

Praca B 5 (18)

FERRYTOWO – DIODOWE UKŁADY PODSTAWOWE DO MÁSZYNY CYFROWEJ ZAM – 3M (TECHNIKA FOD) Zbigniew Świątkowski



PRACE

A kiej Akademii Nauk

Tom II

Praca B 5/18/

FERRYTOWO-DIODOWE UKŁADY PODSTAWOWE DO MASZYNY CYFROWEJ ZAM-3M /TECHNI-KA FOD/

Zbigniew ŚWIĄTKOWSKI

Warszawa 1964

Copyright 💿 1964 - by Instytut Maszyn Matematycznych, Warszawa Wszelkie prawa zastrzeżone

P.427/64

23,00 27,

Newsman Party R. Sterney Martin Pres

KOMITET REDAKCYJNY

Leon ŁUKASZEWICZ /redaktor/, Antoni MAZURKIEWICZ, Tomasz PIETRZYKOWSKI /z-ca redaktora/, Dorota PRAWDZIC, Zdzisław WRZESZCZ. Redaktor działowy: Andrzej KOJEMSKI. Sekretarz redakcji: Romana NITKOWSKA. Adres redakcji: Warszawa, ul. Koszykowa 79, tel. 28-37-29

621.374.32:621.375.3

Instytut Maszyn Matematycznych PAN Praca B 5/18/ © 1963.12

> FERRYTOWO-DIODOWE UKŁADY PODSTAWOWE DO MASZYNY CYFROWEJ ZAM-3M /TECHNIKA FOD/

> > Zbigniew ŚWIĄTKOWSKI Pracę złożono 2.01.1963 r.

W pracy opisano szczególne rozwiązanie układów należących do klasy szeregowych wzmacniaczy magnetycznych^{*} /dławiki nasycane/, które wykorzystano do realizacji sieci logicznych w maszynie cyfrowej ZAM-3M. Podano metodę projektowania oraz wstępne wyniki badań reprezentatywnych sieci logicznych, wskazujące na dużą niezawodność techniki FOD.

SPIS TREŚCI

1.	Wstęp	4
2.	Charakterystyka układów podstawowych	4
3.	Dane techniczne	9
4.	Metoda projektowania układów	11
5.	Wykorzystanie układów FOD do budowy	
	sieci logicznych	18
6.	Wyniki pomiarów	26
7.	Wyniki eksploatacyjne	33
8.	Zakończenie	34
Dod	latek 1	35
Dod	latek 2	47
Lit	teratura	55
Sun	mary	56

Serial Magnetic Amplifier /SMA/.

Prace IMM

1. Wstęp

Kryteria wyboru techniki realizacyjnej podstawowych układów maszyn cyfrowych są bardzo złożone. Pod uwagę należy brać takie czynniki, jak zapewnienie dużej pewności i odpowiedniej szybkości działania, standartowość rozwiązań i elastyczność w zastosowaniach, proste zasady łączenia w większe zespoły, mcżliwości wykorzystania dostępnych elementów, małe gabaryty, mały pobór mocy ze źródeł zasilających. W danym wypadku kierowano się przede wszystkim uzyskaniem dużej niezawodności pracy oraz możliwościami wykorzystania elementów i podzespołów produkcji krajowej.

Brak odpowiednich tranzystorów, a równocześnie rozwinięcie na skalę półtechniczną produkcji rdzeni ferrytowych z prostokątną pętlą histerezy, spowodował zwrot zainteresowań w kierunku układów magnetyczno-diodowych. Istotne zalety, takie jak prostota i duża standartowość układów, stosunkowo wysoka częstotliwość pracy, proste zasady łączenia oraz brak oddziaływania wstecznego jednych elementów na drugie zadecydowały o wyborze techniki opartej na wzmacniaczach magnetycznych typu Ramay'owskiego. Wzorowano się na układzie ferraktora opracowanego przez T.H. BONNA[J]. Zmiany schematowe wprowadzone w układach miały na celu zwiększenie niezawodności działania oraz uproszczenie systemu połączeń.

2. Charakterystyka układów podstawowych

Układy FOD^{*)} należą do klasy tzw. szeregowych wzmacniaczy magnetycznych /Serial Magnetic Pulse Amplifiers - SMA/, w nomenklaturze polskiej zwanych także dławikami nasycanymi.

Zasadniczą cechą wyróżniającą je w grupie układów magnetyczno--diodowych są napięciowe warunki przełączania rdzeni. Impulsy zasilające, spełniające jednocześnie rolę impulsów synchronizujących /stąd nazwa - impulsy zegarowe/, podawane są na układy ze źródła napięciowego. Do budowy sieci logicznych wykorzystuje się dwa standartowe układy: 'negator' /realizujący negację z opóźnieniem/,

* FOD - /ferryt - opór - dioda/

'pozytor'/realizujący opóźnienie/ oraz diody dołączane na wejściu każdego elementu. Przesyłanie informacji między układami ma charakter impulsowy. Dwu wartościom kodu binarnego '1' i '0' przyporządkowuje się odpowiednio impulsy i braki impulsów na wejściach i wyjściach układów. Występowanie określonego typu sygnału na wyjściu uzależnione jest od stanu rdzenia o prostokątnej pętli histerezy, który ustalił się po zadziałaniu sygnału wejściowego. Ponieważ do ustawienia właściwego stanu rdzenia konieczny jest określony przedział czasu T /w układach dwustanowych jest to przełączanie rdzenia ze stanu $-B_r$ do $+B_r$ lub w kierunku przeciwnym/, zapis i odczyt informacji z rdzenia musi odbywać się w dwu kolejno po sobie następujących fazach impulsów zegarowych /zasilających/. W przyjętym rozwiązaniu czas trwania każdej z faz wynosi pół okresu. Istnieją pewne metody przyspieszenia działania układów tego typu [15], prowadzą jednak do bardziej złożonych rozwiązań.

2.1. Negator

Schemat ideowy wzmacniacza magnetycznego, zwanego negatorem, przedstawiono na rys.1. Obok podano typowe przebiegi napięciowe występujące w różnych punktach układu. /Na wykresach przebiegów napięć występujących na wejściu lub wyjściu układu podano tylko poziomy powyżej zera/. Rdzeń magnetyczny został oznaczony metodą zaproponowaną w pracy [8]. /Kreski nachylone w różnych kierunkach oznaczają, że uzwojenia – wejściowe i wyjściowe – są nawinięte w przeciwnych kierunkach/.

Układ realizuje funktor negacji. Przepływ mocy do obciążenia uzależniony jest od stanu rdzenia na początku dodatniej fazy impulsów zegarowych /ZG/.

Jeśli na wejściu nie pojawia się impuls, rdzeń znajduje się w stanie '0', któremu odpowiada jeden z granicznych stanów remanencji /np. + B_r /. Włączone szeregowo z obciążeniem uzwojenie Z_2 przedstawia wtedy bardzo małą oporność, gdyż punkt pracy rdzenia przesuwa się po płaskiej części pętli histerezy i moc ze źródła



Rys.1. Schemat ideowy negatora oraz typowe przebiegi /impulsy zasilające, wejściowe i wyjściowe/. Cyfry rzymskie oznaczają fazy.

Tr - uzwojony rdzeń toroidalny z prostokątną pętlą histerezy, R₁, R₂ - oporniki, D₁, D₂, D₃, D₄ - diody germanowe, Z₁, Z₂ - uzwojenia.

zasilającego /ZG/ jest przekazywana do obciążenia. Dodatni impuls napięciowy podany na wejście sprowadza rdzeń do stanu '1'/- B_r /. Działający w następnej fazie impuls zegarowy powoduje powrót rdzenia do stanu '0'. W czasie przełączania uzwojenie Z_2 przedstawia bardzo dużą oporność, na której odkłada się całe napięcie impulsu ze źródła zasilającego /ZG/ i moc do obciążenia nie płynie. Aby na wyjściu nie pojawiały się impulsy szkodliwe, tzw. zakłócenia, czas trwania impulsów zegarowych powinien być równy czasowi przełączania rdzenia. Wzmocnienie w układzie uzyskuje się dzięki nieliniowej charakterystyce rdzenia z prostokątną pętlą histerezy. W czasie przełączania rdzenia przez uzwojenie wejściowe, prąd w obwodzie wyjściowym nie płynie, gdyż napięcie zegarowe ma wtedy wartość ujemną. Energia potrzebna do przełączenia rdzenia przez uzwojenie wejściowe jest dużo mniejsza od energii, która może być dostarczona do obciążenia. Główne ograniczenie tej ostatniej spowodowane jest przez diodę wyjściową D, . /Włączenie diody w obwód wyjściowy zapobiega przełączaniu rdzenia przez ujemne impulsy zegarowe/. Aby po przełączeniu rdzenia nie następowało zwieranie źródła zasilającego, w szereg z uzwojeniami włącza się specjalne układy, ograniczające prąd. W danym rozwiązaniu są to oporniki w połączeniu z diodami /tzw. studnie/, które stabilizują potencjał dolnego końca uzwojenia w czasie przełączania. Zapewnia to w pełni napięciowe przełączanie rdzenia, a ponadto znacznie poprawia warunki pracy układów, gdyż unika się strat napięcia impulsowego na opornikach. Zastosowanie studni na wyjściu układu powoduje dodatkowo, że prąd płynący w czasie przełączania rdzenia /brak impulsu na wyjściu/ nie zamyka się przez obciążenie.

