

Jerzy DĄBROWA
Tadeusz SZKODNY

Politechnika Śląska w Gliwicach

ANALIZA PROPAGACJI SYGNAŁÓW NAPIĘCIOWYCH
W LINII ODCZYTU PAMIĘCI RDZENIOWEJ

Streszczenie. Artykuł poświęcony jest analizie propagacji sygnałów napięciowych w uproszczonym schemacie zastępczym uzwojenia odczytu pamięci rdzeniowej w oparciu o teorię przebiegów falowych w liniach długich. Podano zależności analityczne umożliwiające wyznaczenie parametrów linii i współczynników fal oraz sporządzono przebiegi czasowe podstawowych sygnałów napięciowych w płacie pamięci rdzeniowej.

1. Wstęp

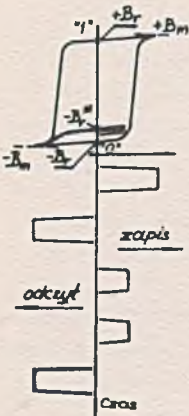
Pamięć operacyjna stanowi jeden z najbardziej istotnych bloków maszyny cyfrowej. Główne parametry pamięci to: czas cyklu, pojemność informacyjna oraz gabaryty. Parametry te w sposób zasadniczy wpływają na zdolność obliczeniową systemu cyfrowego.

W większości współczesnych maszyn cyfrowych (prosty i złożonych) spotyka się rdzeniowe pamięci operacyjne. Podstawowym nośnikiem informacji w tych pamięciach jest rdzeń ferrytowy o prostokątnej pętli histerezy, tzw. rdzeń pph. Rdzeń pph charakteryzują dwa główne stany stabilne " $+B_r$ " i " $-B_r$ ", którym przyporządkowuje się odpowiednio stany logiczne "1" i "0". Dzięki temu rdzenie pph są dobrymi elementami przechowywania informacji w postaci binarnej. W rdzeniowych pamięciach operacyjnych rdzenie pph mogą znajdować się również w pośrednich stanach stabilnych. Mówi się wówczas, że pamiętają zakłócone stany logiczne.

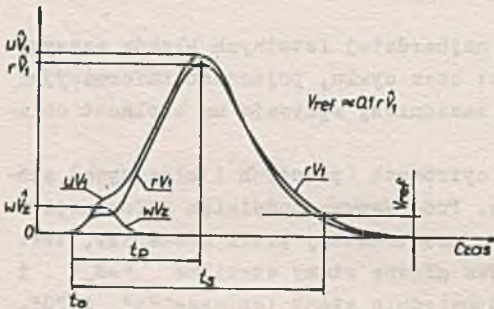
Podstawą badań sygnałów analizowanych w artykule jest pamięć koencydencyjna rdzeniowa o strukturze 3D/3w.

W fazie odczytu rdzenie wybierane są impulsami prądowymi pełnymi lub połówkowymi, przy czym impulsy o biegunowości ujemnej nazywane będą dalej impulsami odczytu, natomiast o biegunowości dodatniej impulsami zapisu (rys. 1).

Przy odczycie stanu rdzenia w uzwojeniu odczyt - zapis indukuje się napięcie, o amplitudzie proporcjonalnej do jego stanu magnetycznego.



Rys. 1. Impulsy pełnego i częściowego zapisu i odczytu informacji



Rys. 2. Odpowiedzi napięciowe rdzenia

ten potraktować można jako falę biegnącą wzdłuż uzwojenia odczytu płatu pamięci, zaś samo uzwojenie jako linię długą o parametrach rozłożonych.

Dla wykazania słuszności przyjętych założeń niech przedstawiona na rys. 3 funkcja aproksymowana będzie dwoma prostymi (rys. 4). Operacja matematyczna określona wyrażeniem

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) e^{-j\omega t} dt \quad (1)$$

wykonana na funkcji aproksymującej znana jest jako przekształcenie Fouriera.

