P.3057/69

ZJEDNOCZENIE PRZEMYSŁU
AUTOMATYKI I APARATURY POMIAROWEJ
"MERA"

ELEKTRONICZNA TECHNIKA OBLICZENIOWA

NOWOŚCI

2/1969

INSTYTUT MASZYN MATEMATYCZNYCH
DZIAŁOWY OŚRODEK INTE

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,
tel. 21-84-41, wewn. 131 lub 28-37-29

Powielono w IMM, nakład 500 egz., papier offsetowy kl. III/80 g.
zam. 195/69, GP-II/1416/69. INDEKS - 35804.

P.3057/69

ELEKTRONICZNA TECHNIKA OBLICZENIOWA

N O W O Ś C I

Rok VIII Nr 2/16/ 1969

S p i s t r e ś c i

str.

Mgr Bartłomiej GŁOWACKI: Współczesne systemy cyfrowe. Część 2 ... 3

Mgr inż. RYSZARD PATRYN: Koncepcja układu fonicznego wyjścia maszyny cyfrowej 25

Mgr Andrzej TURSKI: Przegląd metod otrzymywania warstw epitaksjalnych krzemu 35

Mgr inż. Jerzy EKNER: Połączenia owijane w maszynach cyfrowych... 55

Mgr inż. Mirosław MIKA: Lutowanie dwu i wielowarstwowych płytek drukowanych 79

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,
tel. 21-84-41, wewn. 131 lub 28-37-29

Powielono w IMM, nakład 500 egz., papier offsetowy kl. III/80 g.
zam. 195/69, GP-II/1416/69. INDEKS - 35804.

Mgr Bartłomiej GŁOWACKI
Zakład Organizacji Maszyn IMM

681.322

WSPÓŁCZESNE SYSTEMY CYFROWE
Część II *

W części I niniejszego artykułu omówiono ogólnie metody zrównoleglenia operacji we współczesnych systemach cyfrowych. Przyjmując za podstawę klasyfikacji metodę organizacji pozwalającą na osiągnięcie zgodności współdziałania maszyn elementarnych, omówiono systemy ze stałym sterowaniem z niejednorodnymi i jednorodnymi maszynami elementarnymi. Główne ich cechy omówiono na przykładzie systemów: Ungera, SOLOMON, IBM/360-91 i CDC 6800.

W części II będą omówione dalsze metody organizacji wewnętrznego współdziałania, a przede wszystkim wielosystemy i systemy ze sterowaniem zmiennym.

5. Wielosystemy

Wielosystemem cyfrowym będziemy nazywać zbiór kilku automatycznie komunikujących się i jednocześnie pracujących systemów cyfrowych. W chwili obecnej wielosystem konkuruje z pojedynczym systemem, składającym się z pewnej liczby niejednorodnych maszyn elementarnych, w którym zrównoleglenie jest wykonywane w ramach segmentu programu, a nie jak w wielosystemach pomiędzy segmentami.

Elementy składowe wielosystemu będziemy dalej nazywać podsystemami. Każdy podsystem wyposażony jest w sprzęt i oprogramowanie umożliwiające niezależne wykonywanie programu. Wielosystem pozwala więc na równoległe wykonywanie programów lub niezależnych segmentów programu.

---

* Część I artykułu: ETO Nowości 4/14/ 1968 r., s. 3-14

Ze względu na powiązania pomiędzy podsystemami oraz metody sterowania pracą wielosystemu będziemy rozróżniać dwa rodzaje wielosystemów:

1. System hierarchiczny - złożony z kilku podsystemów o różnej wydajności, połączonych na ogół poprzez wspólne pamięci lub bezpośrednio poprzez specjalne urządzenia zewnętrzne. Pracą systemu kieruje jeden z podsystemów. Specjalną klasą systemów hierarchicznych są tak zwane sieci cyfrowe, w których pojedyncze podsystemy są połączone liniami telekomunikacyjnymi.

2. System wielomaszynowy - złożony z kilku podsystemów o identycznej wydajności, posiadających wspólną pamięć główną. Wszystkie podsystemy są równoprawne w funkcjach kierowania pracą systemu, w określonym przedziale czasu pracą systemu może więc sterować dowolny z podsystemów.

W ostatnich latach można zauważyć tendencje do sterowania pracą wielosystemu za pomocą przerwań [10], [13]. Podsystem rozpoczynający lub kończący wykonanie programu generuje informację, która powoduje przerwanie programu lub jest ignorowana przez inny podsystem w wielosystemie.