Jako napięcie zasilające studnię stosuje się z reguly napięcie stałe /-U/. Wprowadzenie na studnię wejściową polaryzacji impulsowej wydatnie poprawiło warunki pracy układu. Impulsy podpierające /ZS/ zwane też impulsami strobującymi /a źródło - zegarem strobującym/ zostały przesunięte w fazie względem impulsów ZG. W ten sposób pod koniec fazy wejściowej dodatnie połówki ciągu ZS powodują, że pojawiające się na wejściu zakłócenia nie oddziaływują na rdzeń. Ze względu na rozrzuty parametrów elementów i napięć zasilających oraz zapewnienie warunków pełnego przełączania rdzeni, występowanie szkodliwych wyskoków napięcia pod koniec fazy wyjściowej /wtedy, gdy na wyjściu nie powinny pojawiać się impulsy/ jest nieuniknione. Wprowadzenie strobowania umożliwia zastosowanie elementów o większym rozrzucie parametrów oraz dopuszcza większe zmiany napięć zasilających. Oddziaływanie transformatorowe w układzie zostało zlikwidowane przez wprowadzenie strobowania oraz polaryzacji stałym napięciem źródła impulsów zegarowych.

2.2. Pozytor

Schemat ideowy układu przedstawiono na rys.2. Układ realizuję funkcję logiczną twierdzenia /spełnia rolę wzmacniacza opóźniającego/. Przy wyborze układu starano się uzyskać jak największą zbieżność z układem negatora. Z możliwych do przyjęcia wybrano wariant wykorzystujący zasadę koincydencji impulsów w obwodzie wejściowym.



Rys.2. Schemat ideowy pozytora oraz typowe przebiegi.

Tr - uzwojony rdzeń toroidalny o prostokątnej pętli histerezy, R₁, R₂ - oporniki, D₁, D₂, D₃, D₄, D₅ - diody germanowe, Z₁, Z₂ - uzwojenia.

Zasada pracy układu jest następująca: dodatnie impulsy ciągów zegarowych /ZG/ i /ZP/ przełączają rdzeń w przeciwnych kierunkach. Wobec tego, gdy na wejściu brak jest impulsów, rdzeń jest cyklicznie przełączony z jednego stanu nasycenia w drugi i na wyjściu impulsy nie pojawiają się. Jeśli na wejściu pojawi się impuls, uniemożliwia on przepływ prądu przez uzwojenie wejściowe i rdzeń nie zostaje przełączony. Występujący w następnej fazie impuls zegarowy /ZG/ powoduje przesuwanie się punktu pracy po plaskiej części pętli histerezy /mała oporność/ i na wyjściu układu pojawia się impuls. Impulsy ZP są przesunięte w fazie względem impulsów ZG o (7/+ 5), gdzie 1/2 jest połową okresu fali zegarowej. Dodatkowe przesunięcie fazowe 5 jest tak dobrane, aby zabezpieczało pełne zablokowanie wejścia przez zawężone impulsy wejściowe /zawężenie wynikające z właściwości układów FOD/. Wprowadzone i w tym układzie strobowanie /ZS/ ma na celu przede wszystkim zwiększenie marginesów napieć zasilających. Pozostałe elementy spełniają podobną rolę jak w negatorze dais parametrów clementów.

Dopuisazzalna 11046 diod dolqozonych do wejfola - 25. Dopuisazzalna 11046 układów dolqozonych do wyjścia, tow.wspólupyneji powiejania - 6 nezatorów lub + pozytory.

Opracowanie elementów postępowało równolegle z pracami nad metodami projektowania. Z tego względu parametry układu są wynikiem superpozycji obliczeń i danych eksperymentalnych. W układach zastosowano rdzeń z ferroksydu R2 /produkcji ZDIMM/ o wymiarach D = 2,6 d = 1,8 h = 0,8; /selekcjonowane - typ F1 i F2/ diody DOG 60 i DOG 59 /produkcja 'Tewa'/; oporniki OWS 5% 0,25W kl.II.

Parametry układów:

Częstotliwość pracy	:	200	kF	Iz; fa	la pro	ostoka	atna,	wypełnienie	0,5
Uzwojenie rdzenia F1	:	[Z1	=	60	^z 2 =	135	/nega	ator/	
		[Z1		50	^Z 2 =	135	/pozy	rtor/	
Uzwojenie rdzenia F2	:	(Z1	=	55	² 2 =	125	/nega	ator/	
		(z1		45	² 2 =	125	/pozy	rtor/	
Oporniki	:	R,	-	2,4k2	Ro	= 5,11	c N		

Zbigniew ŚWIĄTKOWSKI Prace IMM

Diody : DOG 60 1 DOG 59 selekojonowane ze względu na dynamiczny spadek napięcia w kierunku przewodzenia oraz dynamiczny prąd wsteczny. Napiecia zasilajace : ZG. ZS. ZP. -U

: $U_{\pi}(+)$, $U_{8}(+) = 8V \pm 5\% U_{n}(+) = 6,5V \pm 5\%$ Dodatnia amplituda : $U_{Z(-)}$, $U_{S(-)} = -207 \pm 10\% U_{P(-)} = -18,57 \pm 10\%$ Ujemna amplituda Polaryzacja impulsów $-U_{x0} = -6V \pm 10\%$ ZS of= 0,5 µs ± 5% Przesuniecie fazowe Przesunięcie fazowe ZP $\delta = 0.65 \ \mu s \pm 5\%$ Polaryzacja studni wyjściowej -U = -16V ± 10%

Wzajemne usytuowanie ciągów zegarowych przedstawiono na rys.1. 1 2.

Układy mogą pracować w zakresie temperatur +15 - +45°C przy wilgotności względnej 94% przy najbardziej niekorzystnym rozkładzie parametrów elementów.

Dopuszczalna ilość diod dołączonych do wejścia - 25.

Dopuszczalna ilość układów dołączonych do wyjścia. tzw.współczynnik powielania - 6 negatorów lub 4 pozytory.

Przy połączeniu mieszanym obowiązuje zależność

$$N \ge 2 + P \ge 3 \le 12,$$

gdzie N - ilość negatorów, P - ilość pozytorów. Dopuszozalne obciążenie pojemnościowe - C_{imax} = 500 pF. $-R_{min} = 150 \Omega$. Dopuszczalne obciążenie oporowe

B 5/18/ FERRYTOWO-DIODOWE UKŁADY PODSTAWOWE DO M.C. ZAM-3M

4. Metoda projektowania układów.

Przy projektowaniu podstawowych układów maszyn cyfrowych należy uwzględnić następujące parametry:

- 1: niezawodność,
- 2. charakterystykę dyskryminacji,
- 3. wzmocnienie mocy,
- 4. częstotliwość pracy,
- 5, moc strat.

Wagi przypisywane poszozególnym parametrom zależą od przewidywanych zastosowań; przy projektowaniu układów FOD przyjęto wagi malejące zgodnie z podaną kolejnością.

Zapewnienie dużej niezawodności działania wiąże się z zastosowaniem odpowiedniej metody projektowania /np. projektowanie przy uwzględnieniu najgorszych okoliczności - worst case design' lub metoda statystyczna/ z prawidłowym wyborem elementów oraz zapewnieniem im odpowiednich warunków pracy. Pierwszorzędną rolę odgrywają także zagadnienia konstrukcyjne i technologiczne.

Właściwa charakterystyka dyski minacji pozwala na ostre rozgraniczenie dwu grup sygnałów interpretowanych odpowiednio jako'0' i '1' W danym wypadku dąży się do uzyskania przebiegu schodkowego /rys.3/. Przy rozpatrywaniu układów magnetycznych, zamiast amplitud na osiach rzędnych i odciętych odkłada się wartości pól powierzchal sygnałów

 $\int_{0} U_{we} dt; \quad \int U_{wy} dt$

Zbigniew ŚWIĄTKOWSKI

Prace IMM

Wzmocnienie mocy jest niezbędne ze względu na realizację rozgałęzień w obwodach logicznych. Uzyskanie dużego wzmocnienia umożliwia znaczne zmniejszenie ilości użytych elementów.

Częstotliwość pracy warunkuje szybkość przetwarzania informacji i z tego powodu powinna być jak największa.

Od mocy strat zależy pobór energii ze źródeł zasilających oraz grzanie się urządzeń. Z tego względu moc strat powinna być możliwie mała.



Rys.3. Idealne charakterystyki dyskryminacji: a/ pozytora, b/ negatora.

Projektowanie polega na takim doborze wartości elementów wohodzących w skład układów, aby w efekcie uzyskać założone parametry. Sprowadza się to do wyznaczenia ilości zwojów oraz wartości oporników i napięć zasilających przy założonych parametrach rdzeni i diod.