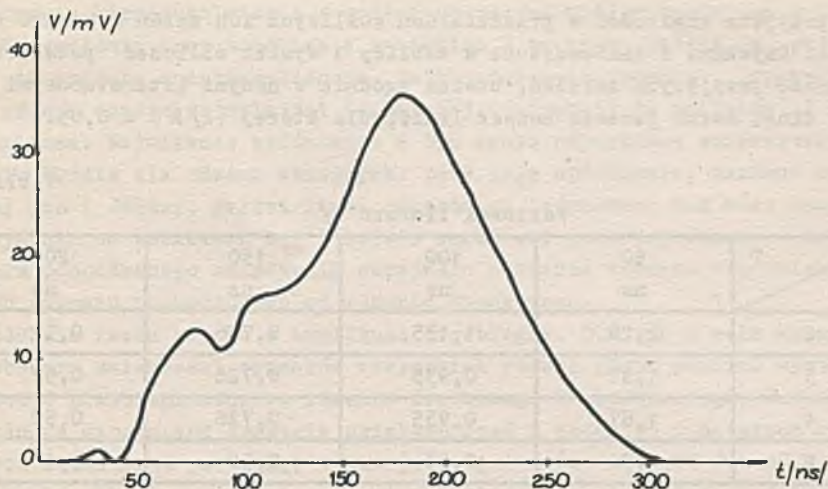
Odpowiedzi napięciowe rdzeni pobudzonych impulsami połówkowymi oraz odpowiedzi przy odczycie i zapisie stanów zerowych lub jedynkowych (w zakresie $-B_m - B_r$ lub $+B_m + B_r$) traktowane są jako sygnały zakłócające.

Na rys. 2 przedstawiono odpowiedzi napięciowe pojedynczego rdzenia na impuls pełnego odczytu poprzedzony impulsem pełnego zapisu (uV_1), poprzedzony impulsem pełnego zapisu i następującymi po nim impulsami częściowego odczytu (rV_1), oraz poprzedzony impulsem pełnego odczytu i następującymi po nim impulsami częściowego zapisu (wV_2) [3].

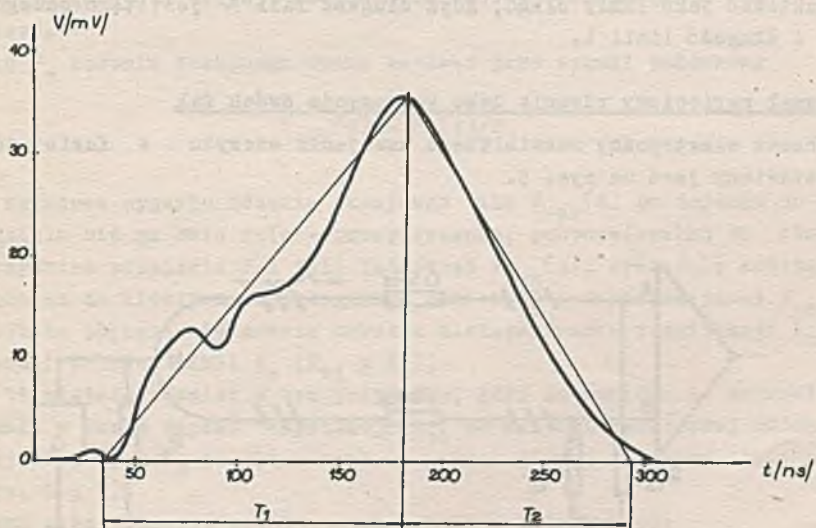
W koincydencyjnej pamięci rdzeniowej oprócz rdzenia wybranego pobudzone są równocześnie prądami połówkowymi rdzenie wybranych współrzędnych X i Y. Dlatego na wyjściu uzwojenia odczytu pojawia się suma napięć pochodzących od rdzenia odczytywanego i zakłóconych rdzeni danej kolumny i danego wiersza. Odpowiedni sposób prowadzenia uzwojenia odczytu powoduje częściowe wzajemne odejmowanie się napięć zakłócających, co poprawia ogólną rozróżnialność stanów logicznych rdzeni.

Niemniej jednak sygnał napięciowy odbierany z uzwojenia odczytu jest zniekształcony w stosunku do sygnałów (odpowiedzi napięciowych) przedstawionych na rys. 2.

Kształt zdjętego doświadczalnie sygnału napięciowego zamieszczony jest na rys. 3. Sygnał



Rys. 3. Sygnał jedynkowy $V_0(t)$



Rys. 4. Sygnał jedynkowy aproksymowany dwoma prostymi

Przekształcenie Fouriera wyraża nieokresową funkcję czasu za pomocą odpowiedniego ciągłego widma częstotliwości. Iloczyn wyznaczonej częstotliwości f , dla której gęstość widmowa $F(\omega)$ osiąga maksimum i czasu propagacji fali napięciowej t_0 , jest równy ilorazowi długości linii l do długości fali λ , co wynika z podstawowego równania ruchu falowego.