5.1. S y s t e m y h i e r a r c h i c z n e

Zwykle w skład systemu hierarchicznego wchodzi jeden podsystem o bardzo dużej mocy obliczeniowej oraz kilka podsystemów o średniej lub małej mocy, których podstawowymi zadaniami są wprowadzanie i wyprowadzanie danych oraz stosunkowo proste operacje na tych danych, takie jak: sortowanie, przekodowywanie, redakcja, a także często przygotowywanie programów wykonywanych następnie przez podsystem o dużej mocy. Na ogół jeden z podsystemów małej mocy kieruje pracą systemu hierarchicznego, wykonując wyłącznie funkcje sterujące.

System hierarchiczny charakteryzuje się wysoką niezawodnością, gdyż uszkodzenie jednego z podsystemów powoduje przejęcie jego funkcji przez inne podsystemy. Cechuje go także wysoka wydajność oraz dobre wykorzystanie różnorodnych środków technicznych.

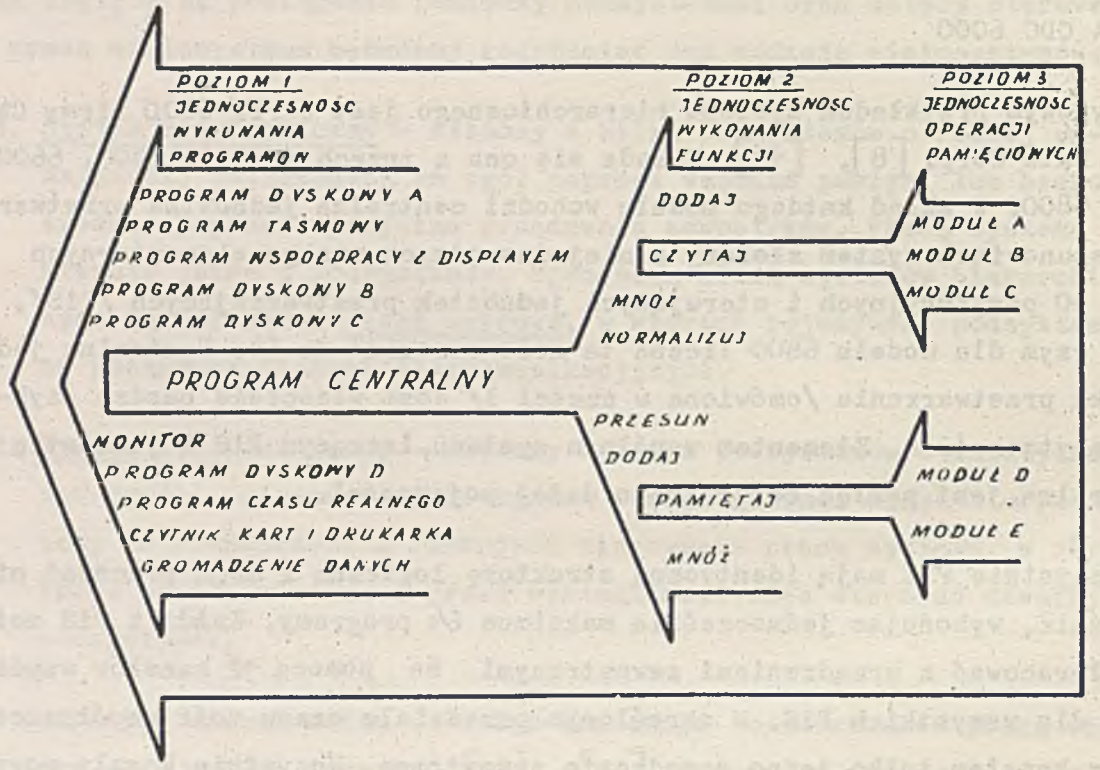
SERIA CDC 6000

Typowym przykładem systemu hierarchicznego jest seria 6000 firmy Control Data Corp. [8], [11]. Składa się ona z trzech modeli: 6400, 6600 oraz 6800. W skład każdego modelu wchodzi centralna jednostka przetwarzania, stanowiąca system złożony z niejednorodnych maszyn elementarnych oraz 10 peryferyjnych i sterujących jednostek przetwarzających /PiS/, przy czym dla modelu 6800 liczba ta może wzrosnąć do 64. Centralna jednostka przetwarzania /omówiona w części I/ jest właściwie bardzo szybkim arytmometrem. Elementem wspólnym systemu, łączącym PiS i jednostkę centralną, jest pamięć centralna o dużej pojemności.