Właściwości rdzenia zgodnie z [4] ocenia się na podstawie charakterystyki impulsowej $\Delta \phi_{\tau} = f(0)$, zdejmowanej dla różnych ozasów przełączania (τ). Jest to zależność przyrostu strumienia magnetycznego w funkcji przepływającego przez uzwojenie magnesujące ładunku elektrycznego. Właściwości diod określa się na podstawie dynamicznego spadku napięcia w kierunku przewodzenia /charakterystyka włączania/ i szybkości zaniku prądu przy wstecznym spolaryzowaniu /recovery time/.^{*)}

[🔻] Zagadnienie wyboru elementów do układów FOD zostało omówione w dodatku 1.

B 5/18/ FERRYTOWO-DIODOWE UKŁADY PODSTAWOWE DO M.C. ZAM-3M

Zależności^{*}) na podstawie których określa się ilości zwojów transformatorków, wyprowadzono w oparciu o II prawo Kirchhoffa dla obwodów elektrycznych, podstawiając, zamiast spadków napięć na elementach oraz sił elektromotorycznych, wielkości uśrednione za pół okresu. W ten sposób można uniknąć zależności nieliniowych, wprowadzając do równania wielkość ładunku elektrycznego, potrzebnego do przełączenia rdzenia. Spadek napięcia na uzwojeniu określa się z prawa Faraday'a.

4.1. Określenie ilości zwojów wyjściowych Z₂

$$\frac{1}{2} U_{z}(+) T = Z_{2} \left(\Delta \phi + \Delta \phi_{0} \right) + \frac{2Q_{w}}{Z_{2}} r_{d} - \frac{1}{2} i_{s2} r_{s} T$$
 /1/

gdzie: $U_{Z_{(+)}}$ - amplituda dodatnich impulsów zegarowych /ZG/ [V] $\Delta \Phi + \Delta \Phi_{o}$ - strumień pełnego przełączania [V.µs]**) Q_{w} - ładunek pełnego przełączania [pC.zw]**) r_{d} - zastępcza oporność dynamiczna diody D₃ [kß] r_{s} - zastępcza oporność statyczna diody D₂ [kß] i_{s2} - prąd stały płynący w oporniku R₂ [mA] T - okres impulsów zegarowych [µs] Z_{2} - ilość zwojów wyjściowych.

Schemat układu, w którym odbywa się przełączanie przedstawiono na rys.4.

Kolejne człony równania /1/ odpowiadają spadkom napięcia na poszczególnych elementach obwodu.

 $\frac{1}{2} U_{z}(+)^{T} - \text{wartość średnia napięcia zegarowego}$ $Z_{2}(\Delta \phi + \Delta \phi) - \text{wartość średnia spadku napięcia na uzwojeniu } Z_{2}$

* Ogólna forma zależności /1/, /2/ i /3/ została zaczerpniętna z pracy [1] /p. Literatura/.

** Szczegółowe dane patrz dodatek 1.

Zbigniew ŚWIĄTKOWSKI

Prace IMM

121



 średni spadek napięcia na diodzie, pochodzący od prądu przełączającego rdzeń

 $\frac{1}{2}$ i_{s2} r_s T - średni spadek napięcia na diodzie, pochodzący od prądu stałego studni.



Rys.4. Schemat układu, w którym odbywa się przełączanie rdzenia przez impulsy ZG.

4.2. Określenie ilości zwojów wejściowych /negator/.

Przekładnia musi być tak wybrana, aby było możliwe pełne przełączenie rdzenia.

$$U_{z}(+)T_{1} = [\beta \Delta \phi + (1 + \beta) \Delta \phi_{0}]Z_{2} + U_{D}T_{1} + 2\frac{Q_{W}}{Z_{2}}r_{d} + -i_{s1}r_{s}T_{1} + Z_{1}(\Delta \phi + \Delta \phi_{0})$$

gdzie:

- /3 współozynnik określający zawężenie impulsów przez diodę D₄*)
- $U_D dynamiczny spadek napięcia na diodzie D₄ dla max.$ prądu wyjściowego <math>[V],

i_{s1} - prąd stały płynący w oporniku R₁ [mA]

^{*} Zawężanie impulsów wyjściowych jest wynikiem szkodliwego przełączania rdzenia przez dynamiczny prąd wsteczny, płynący przez diodę w ujemnej fazie impulsów zegarowych.

B 5/18/

 $T_1 = (T_2 - E)$. okres działania impulsów wejściowych,

 \mathcal{E} - przesunięcie fazowe ZS,

inne oznaczenia - patrz p.4.1.

W równaniu /2/ pierwszy składnik po prawej stronie określa średni spadek napięcia na uzwojeniu wyjściowym układu dołączonego do wejścia, wynikający z nieidealnej prostokątności rdzenia i z zawężenia impulsu, spowodowanego przepływem dynamicznego prądu wstecznego przez diodę D4.

Drugi składnik określa dynamiczny spadek napięcia na diodzie D_4 przy maksymalnym prądzie przewodzenia. Trzeci i czwarty, podobnie jak w równaniu /1/, określają spadek napięcia na diodzie D_1 , zaś ostatni składnik odpowiada spadkowi napięcia na uzwojeniu wejściowym.

Obwód przełączania rdzenia przez uzwojenie wejściowe przedstawiono na rys.5.



Rys.5. Schemat przełączania rdzenia przez napięcie na uzwojeniu wejściowym.

4.3. Określenie ilości zwojów wejściowych /pozytor/

$$U_{p(+)} T_2 = Z_1 \left(\Delta \phi + \Delta \phi_0 \right) + \frac{2Q_w}{Z_1} r_d - i_{s1} r_s T_2$$

gdzie: $T_2 = (\frac{1}{2}T - \xi - \delta)$ - okres działania impulsów zegara pozytorowego

 \mathcal{E} - przesunięcie zegara strobującego /ZS/ względem ZG \mathcal{S} - przesunięcie zegara pozytorowego /patrz rys.2/

/4/

171

 Q_w - ładunek pełnego przełączania dla czasu T_2 $U_{p(+)}$ - amplituda impulsów ZP [V].

Ilość zwojów wejściowych w pozytorze określa się w podobny sposób jak ilość zwojów wejściowych w negatorze, uwzględniając inne parametry impulsów zegarowych /mniejsza amplituda i zawężenie szerokości impulsów/.

4.4. Określenie ujemnej polaryzacji impulsów zegarowych.

Polaryzacja musi być tak dobrana, aby przetransformowane na stronę wtórną napięcie wejściowe nie odtykało diod D_3 i D_4

$$U_{zo} = \frac{U_{z(+)}}{2a} (1 - a),$$

gdzie a = $\frac{Z_1}{Z_2}$ - przekładnia transformatorka.

4.5. Określenie oporności i napięcia polaryzacji studni.

$$R_{1} = \frac{U_{z} + 2U_{zo} - U_{Ds}}{I_{s1}}$$
 /5/

$$R_2 = \frac{U}{i_{s2}}$$
 /6/

$$U = \frac{U_z i_{s2}}{i_{s2} max - i_{s2}} + U_D$$

gdzie: R₁ - opór w studni wejściowej [k Ω] R₂ - opór w studni wyjściowej [k Ω] U - stała polaryzacja impulsów ZG [V]

U_{Ds} - spadek napięcia na diodzie studni określony z charakterystyk statycznych [V]

U - stałe napięcie polaryzujące studnię wyjściową [V]

$$i_{s_1} = m \frac{Q_0^{\circ}}{T_1 Z_1}$$
 prąd stały w studni wejściowej [mA]

 $i_{s2} = m \frac{2Q_0}{TZ_2}$ prąd stały w studni wyjściowej [mA]

 $i_{s2max} = \frac{2Q_w}{TZ_2} (1 + k)$ - maksymalny prąd studni po przełączeniu rdzenia [mA].

Napięcie studni oraz wartości oporności dobiera się w taki sposób, aby płynący prąd stały przewyższał wielkość prądu w czasie przełączania rdzenia /w tym celu do zależności określającej prąd przełączania wprowadzono współczynnik m/ oraz, aby prąd pobierany na wejściu lub ze źródła impulsów zegarowych po przełączeniu rdzenia nie był zbyt duży /np. ok. dwa razy większy od prądu przełączania/. Warunek ten wykorzystano w równaniu /7/, gdzie przyrost po przełączeniu określony jest współczynnikiem k.

Współczynniki k i m należy tak dobrać, aby nie przekroczyć dopuszczalnego poziomu mocy traconej w oporniku. Q₀ i Q_w określają ładunek graniczny i ładunek pełnego przełączania rdzenia.*)

Kolejne etapy projektowania przedstawiono na schemacie, rys.6. Linie sprzężenia zwrotnego uwzględniają możliwości ewentualnego przeprojektowania w razie przekroczenia dopuszczalnych wartości napięć zasilających lub mocy strat.

p. dodatek 1.

B 5/18/

Zbigniew ŚWIĄTKOWSKI

Prace IMM



Rys.6. Schemat czynnościowy projektowania.

Podane zależności dają wyniki przybliżone, jednak wystarozająoo dokładne dla celów praktycznych. Opracowanie ścisłej analizy matematycznej ze względu na nieliniowe właściwości użytych elementów staje się bardzo złożone i mało efektywne.