W celu wyznaczenia szukanej wartości ilorazu l/λ opracowano program na maszynie cyfrową w języku MAT 532. Oznaczając przez K iloraz składowych T_1 i T_2 ($K = T_1/T_2$) i przez T ich sumę ($T = T_1 + T_2$) oraz wariantując oby-

dwie przyjęte wielkości w przedziałach możliwych ich zmian wykonano obliczenia. Uzyskane i zamieszczone w tabelicy 1 wyniki obliczeń potwierdzają słuszność przyjętych założeń, bowiem zgodnie z danymi literaturowymi [1] linią długą można jeszcze nazwać linię, dla której $(l/\lambda) = 0,05$.

Tabela 1

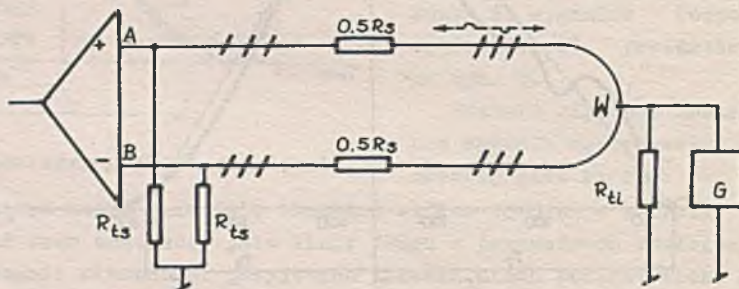
Wartości ilorazu l/λ

K \ T	50 ns	100 ns	150 ns	200 ns
2	2,28	1,135	0,726	0,52
3	1,97	0,935	0,726	0,52
4	1,87	0,935	0,726	0,52
5	1,76	0,83	0,52	0,4

Tak więc w rozważanym przypadku uzwojenie odczytu w fazie odczytu można traktować jako linię długą, gdyż długość fali λ jest tego samego rzędu co i długość linii l .

2. Sygnał napięciowy rdzenia jako kompozycja dwóch fal

Schemat elektryczny rozwiniętego uzwojenia odczytu w fazie odczytu przedstawiony jest na rys. 5.



Rys. 5. Uzwojenie odczytu w postaci rozwiniętej

Przy wybraniu dowolnego rdzenia w uzwojeniu tym indukuje się sygnał $V_0(t)$ będący odpowiedzią odczytanej "1" (rys. 3) lub "0". Sygnał ten można przedstawić jako kompozycję dwóch fal połówkowych o przeciwnych biegunowościach i równej amplitudzie $0,5 V_0(t)$. Wyindukowane fale biegną w linii odczytu odpowiednio do zacisków wzmacniacza odczytu A i B. Jeśli rdzeniem wybranym jest rdzeń środkowy, wówczas obydwie fale osiągną zaciski A i B równocześnie. Na wzmacniaczu pojawi się wtedy sygnał bez zniekształceń.

Wybranie któregośkolwiek z pozostałych rdzeni między zaciskiem A i środkiem W uzwojenia oraz środkiem a zaciskiem B związane będzie z pojawianiem się sygnału zniekształconego. Zniekształcenie sygnału spowodowane jest różnym czasem dojścia fal (dodatniej i ujemnej) do zacisków A i B wzmacniacza. Największe opóźnienie a tym samym największe zniekształcenie sygnału będzie dla rdzeni skrajnych, przy czym opóźnienia, zarówno rdzeni górnej jak i dolnej, gałęzi linii odczytu są jednakowe. Tak więc czas trwania sygnału na zaciskach A i B będzie wahał się pomiędzy czasem trwania sygnału pochodzącego od rdzenia skrajnego a czasem trwania nie zniekształconego sygnału pochodzącego od rdzenia środkowego.

Podobnie rzecz się ma z amplitudą przebiegów. Dlatego w celu wyznaczenia obszaru zmienności sygnałów wszystkich rdzeni płatu pamięci wystarczy wyznaczyć przebiegi czasowe rdzenia środkowego i początkowego. Ponadto ze względu na wspomnianą symetrię zniekształceń i opóźnień w dalszych rozważaniach można brać pod uwagę tylko jedną gałąź (górną bądź dolną).

Fale biegnące w uzwojeniu odczytu tłumione są przez opory występujące w obwodzie. Jedynie fale V_+ i V_- pochodzące od rdzeni skrajnych, odpowiednio gałęzi górnej i dolnej, dochodzą do zacisków wzmacniacza bez zniekształceń.