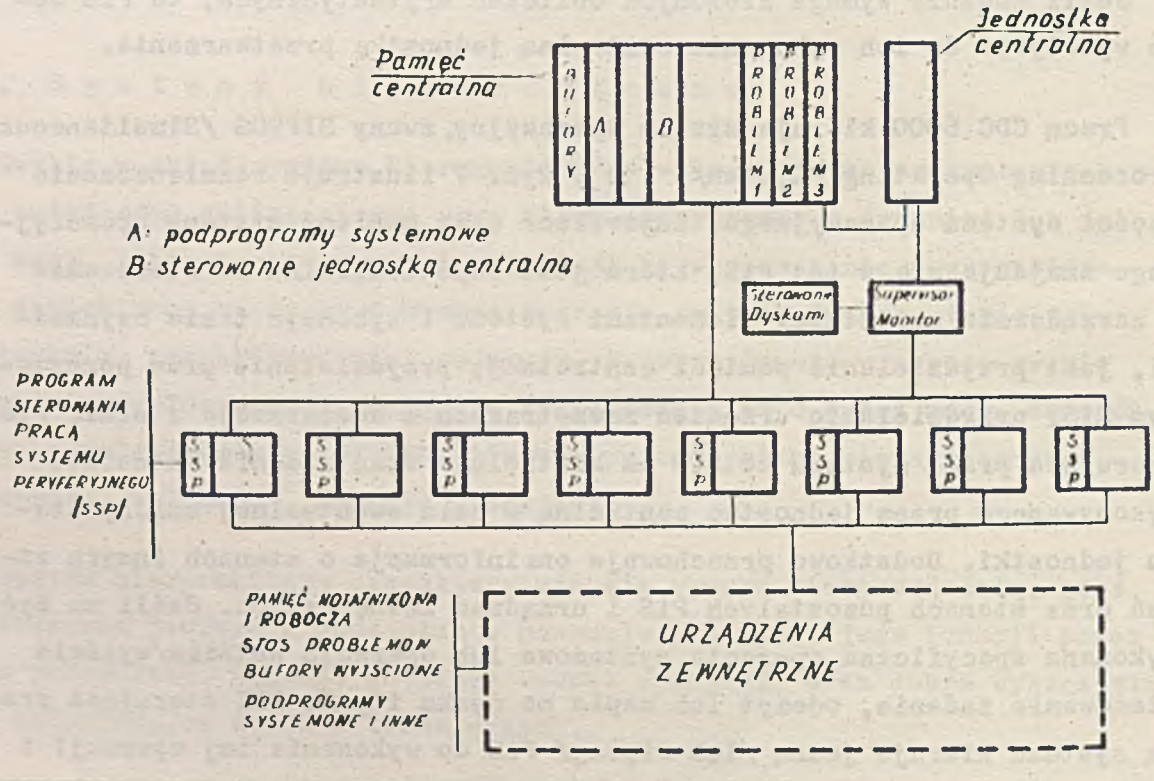
Wszystkie PiS mają identyczną strukturę logiczną i mogą pracować niezależnie, wykonując jednocześnie maksimum 64 programy. Każda z PiS może współpracować z urządzeniami zewnętrznymi za pomocą 12 kanałów wspólnych dla wszystkich PiS. W określonym przedziale czasu może współpracować z kanałem tylko jedno urządzenie zewnętrzne. Wszystkie kanały mogą pracować jednocześnie /rys. 6/. Dodatkową funkcją kanałów jest przesyłanie informacji pomiędzy dwoma PiS.

Jeśli zadanie wymaga złożonych obliczeń arytmetycznych, to PiS może wywoływać do ich wykonania centralną jednostkę przetwarzania.