5. Wykorzystanie techniki FOD do budowy sieci logicznych.

Opracowane układy podstawowe umożliwiają realizację wszystkich zespołów logicznych maszyny cyfrowej. 5.1. Właściwości logiczne.

att anothing the state

Rolę elementów logicznych spełniają negatory z włączonymi na wejściu diodami. Pozytory spełniają rolę pomocniczą, dostarczając w razie potrzeby niezanegowanego wyjścia lub wyrównywując opóźnienia w poszczególnych torach przesyłania informacji. Przy projektowaniu można stosować konwencję prostą, impuls = 1 i brak impulsu = 0, lub odwrotną, impuls = 0 i brak impulsu = 1. Dlatego wygodniej opisać właściwości elementów stosując tabelki impulsowe /rysunek 7/.





Rys.7.	Tabelki impulsowe układów	FOD.
	a. pozytor, b. negator,	c. warstwa diodowa.
	brak impulsu	x - wejście
	impuls	y - wyjście

Symbole graficzne elementów, stosowane przy wykreślaniu schematów logicznych, przedstawiono na rys.8 i 9.



Rys.8. Konwencja prosta - oznaczenia elementów.

Zbigniew ŚWIĄTKOWSKI

Prace IMM



Rys.9. Konwencja odwrotna - oznaczenia elementów.

Funkcje logiozne, należące do klasy funkcji niemalejących lub niemalejących w sensie szerszym, realizuje się przez kaskadowe łączenie negatorów i pozytorów za pomocą układów diodowych. Przykłady tego typu połączeń podano na rys. 10.





Rys.10. Przykłady funkcji niemalejących i niemalejących w sensie szerszym: a. realizacja iloczynu logicznego, b. realizacja funkcji złożonej.

³ Są to takie funkcje, dla których wyrażenie przedstawiające uproszczoną forzę dysjunkcyjną nie zawiera jednocześnie zmiennych i ich negacji /inuw nazwa - klasa R/. Realizacja innych klas funkcji wymaga wprowadzenia na wejście układu argumentów funkcji i ich negacji. Jako przykład można podać funkcje opisujące właściwości układów dekodujących. Matrycę negatorową ośmiowyjściową [16] przedstawiono na rys.11. Dla danej kombinacji sygnałów wejściowych sygnał pojawia się tylko na jednym wyjściu Yj, określonym indeksem 'j' w tabelce zerojedynkowej.



Rys.11. Schemat układu i tabelka funkcyjna matrycy negatorowej ośmiowyjściowej.

Latwo zauważyć, że realizacja opisanych funkcji wiąże się ze stosunkowo dużymi opóźnieniami wnoszonymi przez poszczególne warstwy układów FOD. Stanowi to jedną z głównych wad systemu, gdyż w zasadniczy sposób ogranicza szybkość przetwarzania informacji. Właściwości opóźniające znajdują zastosowanie przy realizacji sieci z pamiętaniem /sequential circuits/. Podstawowym układem tego typu jest przerzutnik dynamiczny /rys.12/, który stanowi podstawowe ogniwo liczników i rejestrów.



Rys.12. Przerzutnik dynamiczny.

Działanie układu opisuje zależność

 $p_2(\tau) = \bar{b}_2 (a_1 + p_2)$

gdzie: p_{2(T)} - stan wyjścia /opóźniony o dwie fazy zegarowe/,

a1 - wejście zapalające,

b₂ - wejście gaszące.

Przykład bardziej złożonego układu podano na rys.13. Jest to element lioznika dwójkowego, którego działanie opisują zależności

> $a_{(\tau)} = a\overline{p} + \overline{a}p$ $p_{(\tau)} = a \cdot p$



Rys.13. Pojedynczy stopień licznika binarnego: a. schemat logiczny, b. tabelka funkcyjna.

Dynamiozny rejestr z dodawaniem jedynki przedstawiono na rys. 14a. Wprowadzanie i wyprowadzanie informacji z rejestru jest równoległe. Na rys.14b pokazano dwa stopnie statycznego rejestru równoległego z szeregową likwidacją przeniesień. a. milion Mar merris als also destructions sortene devinie a





Rys. 14. a - dynamiczny rejestr z dodawaniem jedynki, b - statyczny rejestr z szeregową likwidacją przeniesień. We - wejście, (Wy - wyjście, S - sterowanie.

Zbigniew ŚWIĄTKOWSKI

Prace IMM

W pewnych zastosowaniach, gdzie nie odgrywa roli opóźnienie wnoszone przez poszczególne stopnie, jako jednostkę podstawową można przyjąć element dwustopniowy, realizujący w konwencji odwrotnej sumę iloczynów. Schemat prostego sumoiloozynu pokazano na rys. 15 oraz podano symbol logiczny układu. Przy wykorzystaniu sumoiloczynów można pominąć zależności fazowe między poszczególnymi impulsami i łączyć bezpośrednio wejście i wyjście połączonych kaskadowo układów. Układ realizuje funkcję typu:

 $y = \sum_{1}^{k} \left(\prod_{1}^{n_{k}} x_{\underline{i}}\right)$

gdzie: k - ilość układów w warstwie wejściowej n_v - ilość argumentów na wejściu k-tego układu.



Rys.15. a. Przykład sumoiloczynu. b. Uproszczony symbol.

Omówione układy najefektywniej mogą być wykorzystane w systemach szeregowych maszyn cyfrowych lub szeregowych układach przetwarzania danych o niezbyt wysokich szybkościach działania. Ze względu na dużą uniwersalność elementów można je także wykorzystywać w systemach pracujących równolegle /maszyna ZAM-3M/. Ze względu na specyficzne wymagania związane z takim reżimem pracy, został opracowany specjalny układ, tzw. tranzystorowy powielacz mocy,zwiększający możliwości wysterowania dużej ilości elementów.

5.2. Konstrukcja zespołów.

Układy podstawowe zostały bezpośrednio zmontowane na pakietach z wykorzystaniem technologii obwodów drukowanych. Typowy pakiet, zawierający negatory, pozytory i dodatkowe diody wejściowe, przedstawiono na fotografii /fot.1/. Zestawy elementów na poszozególnych pakietach ustalono na podstawie analizy schematów logicznych budowanego urządzenia. Pozwoliło to na maksymalne wykorzystanie układów podstawowych, bez pozostawiania zbędnych rezerw.

Ze względu na małe oporności wyjściowe oraz formowanie impulsów, w każdym elemencie wzmacniającym, problemy połączeń między poszczególnymi elementami nie są trudne do rozwiązania. Wprowadzono kablowanie pojedynczymi przewodami, stosując zasadę najkrótszych połączeń. Większe znaczenie ma prawidłowe rozwiązanie zasilania impulsowego /napięcia zegarowe ZG, ZS, ZP/. Przy stosowaniu zasilacza centralnego przesyłanie znacznych mocy impulsowych na duże odległości stanowi poważne trudności, dlatego zastosowano zasilanie zdecentralizowane /pakiety zasilania obok układów logicznych/. W tym celu zostały opracowane specjalne układy wzmacniaczy tranzystorowych, generujących ciągi ZG, ZS i ZP. Proste rozwiązania schematowe zapewniają dużą trwałość i pewność działania układów. Schemat standartowego wzmacniacza wyjściowego impulsów zegarowych przedstawiono na rys.16.



Rys.16. Przeciwsobny wzmacniacz mocy.

Zbigniew ŚWIATKOWSKI Prace IMM

6. Wyniki pomiarów.

W celu skontrolowania przyjętej metody projektowania, przeprowadzono szereg pomiarów sprawdzających na prostych układach.

Podstawowym kryterium prawidłowej pracy pojedynczego elementu jest zgodny z założeniami przebieg charakterystyki dyskryminacji. Typowe przebiegi uzyskane dla opracowanych układów przedstawiono na rys.17 i 18. Płaskie odcinki na wykresach odpowiadają pracy stabilnej elementu, zaś odcinki strome - pracy niestabilnej.



Rys.17. Rodzina charakterystyk dyskryminacji negatora. Parametr - amplituda zegara głównego /ZG/;

$$x = \int_{0}^{T/2} U_{we} dt \qquad y = \int_{0}^{T/2} U_{wy} dt$$





 $\mathbf{x} = \int_{\mathbf{0}}^{\mathbf{T}/2} \mathbf{U}_{we} dt \qquad \mathbf{y} = \int_{\mathbf{0}}^{\mathbf{T}/2} \mathbf{U}_{wy} dt$

Punkt zwrotny na charakterystyce stanowi przecięcie z prostą y = x. Po jego przekroczeniu występuje zmiana stanu układu. Jeśli stroma część charakterystyki nie przecina prostej y = x, układ stajż się jednostabilny. Łatwo zauważyć, że negatory odznaczają się większą stabilnością pracy i z tego względu zalecane jest częstsze wykorzystywanie ich w układach. Przy badaniu układów złożonych przyjęto jako podstawowe układy długie pętle. Układ składa się z szeregowego połączenia elementów pracujących w układzie zamkniętym /stąd nazwa pętla/.

Schemat petli ośmionegatorowej przedstawiono na rys.19.



Rys.19. Pętla ośmionegatorowa z dołączonymi obciążeniami.