Falę V_+ rdzenia skrajnego można zapisać jako sygnał połówkowy

$$V_{+sk}(t) = V_0(t)/2 \quad (2)$$

Druga składowa sygnału rdzenia skrajnego fala $V_{-sk}(t)$ po dojściu do węzła W rozdziela się na dwie fale - przepuszczoną, proporcjonalną do iloczynu współczynnika przejścia P i fali padającej $V_{-sk}(t)$, oraz falę odbitą, proporcjonalną do iloczynu współczynnika odbicia N i fali padającej $V_{-sk}(t)$. Fala odbita pojawia się zawsze wskutek niedopasowania rezystancji R_{ti} do impedancji falowej linii Z_0 ($R_{ti} \neq Z_0$).

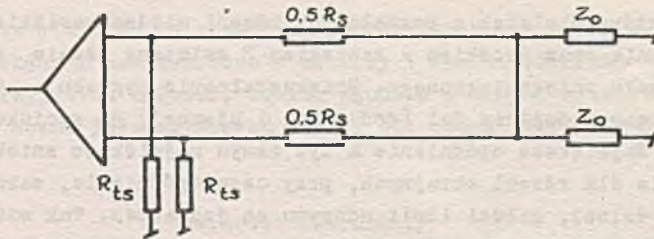
Ma to miejsce również w tym przypadku, gdyż ze względu na warunki dopasowania w fazie zapisu rezystancja R_{ti} ma wartość wypadkową dwóch impedancji falowych Z_0 przyłączonych do gałęzi górnej i dolnej linii odczytu (rys. 6 i 7).

Można więc obliczyć współczynnik odbicia, który wynosi

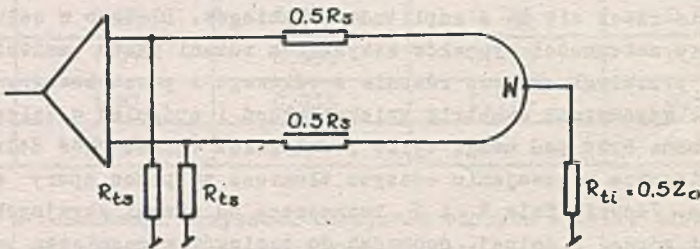
$$N = \frac{Z_w - Z_0}{Z_w + Z_0}, \quad (3)$$

gdzie $Z_w = (Z_0 \parallel R_{ti}) < Z_0$.

Jak wynika z zależności (3), współczynnik odbicia ma wartość ujemną. Dlatego iloczyn $N \cdot V_{-sk}(t)$ daje falę o biegunowości dodatniej, biegnącą do zacisku A.



Rys. 6. Stan dopasowania falowego linii w fazie zapisu



Rys. 7. Uproszczony schemat zastępczy linii w fazie odczytu

Fala przepuszczona o biegunowości ujemnej biegnie do zacisku B. Współczynnik przejścia P określający amplitudę tej fali może być obliczony z zależności

$$P = \frac{2Z_W}{Z_0 + Z_W} \quad (4)$$

przy czym $P = 1 - |N| < 1$

Rezystancje R_{ts} są tak dobrane, aby nie było odbić przy dojściu fal składowych sygnału $V_{-sk}(t)$ do zacisków wzmacniacza. Są one więc równe impedancji falowej linii Z_0 . Toteż w wyniku istnienia węzła W na zaciskach A i B pojawiają się równocześnie obie fale z tym samym opóźnieniem $0,5 t_0$ (licząc czas od chwili osiągnięcia przez falę $V_{-sk}(t)$ węzła W), dając sygnał

$$-N V_{-sk}(t) + (1+N) V_{-sk}(t) = V_{-sk}(t) \quad (5)$$

Z równania (5) wynika, że sygnał $V_{-sk}(t)$ dojdzie do wzmacniacza nieodkształcony, a tylko opóźniony o t_0 . Można więc nie uwzględniać rozpręku fal w węzle W , pomijając go nawet przy analizie przebiegów falowych (w tym przypadku). Niemniej jednak z uwagi na występowane w linii parametrów roz-

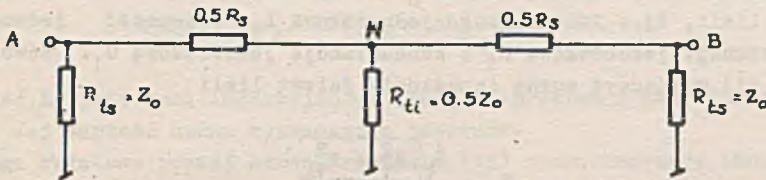
praszających (R_s, R_{ts}, R_{ti}), należy uwzględnić tłumienie fal, co wyraża wzór:

$$V_{-sk}(t) = A \frac{V_o(t-t_o)}{2}, \tag{6}$$

gdzie: A - współczynnik tłumienia.