Pracą CDC 6000 kieruje system operacyjny, zwany SIPROS /Simultaneous Processing Operating System/ [11]. Rys. 7 ilustruje rozmieszczenie części systemu operacyjnego. Supervisor oraz monitor systemu operacyjnego znajdują się w tej PiS, która jest odpowiedzialna za sterowanie i zarządzanie wszystkimi elementami systemu i wykonuje takie czynności, jak: przydzielanie pamięci centralnej, przydzielanie prac pozostałym PiS, przydzielanie urządzeń zewnętrznych i komunikacja z nimi. PiS sterująca pracą systemu co 200 μs kontroluje stan zadania aktualnie wykonywanego przez jednostkę centralną w celu ewentualnej zmiany stanu jednostki. Dodatkowo przechowuje ona informacje o stanach innych zadań oraz stanach pozostałych PiS i urządzeń zewnętrznych. Jeśli ma być wykonana specyficzna operacja systemowa lub operacja wejścia/wyjścia /ładowanie zadania, odczyt lub zapis na dysku itp./, PiS sterująca pracą systemu kieruje jedną /lub więcej/ PiS do wykonania tej operacji i ponownie przejmuje kierowanie pracą tej PiS po wykonaniu przez nią zadanej operacji.



Rys. 6. Jednoczesność wykonywania operacji w systemie CDC 6000



Rys. 7. System operacyjny systemu CDC 6000

Zazwyczaj PiS, której przydzielono do wykonania określony typ operacji, wykorzystuje program związany z tą operacją do wykonania wszystkich operacji tego samego typu, występujących we wszystkich zadaniach aktualnie wykonywanych w systemie.

Funkcje takie, jak: planowanie wykonywania problemów, ładowanie i montaż programów, przydzielanie obszaru pamięci i urządzeń zewnętrznych, przemieszczanie programów wewnątrz pamięci centralnej i ochrona różnorodnych części programów przed konfliktami z innymi programami są wykonywane automatycznie przez system operacyjny i przebiegają poza programami użytkowymi.

Operator komunikuje się z systemem operacyjnym za pośrednictwem monitora ekranowego i maszyny do pisania. SIPROS przekazuje operatorowi informacje o przepływie zadań przez system oraz wydaje mu pewne polecenia.

W określonych przedziałach czasu lub wówczas, gdy nie ma zadań, system operacyjny wykonuje podprogramy kontroli diagnostycznej i przekazuje wyniki operatorowi.

5.2. S i e c i c y f r o w e

W ostatnich latach pojawiła się tendencja łączenia wielu odległych systemów za pomocą linii telekomunikacyjnych w jednolitą sieć informacyjną, pozwalającą na wzajemną wymianę informacji pomiędzy systemami i znaczne zwiększenie wykorzystania każdego z systemów sieci. Początkowo było to podyktowane wymaganiami wojskowymi, w chwili obecnej pojawia się coraz więcej sieci w zastosowaniach cywilnych.

Sieć cyfrowa może być stosowana do rozwiązywania złożonych i bardzo pracochłonnych problemów, których nie można rozwiązać za pomocą nawet najbardziej wydajnego systemu. W takim przypadku problem jest dzielony na części, które są jednocześnie wykonywane przez wiele systemów sieci. System po wykonaniu przydzielonej mu części problemu przekazuje wyniki do innych systemów sieci, a sam przyjmuje dane do wykonania części następnej.

W sieci cyfrowej czas wymiany informacji pomiędzy systemami sieci jest porównywalny z czasem obliczeń, a niekiedy może go nawet znacznie przewyższyć. Celem skrócenia tego czasu:

- dzieli się problem na części w taki sposób, aby wzajemna wymiana informacji pomiędzy systemami była minimalna, a także
- maksymalnie wykorzystuje się szybkość linii telekomunikacyjnych.

Jak dotąd powszechnemu stosowaniu sieci cyfrowych stoi na przeszkodzie brak ogólnych i ścisłych metod podziału zadań, które pozwoliłyby uniknąć przestojów w systemie, powodowanych długim czasem wymiany informacji.

5.3. S y s t e m y w i e l o m a s z y n o w e

Określone zastosowania /przede wszystkim obliczenia w czasie rzeczywistym/ wysuwają na pierwszy plan specyficzne wymagania w stosunku do systemu, takie jak:

- zdefiniowany czas wykonania zadania,
- działanie z określoną dostępnością. Termin ten określa w jakim stopniu możliwe jest działanie systemu w wypadku błędnego funkcjonowania jednego z jego składników.

Jeśli wydajność pojedynczego systemu nie daje gwarancji rozwiązania określonych zadań w wymaganym czasie lub też pojedynczy system nie ma możliwości działania z określoną dostępnością, to naturalnym rozwiązaniem tych problemów jest budowa systemu wielomaszynowego.