Z rozważań teoretycznych wynika, że najbardziej krytyczne warunki pracy występują w bardzo długich pętlach, przechowujących ciągi złożone z szeregu kolejnych jedynek i zer. Ze względu na możliwości techniczne badano pętle 8 negatorów i 8 pozytorów. Badania polegały na zdejmowaniu obszaru poprawnej pracy układów przy zmianie napięcia zasilającego U_z oraz w funkcji przesunięcia fazowego ZS (\mathcal{E}).

Jako kryterium poprawnej pracy przyjmowano utrzymywanie się zapisanej w układzie informacji, która w danym wypadku odpowiadała ciągowi '0011'. Dla porównania zdejmowano także obszar, w którym przy rozwartej pętli stany wyjść poszczególnych układów nie ulegają zmianie; jest to tzw. obszar pamiętania statycznego.

* Jest to spowodowane stanami przejściowymi związanymi z niepełnym przełączaniem rdzeni przy dolnej granicy napięć zasilających.

Prace IMM



Rys.20. Obszar przechowywania ciągu '1100' w pętli 8 negatorów. n - ilość pozytorów dołączona do wyjścia każdego negatora /symulacja przy pomocy opornika/.

Wyniki pomiarów pętli negatorowej przedstawiono na rys.20, zaś dla pętli pozytorowej - na rys.21. Uzyskane dopuszczalne granice zmian napięć zasilających są nie mniejsze od ± 25%, co gwarantuje poprawną pracę dużych układów.



Rys.21. Obszar przechowywania '0' i '1100' w pętli 8-pozytorowej.

Zachowanie się bardziej skomplikowanych układów można ocenić na podstawie pomiarów układu PNM-4/19 /licznik pozytorowo-negatorow" modulo 4, złożony z 19 układów podstawowych/. Schemat oraz opis układu przedstawiono na rys.22. Pomiary marginesowe przedstawiono na rys.23. Cechą charakterystyczną -ikładu jest duża różnorodność warunków pracy poszczególnych układów pod względem obciążeń i ilości argumentów wejściowych oraz taka konstrukcja logiczna, która

B 5/18/ FERRYTOWO-DIODOWE UKLADY PODSTAWOWE DO M.C. ZAM-3M

zapewnia, że układ wytrącony ze stanu dynamicznego /liozenie modulo 4/ powraca zawsze do stanu początkowego, charakteryzującego się występowaniem ciągu '0' lub '1' na wyjściu kontrolnym.

Rozwiązanie takie pozwala na przyjęcie jako kryterium poprawnej pracy układu zmiany stanu na wyjściu kontrolnym. Przeprowadzone badania temperaturowe potwierdziły możliwość pracy układu w zakresie temperatur od 10 do 50[°]C.

Licznik pozytorowo-negatorowy modulo 4, /PNM 4 - 19/*)

Wz	or	y**).																					
x ₁	=	x2	+	x ₃	+	x ₁	+	x ₄																
x ₂	=	x2	+	x4	+	x ₅	+	x ₁	+	×3	+	×5												
xż		x ₁	+	x ₃	+	x2	+	x ₃	+	x2	+	×4	+	×5	+	x ₆								
x'4	=	x2	+	×4	+	x ₅	+	x ₂	+	x3	+	x ₅	+	x ₂	+	×3	+	×4	+					
	+	x ₁	+	×4	+	x ₆	+	x ₁	+	×4	+	x ₅	+	x ₁	+	×3	+	x ₆						
x3	=	x ₂	+	x ₃	+	x ₆	+	x2	+	×4	+	x ₅	+	x ₁	+	×4	+	×5	+	x1	+	×2	+	×4
x;	н	x ₁	+	x ₄	+	x ₁	+	x3														1		
1	=	im	pul	Ls															-					

* Układ został zaprojektowany przez mgr inż. S. Waligórskiego.

** x^{*}_n oznacza stan wyjścia układu z grupy () opóźniony o dwie fazy zegarowe względem x_n (gdzie n = 1,2,3, ..., 6).

31

State: Chases preav lightly block /12

Zbigniew ŚWIĄTKOWSKI Prace IMM



Rys.22. Schemat licznika negatorowo-pozytorowego PNM-4 /19/.



Rys.23. Obszar pracy licznika PNM-4 /19/.

B 5/18/ FERRYTOWO-DIODOWE UKŁADY PODSTAWOWE DO M.C. ZAM-3M

7. Wyniki eksploatacyjne.

W latach 1960-63 wykonano kilka urządzeń w technice magnetyczno-diodowej /rozwiązanie układowe bardzo zbliżone do układów FOD, nazwa dokumentacyjna FFA-3/.

Częstotliwości występowania uszkodzeń typu katastroficznego /uszkodzenie zupełne elementu/ i parametrycznego /zmiany starzeniowe elementów/ były znikomo małe.

- Urządzenie UKAS-1 służące do kontroli pakietów z układami podstawowymi: Ilość układów podstawowych 135. Czas pracy urządzenia^{*}ok. 4000 godz. Ilość zauważonych uszkodzeń - brak.
- Specjalizowana Maszyna Cyfrowa Przelicznik P1. Ilość układów podstawowych 1200.

Czas pracy urządzenia

Ilość uszkodzen

uruchamianie 400 godz. eksploatacja 3000 godz. okres uruchamiania^{*)} 120 ukł. podst. okres eksploatacji ~50 ukł. podst.

3. Przyrząd do badania pamięci operacyjnej MOPS-1. Ilość układów podstawowych ~ 120. Czas pracy urządzenia ok. 2000 godz. Ilość uszkodzeń - 1.

 4. Przyrząd do badania pamięci operacyjnej MAG-1. Ilość układów podstawowych 900. Czas pracy urządzenia ~ 400 godz. Ilość uszkodzeń okres uruchamiania 30 okres eksploatacji 4

* Jako czas pracy podaje się ilość godzin, gdy były włączone napięcia zasilające.

* * Duża ilość uszkodzonych elementów wynikła z wad rozwiązania konstrukcyjnego i nie opanowania w pełni metod produkcji.

5. Makieta do badań techniki FOD Ilość układów podstawowych ~ 500. Czas pracy urządzenia ~ 1000 godz. Ilość uszkodzeń - brak.

Obecnie prowadzone są prace nad dalszym udoskonaleniem układów oraz ustaleniem ich parametrów niezawodnościowych. W oparciu o wykonane fabrycznie elementy prowadzi się badania dużych układów logicznych w typowych warunkach pracy /zasilanie, okablowanie/.

8. Zakończenie.

Układy podstawowe FOD zostały opracowane zespołowo w pracowni TC-2 IMM pod kierunkiem autora. W pracach brali udział:inż. H. Furman - opracowanie specjalnej aparatury do selekcji rdzeni /SEZAM/, opracowanie WT na rdzenie ferrytowe; mgr inż. A. Kojemski - współpraca przy wyborze rozwiązania układowego oraz pomiary wstępne układów, aparatura pomiarowa do transformatorków /MIT-1/; mgr inż. E. Kulińska - prace nad ferraktorami /FFA-3/ oraz aparatura pomiarowa do diod /przyrząd MED-2/; mgr inż. T. Sinkiewicz - aparatura pomiarowa do diod /MEP-1/, pomiary właściwości impulsowych diod pod kątem zastosowań w technice FOD.

Autor składa podziękowanie wszystkim osobom, które w wydatny sposób przyczyniły się do realizacji układów, a w szczególności dr Z. Sawickiemu, mgr inż. J. Dańdzie, mgr inż. T. Jankowskiemu i mgr inż. S. Waligórskiemu za cenne uwagi i sugestie, poczynione w trakcie opracowania.

DODATEK 1

Kryteria wyboru rdzeni i diod do techniki FOD.

Właściwości rdzeni z prostokątną pętlą histerezy oraz diod półprzewodnikowych charakteryzowane są najozęściej przy pomocy parametrów statycznych /dane podawane przez wytwórców/. Na podstawie takich danych można ocenić jakość elementów, są one jednak niewystarczające przy projektowaniu układów impulsowych.

W związku z opracowaniem techniki FOD wynikła potrzeba wprowadzenia dodatkowych parametrów impulsowych

1. Rdzenie magnetyczne z prostokątną pętlą histerezy.

Właściwości impulsowe rdzeni magnetycznych związane są z tzw. procesem przełączania, polegającym na zmianie stanu indukcji magnetycznej rdzenia pod wpływem przyłożonego pola magnesującego. Proces przemagnesowania zależy od właściwości materiału magnetycznego oraz od sposobu przemagnesowania. Powszechnie znana jest zależność określająca związek między czasem przełączania i polem magnesującym [1].

$$T = \frac{S}{H_{M} - H_{o}}$$

gdzie: T - ozas przełączania

- H. pole magnesujące o stałej amplitudzie,
- H_ pole graniczne,
- S współozynnik przełączania.

Zależność ta umożliwia analizę prostych układów sterowanych prądowo.

/1/

Przy analizie ordziej złożonych układów korzysta się z zależności określających zmia. strumienia w funkcji przyłożonego ładunku elektrycznego /metoda ładunkowa/. Daje to możliwość jednoznacznego pomiaru tych parametrów, a ze względu na całkowity efekt sygnałów działających na rdzenie - jest baruzo wygodne w ujęciu matematycznym.