Posługując się uproszonym rozwiniętym schematem zastępczym linii (rys. 8) współczynnik A można obliczyć z zależności

$$A = \frac{R_{ti} R_{ts}}{R_{ti}(R_{ts} + 0,5 R_s) + 0,5 R_s(R_{ts} + R_{ti} + R_{ts})}. \tag{7}$$



Rys. 8. Uproszony rozwinięty schemat zastępczy linii

Przy wybieraniu rdzenia środkowego amplitudy fal tłumione są jednakowo i proporcjonalnie do współczynnika tłumienia B, gdyż linia jest symetryczna względem węzła W. Czas opóźnienia obydwóch fal składowych wynosi $0,5 t_o$. Dlatego zapis matematyczny tych sygnałów przyjmie postać

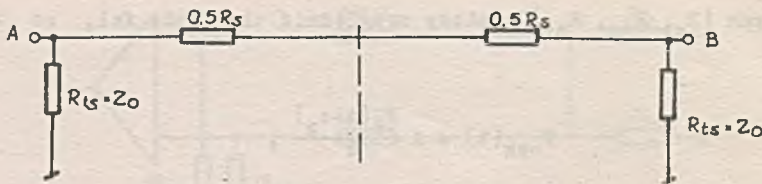
$$V_{+sr}(t) = V_{-sr}(t) = B \frac{V_o(t-0,5 t_o)}{2} \tag{8}$$

Współczynnik B wyznacza się z zależności

$$B = \frac{R_{ts}}{R_{ts} + 0,5 R_s} \tag{9}$$

Jeżeli $R_s \ll Z_o$ oraz czas opóźnienia całkowitego w linii odczytu t_o jest bardzo mały w porównaniu z czasem przełączania t_s , wówczas uproszczony schemat zastępczy linii z rys. 8 można przedstawić jak na rys.9. Współczynnik tłumienia A przyjmie wtedy postać:

$$A = \frac{R_{ts}}{R_{ts} + R_s} \tag{10}$$



Rys. 9. Uproszczony schemat zastępczy linii z pominiętym węzłem W

3. Wyznaczanie parametrów falowych linii odczytu pamięci

Parametrami linii długiej niezbędnymi do wyznaczenia obszaru zmienności sygnałów są: impedancja falowa linii Z_0 i czas opóźnienia całkowitego t_0 (czas propagacji).

Aby obliczyć impedancję falową Z_0 należy znać wszystkie parametry jednostkowe linii, tj.: indukcyjność jednostkową L_1 , pojemność jednostkową C_1 , rezystancję jednostkową R_1 i konduktancję jednostkową G_1 . Wówczas z relacji (11) wyznaczyć można impedancję falową linii

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R_1^2 + X_{1L}^2}{G_1^2 + X_{1C}^2}} \quad (11)$$

Wzór (11) jest słuszny dla sygnałów sinusoidalnie zmiennych o pulsacji ω .

W przypadku sygnałów periodycznych, niesinusoidalnych, powtarzających się z dużą częstotliwością (analizowanych po rozłożeniu ich w szereg Fouriera), moduł impedancji falowej maleje do wartości asymptotycznej odpowiadającej częstotliwości nieskończenie wielkiej. W liniach odczytu stała tłumienia $\alpha = \sqrt{R_1 G_1}$ jako składowa rzeczywista stałej propagacji γ jest pomijalnie mała ze względu na małą wartość R_1 i pomijalną konduktancję G_1 . Fale biegnące linią są tłumione tylko przez rezystancje R_{tl} , R_{ts} i R_s . Dlatego we wzorze (11) można pominąć R_1 i G_1 wyrażając impedancję falową relacją:

$$Z_0 \approx \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \sqrt{\frac{L_1 l}{C_1 l}} = \sqrt{\frac{L}{C}}, \quad (12)$$

gdzie: $L = L_1 \cdot l$ - indukcyjność całkowita linii,

$C = C_1 \cdot l$ - pojemność całkowita linii,

l - długość linii.

Czas opóźnienia fali t_0 można obliczyć ze wzoru

$$t_0 = \frac{l}{v}, \quad (13)$$

gdzie: v - prędkość przemieszczania się punktów fali po przewodzie, zwana również prędkością fazową w badaniach stanów ustalonych przy przebiegach sinusoidalnych.

Wyrażając t_0 za pomocą parametrów (indukcyjności i pojemności) linii oraz korzystając ze wzoru (13) można wyznaczyć prędkość propagacji czoła fali bieżącej z zależności

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}}, \quad (14)$$

gdzie: $t_0 = \sqrt{LC}$.