Współpraca podsystemów za pośrednictwem wspólnej pamięci głównej pozwala na znaczne zaoszczędzenie jej pojemności. Wynika to z faktu, że wielomaszynowy system wyposażony jest w pojedynczy program nadzorczy /supervisor/, a oprócz tego pewne informacje /tablice, dane lub podprogramy o strukturze "czystego przepisu" - pure procedure/ mogą być wykorzystywane wspólnie przez kilka niezależnych programów wykonywanych przez podsystemy. Z drugiej jednak strony współpraca kilku podsystemów przy udziale wspólnej pamięci pociąga za sobą wzrost sprzętu i zwalnianie szybkości przesyłania. Dodatkowe zwolnienie powoduje wzajemna interferencja działań systemów na wspólnych obszarach pamięciowych.

Charakterystyczną cechą systemu wielomaszynowego o wysokim stopniu dostępności jest możliwość przejmowania przez sprawne podsystemy funkcji tych podsystemów, które uległy uszkodzeniu /graceful degradation/ [12], czyli możliwość zmiany konfiguracji systemu.

Konfiguracją systemu nazywamy zbiór składników, pomiędzy którymi ustalone zostały wewnętrzne powiązania. Jeśli dodaje się nowy składnik lub usuwa składnik uszkodzony, to wówczas powstaje nowa konfiguracja. Jej tworzenie, zwane rekonfiguracją, rozpoczyna się już w momencie wykrycia i lokalizacji błędu, a kończy z chwilą dokonania automatycznej zmiany konfiguracji przez program nadzorczy. W systemach wielomaszynowych czas rekonfiguracji waha się od milisekund do sekund. Wystąpienie awarii w dowolnym składniku systemu i wynikająca stąd rekonfiguracja nie powoduje w systemie wielomaszynowym sparaliżowania pracy całego systemu, a co najwyżej spadek jego efektywności. Program nadzorczy określa wówczas, które programy mają być opóźnione, a które system ma wykonywać jako zadania podstawowe.

"Graceful degradation" systemu daje następujące korzyści:

- umożliwia wykonanie programów w zdefiniowanym czasie w przypadku awarii jednego ze składników systemu,
- nadmiar mocy może być w czasie poprawnego działania systemu wykorzystany dla innych, niezależnych od czasu programów /na przykład diagnostycznych/.

Ponieważ przekłamanie /uszkodzenie chwilowe/ może powodować w wielu zastosowaniach nieobliczalne skutki, każde z urządzeń /np. pamięci zewnętrzne/ w typowym systemie wielomaszynowym ma swoją redundację. Ponadto uważa się, że efektywny system wielomaszynowy o wysokiej dostępności musi składać się co najmniej z trzech podsystemów [13].

Typowymi przedstawicielami systemów wielomaszynowych są: System 9020 firmy IBM [14], System 40-21 firmy EEC [10], [16], System 200 firmy PHILCO [17] oraz System B 8500 firmy Burroughs [18]. Omówimy pokrótce pierwszy z nich.

IBM SYSTEM 9020

System 9020 opracowany został przez firmę IBM na zamówienie FAA /Federal Aviation Administration/ z przeznaczeniem do kierowania ruchem lotniczym. Oparto go na IBM System/360, zapewniając zgodność programową z maszynami tego systemu. System 9020 ze względu na specyfikę zastosowania jest typowym systemem wielomaszynowym o wysokim stopniu dostępności.

W skład systemu wchodzą:

a. Elementy liczące, maksymalnie cztery centralne jednostki przetwarzania. Są one sterującymi i przetwarzającymi składnikami systemu, ich średnia szybkość wynosi około 160 tys. operacji.

b. Elementy pamięciowe, maksymalnie 36 modułów pamięciowych po 32 k bajty i 3 moduły po 1024 k bajty. Cykl pracy pamięci wynosi odpowiednio 2,5 μs i 8 μs. Każdy z elementów liczących ma dostęp do każdego z elementów pamięciowych.