Z pośród istniejących metod opisu ładunkowych właściwości rdzeni wybrano metodę zaproponowaną w pracy [4]. Wprowadzono tam zależności w oparciu o model przemagnesowania odbywającego się za pośrednictwem niejednorodnego ruchu ścian Blocha. Analityczne związki opisujące proces są bardzo skomplikowane, jednak w oparciu o tę teorię można łatwo uzyskać wyniki na drodze doświadczalnej. Metodyka tego typu pomiarów opisana jest szczegółowo w [4]. Ogólnie można podać, że właściwości materiału magnetycznego zgodnie z tą teorią określa się na podstawie zależności:

$$\Delta B = \mathcal{V} \int_{0}^{T} \left[H_{M} (t) - H_{0} \right] dt$$

gdzie: $v = \frac{2B_r}{S_0 + C_r^v}$ oporność właściwa przemagnesowania,

ΔB - zmiana indukcji,

B. - indukcja remanencji,

S. - składowa stała ładunku pełnego przełączania,

T - czas trwania procesu nieodwracalnego,

H_M - pole magnesujące,

- H_o > H_c pole graniczne, przy którym rozpoczyna się nieodwracalny proces przemagnesowywania,
 - C stały współczynnik proporcjonalności zależny od materiału rdzenia,

v <1 - wykładnik potęgi zależny od materiału rdzenia.

* Istnieje związek S = S + C^V_T

Właściwości rdzeni określa się we współrzędnych $\Delta \phi_{\tau} = f(Q)$ $\Delta \phi - zmiana strumieni w trakcie przemagnesowania,$ <math>T - czas przemagnesowania /indeks/,Q - ładunek przepływający przez rdzeń /pC/.

Uproszczona charakterystyka dla danego czasu przełączania przedstawiona jest na rys.24



Rys.24. Charakterystyka ładunkowa rdzenia.

Dla założonej ilości zwojów Z, na podstawie parametrów zdefiniowa-. nych na rysunku, można określić:

prąd graniczny $I_{0} = \frac{Q_{0}}{Z \cdot T}$, średni prąd przełączania $I_{W} = \frac{Q_{W}}{Z T}$, strumień przełączany $\Delta \Psi = Z \Delta \Phi$, strumień szczątkowy $\Delta \Psi_{0} = Z \Delta \Phi_{0}$, oporność zastępcza rdzenia $R = ctg \ll$, Zbigniew ŚWIĄTKOWSKI

Wybór odpowiedniego materiału i wymiarów rdzenia ma istotny wpływ na właściwości opracowywanych układów.

Uzyskanie dużego wzmocnienia [1] zależne jest od współczynnika 'k' określonego statycznymi parametrami rdzenia.

$$= \frac{B_r}{\mu H_c}$$

gdzie:

38

B_ - indukcja nasycenia, B₁₁ - indukcja odpowiadająca H₁₁ , H_ - pole koercji, H₁₁ - pole magnesujące,

µ - przenikalność magnetyczna.

Δ

Częstotliwość pracy ograniczona jest przyrostem temperatury w rdzeniu

$$t = \frac{P_{str}}{\mathscr{K} \cdot P}$$

gdzie: Δt - przyrost temperatury [°C],

≪ - współczynnik odprowadzania ciepła ^W/cm² °C.

 $P - powierzchnia | cm^2 |$,

Petr - moc strat.

Przy przełączaniu napięciowym moc strat zależy od iloczynu $(4\phi + 4\phi_0) \cdot Q_w$ /wartości odczytane z charakterystyki dynamicznej, rys.24/, który z kolei jest funkcją wymiarów dla danego rdzenia. Związek między mocą strat a parametrami rdzenia podaje zależność*14/

 $\mu = \frac{B_{M} - B_{r}}{H_{r}},$

^{*} Przy wyprowadzaniu zależności wykorzystano prawo Faraday'a oraz związek między prądem magnesującym i ładunkiem Q. Założono, że rdzeń jest przemagnesowywany dwukrotnie w ciągu okresu.

$$P_{str} = \frac{U}{T} \int_{0}^{T} i \, dt = 2 \frac{U \, Q_{W}}{T} = 4f^{2} \left(\Delta \phi + \Delta \phi_{0} \right) \cdot Q_{W} \qquad /4/$$

gdzie: $f = \frac{1}{T}$

Dlatego należy dążyć do stosowania rdzeni o małych wymiarach i o odpowiednio wybranych parametrach impulsowych.

Dopuszczalna zmiana temperatury uwarunkowana jest temperaturą Curie, która powinna być możliwie jak najwyższa, ponieważ w jej otoczeniu występują silne zmiany parametrów rdzeni [10]. Powyższe kryteria najlepiej spełniają rdzenie permalojowe zwijane z cienkich taśm /kilka mikronów/, są to jednak elementy bardzo kosztowne, o skomplikowanej technologii. Z tego względu zdecydowano się na zastąpienie ich ferrytami. Dane dotyczące materiałów produkowanych w Zakładzie Doświadczalnym IMM zamieszczono w tabelce 1.

Tabelka 1

Nr	Materiał	B _{m 10} [Gs]	$S_{max} = \frac{B_r}{B_{mopt.}}$	H _{c10} [0e]	т _с [о _с]
1	Ferroksyd R-3	2200	0,93	1,0 ÷ 1,2	180
2	Ferroksyd R-1	2200	0,90	0,7	180
3	Ferroksyd R-2	2400	0,90	0,35	140

Prace IMM

gdzie:

Wynika stąd, że najodpowiedniejszy jest rdzeń z masy R-2 /najmniejsze H_c, dobra prostokątność, trochę obniżona temperatura Curie/. Charakterystyki ładunkowe tego rdzenia przedstawiono na rys.25.



account a tupper abramanote

Rys.25. Charakterystyki przełączania rdzenia z masy R-2.

B 5/18/ FERRYTOWO-DIODOWE UKŁADY PODSTAWOWE DO M.C. ZAM-3M

2. Diody

Procesy przejściowe w diodzie są wynikiem występowania dynamicznego ładunku elektrycznego w obszarze bazy. Włączanie lub wyłączanie diody wiąże się z wprowadzeniem lub usunięciem tego ładunku. Wielkość ta jest określona przybliżoną zależnością:

$$Q_{\rm D} \cong I_{\rm p} \, \mathcal{T}_{\rm p},$$
 /5/

gdzie: $T_p = \frac{W^2}{2D_p}$ czas przelotu nośników prądu przez obszar bazy, $I_p - prąd przewodzenia,$ W - grubość bazy, $D_p - stała dyfuzji.$

Proces ustalania się ładunku w diodzie wpływa na zmianę oporności w kierunku przewodzenia, natomiast usuwanie ładunku powoduje przepływ dość dużego prądu wstecznego, który należy uwzględniać przy projektowaniu układów. Szczegółowa analiza wpływu poszczególnych parametrów impulsowych diod na pracę układów FOD została przeprowadzona w pracy [17].

Ocenę właściwości diody w kierunku przewodzenia przeprowadza się na podstawie charakterystyk średniego spadku napięcia impulsu. Średni spadek napięcia na diodzie dla danego prądu przewodzenia i czasu trwania impulsu wyraża się zależnością*)

$$\begin{array}{c|c} U_{d \leq r}(\tau) & | & I=const = U_c + \frac{B}{\tau} \left(1-e^{-\tau A}\right) & /6/\\ \end{array}$$
gdzie A i B - współczynniki określane na podstawie pomiarów oscylograficznych,

$$\begin{array}{c} U_c & - \text{minimalna wartość napięcia,} \\ \tau & - \text{czas trwania impulsu.} \end{array}$$

*Zależność zaczerpnięta z pracy [17] /p.Literatura/.

Właściwości diody w kierunku wstecznym nie dają się łatwo określić analitycznie. Są one brane pod uwagę przy obliczaniu zawężenia impulsu wyjściowego. Aby bardziej bezpośrednio oceniać wpływ diody na zawężanie impulsów w układach FOD, wprowadzono specjalny parametr charakteryzujący wsteczne właściwości dynamiczne diody, tzw. IMPD, mierzony w układzie przedstawionym na rys.26.



Rys.26. Pomiar prądu I MED.

Miarą jakości diody jest wartość prądu I_{MED}, którym kompensuje się zawężenie impulsu wywołane prądem wstecznym diody badanej. /Druga dioda i rdzeń stanowią układ odniesienia/. Na rys.27 podano zależność zawężenia impulsów wyjściowych w układach FOD od paramediody wyjściowej /dla dwóch rdzeni/. tru IMED

patrz opis działania układów FOD.



Rys.27. Zawężenie impulsów wyjściowych w funkcji I_{MED} przy temperaturze 25[°]C i 50[°]C dla dwu egzemplarzy rdzeni (1 i 2)

W związku z zastosowaniem strobowania istotne znaczenie ma wypadkowy współczynnik rekombinacji \mathcal{T}_p . Zgodnie ze znaną zależnością ładunek mogący szkodliwie naruszać rdzeń zmniejsza się wykładniczo:

$$Q_{\rm D}(t) = Q_{\rm D} \exp\left(-\frac{t}{T_{\rm D}}\right)$$
 /7/

gdzie: t - czas strobowania.

