wybrane zagadnienia mechaniki pamięci dyskowych	Nr 4	s. 99-116
. KLAUZNICER Zofia	Analiza kosztów ferrytowych pamięci operacyjnych w systemach 2,5D i 3D	Nr 2	s.121-132
. KULIKOWSKI Jacek SAWICKI Zygmunt RYŻKO Jan	Niestabilność czasowa niektórych właściwości cienkich cylindrycznych warstw magnetycznych	Nr 4	s. 75-90
. KWIATKOWSKI Antoni	Metaliczne warstwy magnetyczne wytwarzane w procesie chemicznego osadzania bezprądowego	Nr 4	s. 91-97
. ŁACKA Maria ZORSKI Zbigniew	System JS	Nr 3	s. 31-43
. MIKA Mirosław	Zastosowanie półprzewodnikowych układów scalonych do konstrukcji EMC Część I	Nr 2	s. 63-87
	Część II	Nr 3	s. 45-70
. PATRYN Ryszard	Rejestratory magnetyczne	Nr 3	s. 83-90
. ROTH Mirosław	patrz: KALINOWSKI Wacław, ROTH Mirosław	Nr 4	s. 99-116
. RYŻKO Jan	Właściwości rdzeni stosowanych w nowoczesnych pamięciach ferrytowych	Nr 4	s. 47-73
. RYŻKO Jan	patrz: KULIKOWSKI Jacek, SAWICKI Zygmunt, RYŻKO Jan	Nr 4	s. 75-90
. RYŻKO Jan	patrz WRZESZCZ Zdzisław RYŻKO Jan, DAŃDA Jerzy	Nr 1	s. 45-66
. SAWICKI Zygmunt	Badanie płatów pamięci na drutach magnetycznych	Nr 4	s. 33-45
. SAWICKI Zygmunt	Bloki nośnika informacji na elementach nadprzewodzących /kriotronach/	Nr 1	s. 67-86

. SAWICKI Zygmunt	Kryteria oceny i dynamiczne metody pomiarowe parametrów drutów magnetycznych	Nr 2	s. 89-105
. SAWICKI Zygmunt	Pewne aspekty techniczno-ekonomiczne szybkich pamięci masowych	Nr 1	s. 25-43
. SAWICKI Zygmunt	patrz: KULIKOWSKI Jacek, SAWICKI Zygmunt, RYŻKO Jan	Nr 4	s. 75-90
. SPIS ALFABETYCZNY	prac opublikowanych w Nowościach Techniczno-Ekonomicznych za 1966 r. i Nowościach Technicznych IMM za r. 1967	Nr 1	s.101-103
. TABELA	Przewidywana wartość produkcji maszyn matematycznych i urządzeń w USA	Nr 2	s. 133
. TABELA	Przewidywana wartość produkcji maszyn matematycznych i urządzeń zewnętrznych w krajach Europy Zachodniej w roku 1968 w milionach dolarów	Nr 1	s. 99
. WERNER Tadeusz	Pamięć wirtualna maszyny cyfrowej i algorytmy zamiany	Nr 2	s.107-119
. WRZESZCZ Zdzisław RYŻKO Jan DAŃDA Jerzy	Projekt standardu dotyczącego materiałów, rdzeni i ramek pamięci operacyjnych EMC	Nr 1	s. 45-66
. WRZESZCZ Zdzisław	patrz: DAŃDA Jerzy, WRZESZCZ Zdzisław	Nr 2	s. 47-61
. ZIENKIEWICZ Andrzej	Systemy EMC z punktu widzenia szybkich pamięci	Nr 4	s. 21-31
. ZORSKI Zbigniew	patrz: ŁĄCKA Maria, ZORSKI Zbigniew	Nr 3	s. 31-43

Warunki prenumeraty:

Cena prenumeraty krajowej:

rocznie - zł 100,-

Prenumeraty przyjmowane są do dnia 10 grudnia na rok następny.

Prenumeratę na kraj dla czytelników indywidualnych przyjmują urzęd pocztowe oraz listonosze.

Czytelnicy indywidualni mogą dokonywać wpłat również na konto PKO Nr 1-6-100020 - Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw "Ruch" Warszawa, ul. Wronia 23.

Wszystkie instytucje państwowe i społeczne mogą zamawiać prenumeratę wyłącznie za pośrednictwem Oddziałów i Delegatur "Ruch".

Prenumeratę ze zleceniem wysyłki za granicę, która jest o 40% droższa od krajowej, przyjmuje Biuro Kolportażu Wydawnictw Zagranicznych "Ruch" Warszawa, ul. Wronia 23 konto PKO Nr 1-6-100024 tel. 20-46-88.

Egzemplarze zdezaktualizowane można nabyć w Punkcie Wysyłkowym Prasy Archiwalnej "Ruch" - Warszawa, ul. Nowomiejska 15/17, konto PKO Nr 114-6-700041 VII O/M Warszawa.