Całkowita indukcyjność linii wyrażona jest wzorem:

$$L = L_0 + nL_r \quad (15)$$

Wielkość L_0 jest sumą indukcyjności linii i sprzężeń z sąsiednimi uzwojeniami. Jej wartość można wyznaczyć z pomiarów.

Druga składowa prawej strony równania (15) charakteryzuje indukcyjność rdzeni wybieranych połówkowo, przy czym n oznacza liczbę rdzeni w linii, a L_r indukcyjność pojedynczego rdzenia obliczaną ze wzoru

$$L_r = \frac{wV_{hz} t_n'}{2 I_m}, \quad (16)$$

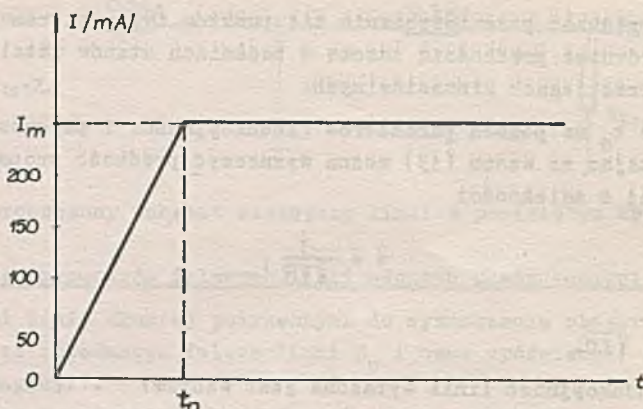
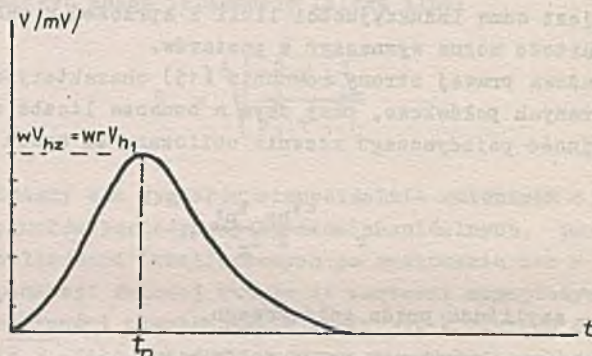
gdzie: I_m - amplituda prądu połówkowego,

t_n - czas narastania prądu połówkowego,

wV_{hz} - napięcie indukowane pod wpływem prądu I_m .

Indukcyjność L_r oblicza się przy założeniu, że napięcie wyjściowe rdzenia jest stałe. Wartość tego napięcia wyznaczana jest doświadczalnie, przyjmując go równym połowie wartości rzeczywistej napięcia indukowanego prądem połówkowym narastającym liniowo. Na rys. 10 przedstawiona jest charakterystyka czasowa prądu połówkowego $I_m = f(t)$ zaś na rys. 11 odpowiedź napięciowa rdzenia $wV_{hz} = f(t)$.

Całkowita pojemność C linii odczytu jest sumaryczną pojemnością linii z rdzeniami i pojemnością sprzężeń z innymi uzwojeniami płyty badanego i płyt sąsiednich. Pojemność tę można zmierzyć mostkiem.

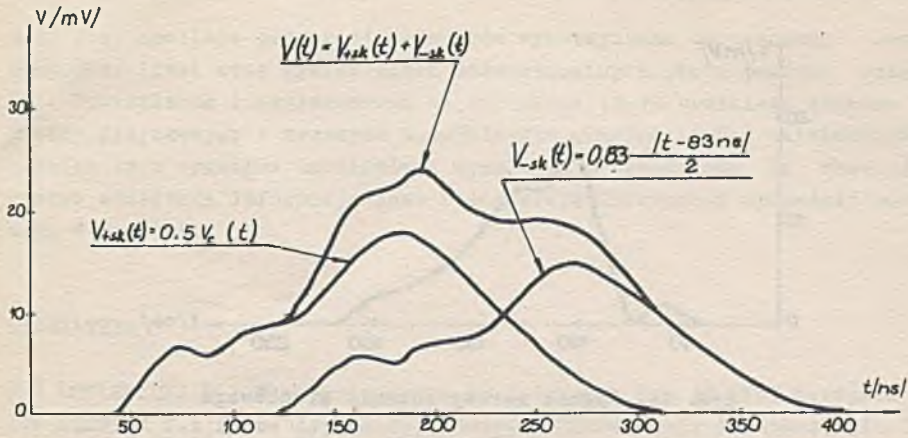
Rys. 10. Charakterystyka czasowa prądu I_m Rys. 11. Odpowiedź napięciowa rdzenia na impuls połówkowy I_m