Wpływ strobowania dla różnych diod przedstawiono na wykresie, rys.28.



Rys.28. Wpływ strobowania na zawężanie impulsów wyjściowych /technika FOD/ dla różnych diod: 1 - I_{MED} = 4,1 mA 2 - I_{MED} = 2,5 mA 3 - I_{MED} = 1,5 mA

Zasadnicze znaczenie dla pracy układów ma wybór odpowiedniej diody wyjściowej; pozostałe diody mają znacznie łatwiejsze warunki pracy i zasadniczym kryterium wyboru jest mały spadek napięcia w kierunku przewodzenia /mierzony w warunkach impulsowych/ oraz niezbyt duży ładunek. Dioda wyjściowa powinna wytrzymywać duże obciążenie prądowe oraz duże napięcie wsteczne. Przy tym powinny ją charakteryzować dobre właściwości dynamiczne /mały spadek napięcia w kierunku przewodzenia i mały ładunek/. Są to wymagania sprzeczne i dlatego należy stosować rozwiązanie kompromisowe. Z diod pol-

oznaczona na rys.1 i 2 jako DA

skiej produkcji powyższe wymagania spełniają diody DOG60 /jako dioda wyjściowa/ i DOG59 /zastosowana w innych punktach układu/. Przy małych spadkach napięcia w kierunku przewodzenia mają one jednocześni: stosunkowo dobre właściwości impulsowe. Wielkości typowych parametrów podano w tabelce 2, a charakterystyki diod w kierunku przewodzenia przedstawiono na rys.29 i 30.

Tabelka 2

Dioda	Ip _{min} /1V	U _{wstmax}	I _{MEDmax}	U _D /50mA 2,5µs	Q	$T_{p v=0}$
DOG59	8 mA	60 V	2,5 mA	1,5÷2,5V	~100pC	عبر 2
DOGGO	20 mA	60 V	2,5 mA	0,5+1,5V	~150pC	2 אנג

Oznaczenia w tabelce:

Ip _{min} /1V	 minimalny prąd przewodzenia przy 1V spadku na- pięcia na diodzie,
U _{wstmax}	- max. napięcie wsteczne,
I _{MEDmax}	- maksymalny prąd kompensujący na przyrządzie MED,
U _D /50mA 2,5µs	 dynamiczny spadek napięcia na diodzie przy prądzie 50mA i czasie trwania impulsu 2,5µs,
Q	- ładunek gromadzony w diodzie /wartość przy- bliżona/,
τ_{p}	- stała czasu rekombinacji przy napięciu v=0.







Rys. 30. Spadek napięcia w kierunku przewodzenia dla diody DOG 60. Charakterystyka statyczna i dynamiczna. Charakterystyki dynamiczne zdjęte przy przełączaniu impulsami prądowymi. DODATEK 2

Projektowanie negatora

Projektowanie polega na takim doborze parametrów elementów, wchodzących w skład układu przedstawionego na rys.1, aby wsefekcie uzyskać założone parametry.

Założenia:	1. Schemat układu /rys.1/.
	2. Minimalna częstotliwość pracy f = 200 kHz.
	 Wzmocnienie logiczne n≥4.
	4. Moc strat w układzie P _{max} ≤500 mW.
	5. Rdzenie z masy R-2.
¥.	6. Diody DOG59 i DOG60.
	7. Zakres temperatur pracy $+15 - +45^{\circ}C$.
	8. Tolerancje napięć zasilających ±10%.
	9. Rozrzuty oporności $\frac{\Delta R}{R} \leq 10\%$.

Na podstawie zależności przytoczonych w cz.4 niniejszego opracowania oraz danych dotyczących rdzeni i diod podanych w Dodatku 1 należy wyznaczyć:

- 1. ilość zwojów Z_1 i Z_2 ,
- 2. amplitudy napięć zasilających,
- 3. wartości oporności.

1. Przyrost temperatury w rdzeniu.

Ze względów technologicznych minimalne wymiary rdzenia są następujące: 2.,6 x 1,8 x 0.8 /dopuszcza się nawinięcie 250 zwojów/. Powierzchnia rdzenia: $P = \frac{\pi}{100} (D+d) \begin{bmatrix} \frac{1}{2} (D-d) + 4 \end{bmatrix} = 0,16 \text{ cm}^2$

Prace IMM

Zbigniew SWIATKOWSKI

D = 2.6 mmd = 1,8 mmh = 0.8 mm

Moc strat przy przełączaniu napięciowym wyraża się zależnością

-lalow $P_{e+r} = 4 \cdot f^2 (\Delta \phi + \Delta \phi_0) \cdot Q_w = 29 \text{ mW}, and being w douglabodow$

gdzie: Q_{W} i $\Delta \phi + \Delta \phi_{O}$ określono dla f = 200 kHz ($T = 2,5 \mu s$) Na tej podstawie przyrost temperatury wynosi:

$$\Delta t = \frac{r_{str}}{p \cdot \omega} = \frac{29 \cdot 10^{-3}}{0,16 \cdot 0,02} = 9^{\circ}C$$

empiryczny współczynnik odprowadzenia ciepła. o≤- 0,02 20C ciepła. gdzie:

Powyższy przyrost temperatury jest możliwy do przyjęcia, jednak dalsze zwiększanie częstotliwości pracy jest niebezpieczne.

wants oras danyoh dotyozaoyoh rdzeht i diod podanyoh w Dodatku i 2. Ilość zwojów wyjściowych Z₂.

Korzystając z zależności /1/ /cz.4/ należy założyć wielkość amplitudy dodatnich impulsów zegarowych oraz wielkość prądu i... Pozostałe wartości odczytuje się z wykresów, rys.25, 29 i 30. Maksymalny rozrzut strumienia wynosi^{*)} 0,1340 $< \phi < 0,1470$, zaś dopuszczalny rozrzut napięć zasilających ±10%.

 $2\left(\Delta\phi + \Delta\phi_0\right) \cdot Z_2^2 - \left(U_{z(+)}T + i_{s2}r_sT\right) \cdot Z_2 + 4 \cdot Q_w r_d = 0$

* Wynika z selekcji rdzeni.

$$Z_{2} = \frac{(U_{z, (+)} T - i_{s} r_{s} T) + \sqrt{(U_{z, (+)} T - i_{s2} r_{s} T)^{2} + 32Q_{w} r_{d} (4\bar{\Phi} + 4\bar{\Phi}_{o})}{4(4\bar{\Phi} + 4\bar{\Phi}_{o})}$$

Podstawiając dane uwzględnia się najbardziej niekorzystny przypadek rozrzutu parametrów elementów i wartości napięć zasilających.

Dane:
$$(4\phi + 4\phi_0)_{max} = 0,1470 V\mu s$$

 $Q_w = 1300 \text{ mA } \mu s$
 $r_s = 0,023 \text{ k} \Omega$
 $r_{d_2,5\mu s}$
 $i_{s2} = 4 \text{ mA } / z \text{ założenia} /$
 $U_{min} = 7,2 \text{ V}$

Po podstawieniu otrzymuje się

$$Z_2 = 126 \text{ zwojów}$$

Poprawność przyjętej wartości na i_{s2} sprawdza się na podstawie zależności

$$i_{s2} = \frac{2Q_0}{Z_2 \cdot T} m_s$$

gdzie: Q₀ - odczytuje się z wykresu, rys.25, m - współczynnik bezpieczeństwa ≥ 2.

Podstawiając wartości otrzymujemy

$$i_{s2} = \frac{2.500}{126.5} \cdot 2 \cong 3,2 \text{ mA.}$$

Aby uzyskać większą zgodność można stosować metodę iteracyjną.

ď

Korzystając z tej samej zależności, do której podstawia się obliczoną ilość zwojów oraz przeciwne wartości graniczne strumienia i napięcia zegara niż we wzorze poprzednim, oblicza się przesunięcie fazowe ZS.

$$T' = \frac{2(\Delta \phi + \Delta \phi_0) Z_2^2 + 4 \cdot Q_w r_d - i_{s2} r_s T Z_2}{U_2 Z_2} = 3,96 \ \mu s$$

$$\xi = \frac{1}{2} ('r - T') = 0,5 \ \mu s$$

3. Ilość zwojów wejściowych Z₁.

Przekładnia musi być tak dobrana, aby zapewnić pełne przełączenie rdzenia przez impulsy wejściowe.