4. Pomiary i obliczenia

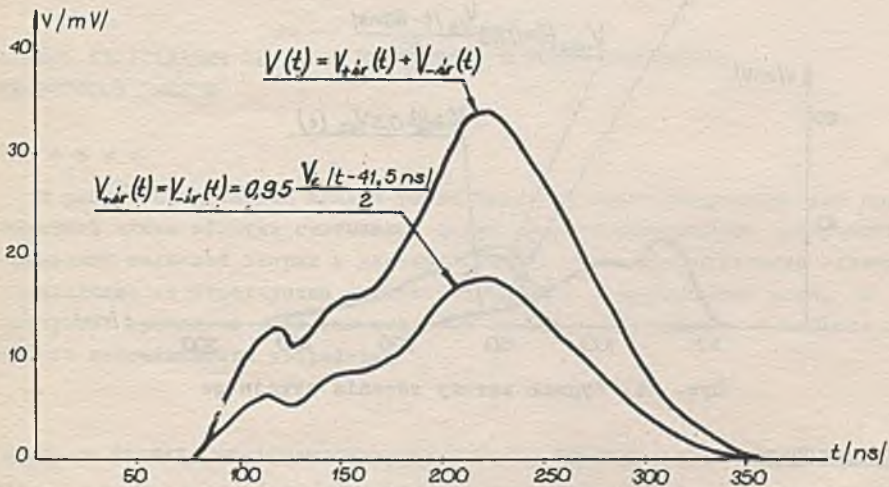
Dla danego płytki pamięci wykonano pomiary parametrów podłużnych i poprzecznych linii odczytu, których wartości wynoszą odpowiednio: $R_s = 17\Omega$, $L_o = 6 \mu\text{H}$, $G = 0,29 \mu\text{S}$ i $C = 472 \text{ pF}$. Płatek zasilany jest impulsami prądowymi o parametrach $I_m = 250 \text{ mA}$ i $t_n = 75 \text{ ns}$, przy czym odpowiedź napięciowa rdzenia (wartość szczytowa) wynosi $wV_{hz} = 3,5 \text{ mV}$. Pomierzone maksymalne opóźnienie fal wynosi 40 ns . Cykl pamięci równy jest $1;1,2 \mu\text{s}$. Tak krótki cykl pamięci daje w rozkładzie widmowym częstotliwości rzędu MHz, a zatem uproszczenie we wzorze (11) jest słuszne.

Wykorzystując wyniki pomiarów obliczono na podstawie wzorów 7, 9, 12, 13, 15 i 16 pozostałe parametry płytki oraz współczynniki tłumienia A i B, które wynoszą:

$$L_r \cong 0,525 \cdot 10^{-9} \text{ H}, \quad L \cong 14,65 \cdot 10^{-6} \text{ H}, \quad Z_o \cong 176 \Omega, \quad t_o \cong 83 \text{ ns}, \\ A \cong 0,83 \quad \text{ i } \quad B \cong 0,95$$