Przekształcając równanie /2/ /cz.4/ otrzymuje się:

$$(\Delta \phi + \Delta \phi_{o}) \cdot z_{1}^{2} - [\upsilon \tau + i_{s1}r_{s}\tau - \Delta \phi_{o}z_{2} - \beta(\Delta \phi + \Delta \phi_{o}) z_{2} - \upsilon_{D}\tau] z +$$

 $+ Q_w r_d = 0$

stąd

$$z_{1} = \frac{\left[U_{z(+)}^{T} t + i_{s1}r_{s} - \Delta\phi_{o}z_{2} - \beta(\Delta\phi + \Delta\phi_{o})z_{2} - U_{D}^{T} \right]}{2(\Delta\phi + \Delta\phi_{o})} + \frac{\sqrt{\left[U_{z(+)}^{T} t + i_{s1}r_{s}^{T} - \Delta\phi_{o}z_{2} - \beta(\Delta\phi + \Delta\phi_{o})z_{2} - U_{p}^{T} \right]^{2} - 4(\Delta\phi + \Delta\phi_{o})Q_{w}^{2}}{2(\Delta\phi + \Delta\phi_{o})}$$

B 5/18/

Podstawiając:
$$\mathcal{T} = \frac{1}{2} T - \xi = 2 \mu s$$

 $Q_w/2\mu s = 1000 \ pC$
 $\Delta \phi_0 = 0,005 \ V\mu s / z \ pomiarów/$
 $U_{Dmax} = 2V \ /dla \ prądu 50 \ mA \ i \ czasu \ \mathcal{T} = 2 \ \mu s/$
 $\mathcal{S}_{max} = 0,1 \ /dane \ eksperymentalne/$
 $1_{s1} = 8 \ mA \ /założone/$
pozostałe wartości - bez zmian,

i przeprowadzając obliczenia przy założeniu minimalnej amplitudy impulsów i maksymalnego strumienia, otrzymuje się:

$$Z_{2} = 54$$
 zwoje.

Podobnie jak w p.2, należy sprawdzić czy prawidłowo założono 1,

$$i_{s1} = \frac{Q_0}{Z_1 T} \cdot 2 = \frac{400 \cdot 2}{55 \cdot 2} = 7,3 \text{ mJ}$$

Widać stąd, że prąd został założony z pewnym nadmiarem, co zostanie uwzględnione przy projektowaniu studni wejściowej.

4. Ujemna polaryzacja impulsów zegarowych.

$$U_{z0} = \frac{1}{2} \left(\frac{U_{z(+)}}{a} - U_{z(+)} \right) = 6 V,$$

gdzie: $a = \frac{Z_1}{Z_2}$

Zbigniew ŚWIĄTKOWSKI

Prace IMM

5. Oporność studni wejściowej R₁.

$$R_{1} = \frac{U_{z (+)} + 2U_{z 0} - U_{Ds}}{i_{s 1}}$$

Podstawiając dane i przyjmując dolne granice U_{z (+)} i U_{zo}

$$R_1 = 2,2 k\Omega$$

Srednia moc strat wynosi

$$P_{str} = \frac{1}{8} (i_{s1max} + i_{s1})^2 R_{1min}$$

gdzie:

$$\frac{1}{\text{s1max}} = \frac{1}{\tau \cdot Z_1} (1 + 0, 3) = 11,8 \text{ mA} \text{ prad w studni po}$$

$$\frac{1}{\text{przelączeniu rdzenia,}}$$

R_{1min} = 2 kΩ - minimalny opór studni /uwzględniając tolerancje/

Po podstawieniu wartości liczbowych

$$P_{str} = 120 \text{ mW}.$$

6. Oporność i polaryzacja studni wyjściowej.

$$i_{s2} = 4 \text{ mA}; \quad i_{s2max} = \frac{20_w}{T \cdot Z_2} \quad 1,3 = 5,4 \text{ mA}$$

$$U = \frac{U_{z(+)} i_{s2}}{i_{s2max} - i_{s2}} + U_{Ds}$$

Podstawiamy maksymalną wartość U = 8,8V oraz $U_{DS} = 1V$. Stąd $U_s = 16V$.

$$R_{2\max} = \frac{U_s}{i_{s2}} = 5 \text{ k}\Omega \longrightarrow 5,1 \text{ k}\Omega$$

Srednia moc strat

$$P_{str} = \frac{1}{8} (i_{s2max} + i_{s1})^2 \cdot R_{max}$$

Podstawiając wartości otrzymujemy:

$$P_{str} = 57 \text{ mW}.$$

7. Sprawdzenie wartości granicznych.

a. Sumaryczna moc strat w układzie

$$P_{\Sigma} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4,$$

gdzie: P₁ · moc tracona w rdzeniu P2 - mos tracona w diodach /pomijalna/ P3 - moc w studni wejściowej P_h - moc w studni wyjściowej $P_{x} = 29 + 120 + 57 = 206 \text{ mW} \le 500 \text{ mW}.$

b. Maksymalne napięcie wsteczne na diodzie D_h /rys.1/

$$U_{w \max} = 2 (U_{z(+)} + U_{z0}) = 31, 2 V.$$

c. Maksymalny prąd średni płynący przez diodę Dh, przy współczynniku powielania n = 6

$$I_{D4\text{śr max}} = \frac{6 \cdot i_{s1\text{max}}}{2} = 35 \text{ mA}.$$

Wynika stąd, że żadna z wartości krytycznych nie została przekroczona.

-third - third -

Literatura

- 1. AVDEJENKOVA Ł. M., KOROLKOV N. V.: Analiz roboty i rascot magnituych ferrit - diodnych elementov dla cifrowych vycislitelnych masin, Vycisl. Centr. A. N. SSSR. Moskva 1962.
- 2. MEYERHOFF A. J .: Digital Application of Magnetic Devices, John Wiley Sons Inc. Publ., 1960.
- 3. BONN T. H.: Magnetic Computer Has High Speed, Electronics, 1957:30,8.
- 4. GÓRAL A .: O wpływie fizycznych parametrów materiału rdzenia na statyczne i dynamiczne właściwości wzmacniaczy magnetycznych samonasyconych /praca doktorska 1961/.
- 5. GROLLET D. F .: Measurement of Semiconductor Diode Transient Characteristics, Mullard Techn. Communications, 1961:50.
- 6. HOGUE E. W .: A Saturable - Transformer Amplifier with Diode Switching, Proceedings of the East. Joint. Comp. Conf., 1954.
- 7. Le CAN C .: Transient Behaviour and Fundamental Transistor Parameters. Electronic Appl., 1962:20,3.
- 8. KARNAUGH M .: Pulse Switching Circuits Using Magnetic Cores, Proc.I. R. E., May 1955.
- 9. LEDERHANDLER S. R., GIACOLETTO L. J.: Measurement of Minority Carrier Lifetime and Surface Effects in Junction Devices, Proc. I.R.E., April 1955.
- 10. PIROGOV A. J .: Vlijanie temperatury na proces peremagnicivanija ferritovych serdecnikov, Ferrity - fiziceskije i fizikochemiceskije svojstva /III Vsesojuznyje Soviescanije/, Ak. Nauk BSSR, Mińsk 1960.
- 11. RAMAY R. A .: The Single Core Magnetic Amplifier as a Computer Element, Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs., 1952:71.
- 12. ŠAMAJEV J. N., PIROGOV A. J., LISICYN G. F.: Metodika i rezultaty eksperimentalnogo isledovanija dinamiceskich charakteristik impulsnogo peremagnicivanija ferritov, Ferryty - patrz poz.10.
- 13. ŠAMAJEV J. M.: Rascot perechodnych procesov v impulsnych cepjach soderzasoich droseli i transformatory s ferritovymi serdeonikami imiejuscimi pramougolnuju petlu gisterezisa, Ferryty - patrz poz.10.
- 14. VASILEVA N. P., GAŠKOVIEC : Voprosy ustojcivosti raboty zamknutych dlinnych schiem postrojenych na niekotorych tipach elementov, Avtomatika i Telemechanika, 1960:12,6
- 15. KOJEMSKI A., SINKIEWICZ T., SOBANIEC J.: O pewnych możliwościach budowy urządzeń wewnętrznych maszyny cyfrowej w oparciu o elementy magnetyczne i tranzystorowe. Prace IMM /w przygotowaniu do druku/.
- 16. DANDA J .: Matryca negatorowa, Prace ZAM 1961:B3.
- 17. SINKIEWICZ T .: Pomiary impulsowe diod, Prace IMM /w przygotowaniu do druku/.

FERRITE CORE DIODE LOGIC FOR ZAM-3M DIGITAL COMPUTER

Summary

The paper presents a special solution of circuits belonging to the class of serial magnetic amplifiers /SMA/ used for building up logical networks on the ZAM-3M Digital Computer.

Saturday 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1 - 1

The full set of basic circuits /so-called FOD/ comprises two magnetic amplifiers and diodes connected to their inputs: /1/ 'the negator' produces negation with a delay of a duration of $\frac{T}{2}$ /2/, 'the positor' produces a delay of the same duration only /where T represents the period of the driving clock wareform/, /3/ diodes perform n-argument logic sums where n = 1, ..., N (N ≤ 25).

There is given a mathematical analys's of the circuits based upon charge parameters of cores and diodes. Special ttention was directed to the reliability of circuits.

The circuits are based upon elements manufactured in Poland. Those are ferrite cores /Ferroksyd R2 - manufactured in the Experimental Department of the Institute of Mathematical Machines of the Polish Academy of Sciences/, and germanium diode's /type DOG 59 and DOG 60, produced by the Warsaw Semiconductor Plant 'TEWA'/.

The results of investigations carried out on a number of representative logic networks revealed the great reliability of the FOD circuits.

B 5/18/ FERRYTOWO-DIODOWE UKŁADY PODSTAWOWE DO M.C. ZAM-3M



Fot. 1. Pakiet z układami FOD.