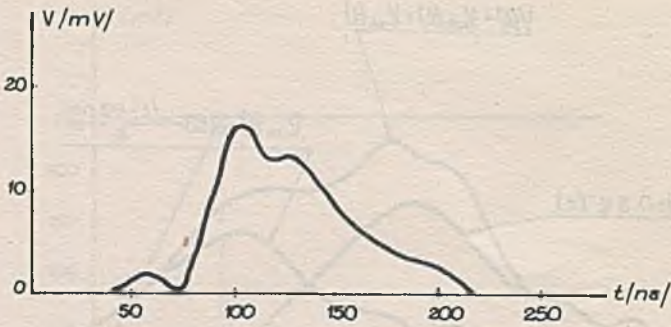


Rys. 12. Sygnał jedynkowy rdzenia skrajnego

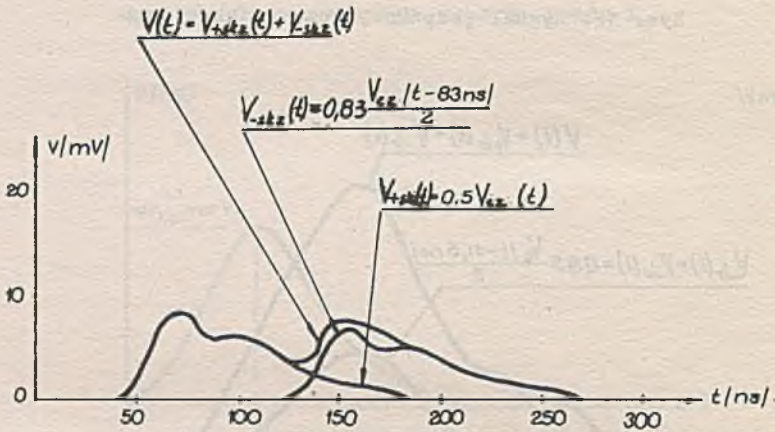


Rys. 13. Sygnał jedynkowy rdzenia środkowego

Wykonane pomiary i obliczenia umożliwiają skomponowanie najbardziej istotnych sygnałów rdzeni skrajnych i środkowych, potrzebnych do wyznaczenia "okna" strobowego pamięci. W tym celu zestawiając ze sobą fale składowe wyznaczono: sygnał jedynkowy rdzenia skrajnego (rys. 12), sygnał jedynkowy rdzenia środkowego (rys. 13), sygnał zerowy rdzenia środkowego (rys. 14) oraz sygnał zerowy rdzenia skrajnego (rys. 15). Wyniki analizy porównawczej zestawionych na jednym wykresie przebiegów stanowią odpowiedź dotyczącą określonych walorów technicznych skonstruowanej pamięci, przy użyciu zbioru najbardziej nowoczesnych elementów konstrukcyjnych - magnetycznych i półprzewodnikowych.



Rys. 14. Sygnał zerowy rdzenia środkowego



Rys. 15. Sygnał zerowy rdzenia skrajnego

5. Podsumowanie

Propagacja sygnałów użytecznych i zakłócających w rdzeniowych pamięciach operacyjnych ze względu na przeniki, odbicia i opóźnienia fal, stanowi ważny do rozwiązania na bieżąco problem dla konstruktora pamięci. Generatory sygnałów (rdzenie pamięciowe w fazie odczytu) rozłożone są wzdłuż linii odczytu. Sama linia o parametrach równomiernie rozłożonych, w artykule analizowana jest w oparciu o uproszczony schemat zastępczy, jako linia zawierająca elementy rozpraszające i zachowawcze o parametrach skupionych z węzłami na końcach i w środku linii. Uproszczenie polega na pominięciu stałej tłumienia α z uwagi na małą wartość parametrów R_1 i G_1 w porównaniu z parametrami L_1 i C_1 .

Matematyczny opis linii z podaniem analitycznego rozwiązania układu równań, bez wprowadzonych założeń upraszczających, chociaż możliwy, jest zbyt uciążliwy, zaś uzyskane wyniki byłyby prawdopodobnie nieczytelne. Dla

tego przy analizie propagacji sygnałów wykorzystano uproszczony schemat zastępczy linii oraz wyniki badań doświadczalnych płatu pamięci rdzeniowej. Sporządzone i zamieszczone na rysunkach 12-15 przebiegi czasowe sygnałów jedynkowych i zerowych z dodatkowym uwzględnieniem największych opóźnień tych sygnałów umożliwiają wyznaczenie przedziału (w czasie), w którym odczytana informacja jest rzeczywistą informacją uprzednio zakodowaną w pamięci.

LITERATURA

- [1] CHOLEWICKI T.: Elektrotechnika teoretyczna. Tom II. WNT Warszawa 1974.
- [2] SZKODNY T.: Praca dyplomowa. Instytut Konstrukcji i Technologii Urządzeń Automatyki i Informatyki. 1975.
- [3] KATALOG "UNITRA": Rdzenie o prostokątnej pętli histerezy. Zakład Materiałów Magnetycznych. "WEMA" Warszawa 1972.

АНАЛИЗ РАСХОЖДЕНИЯ СИГНАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ В ЛИНИИ СЧИТЫВАНИЯ ФЕРРИТОВОЙ ПАМЯТИ

Р е з ю м е

В работе представлен анализ расхождения сигналов напряжения для преобразованной схемы обмотки считывания ферритового запоминающего устройства на основании волновой теории в длинных линиях. Даны аналитические зависимости позволяющие на определение параметров линии и коэффициентов волн, а также построено временные диаграммы основных сигналов напряжения в матрице ферритового запоминающего устройства.

VOLTAGE SIGNALS PROPAGATION ANALYSIS IN A READING LINE OF A CORE MEMORY

S u m m a r y

The paper deals with the voltage signal propagation in a reading coil of a core memory. A simplified scheme is analysed with the wave propagation theory in long lines. A mathematical model of signal lines is given, as well as some voltage signals diagrams in a core memory matrix.