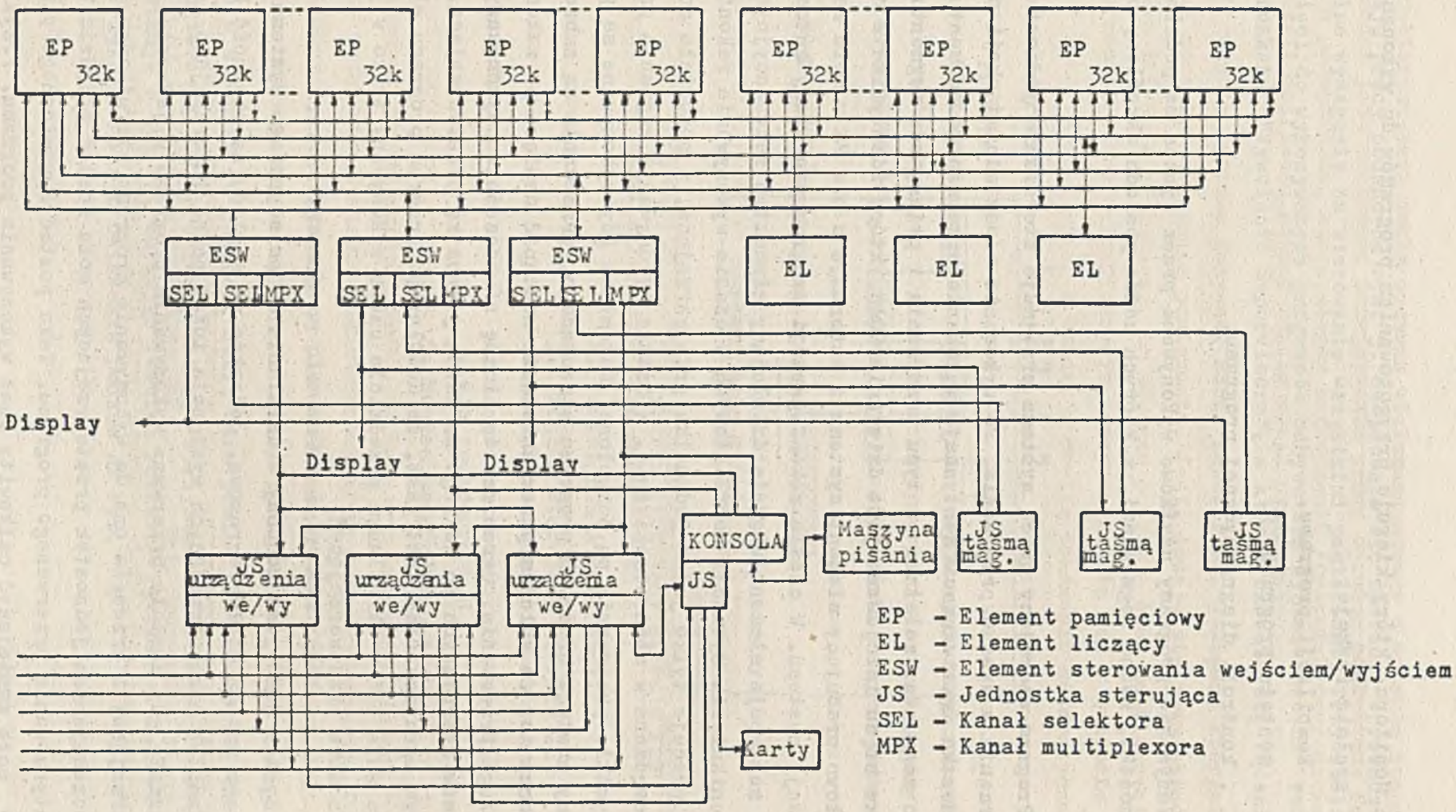
c. Elementy sterujące wejściem/wyjściem, maksymalnie trzy. Zawierają one kanał multipleksora i dwa kanały selektora. Każdy z kanałów może współpracować z 256 urządzeniami zewnętrznymi. Dodatkowy kanał selektora może być włączony do dwóch elementów sterujących wejściem/wyjściem.

d. Urządzenia wejścia/wyjścia i ich jednostki sterujące.

Na rys. 8 podano konfigurację systemu 9020 zainstalowaną w FAA.

Funkcje zarządzające i sterujące pracą systemu 9020 są wykonywane przez dwa programy: Program Sterujący /PS/ oraz Program Operacyjny Analizy Błędów /POAB/. PS jest oparty na Tape Operating System Systemu/360 [19] i składa się z dwóch głównych części:

a. Supervisora, który steruje:
   - przerwaniami,
   - komunikacją z operatorem,
   - programami /inicjowanie, ładowanie, wyrzucanie, zakończanie, określanie punktów kontrolnych i re-starty/,
   - wejściem/wyjściem.



Rys. 8. Schemat blokowy Systemu IBM 9020

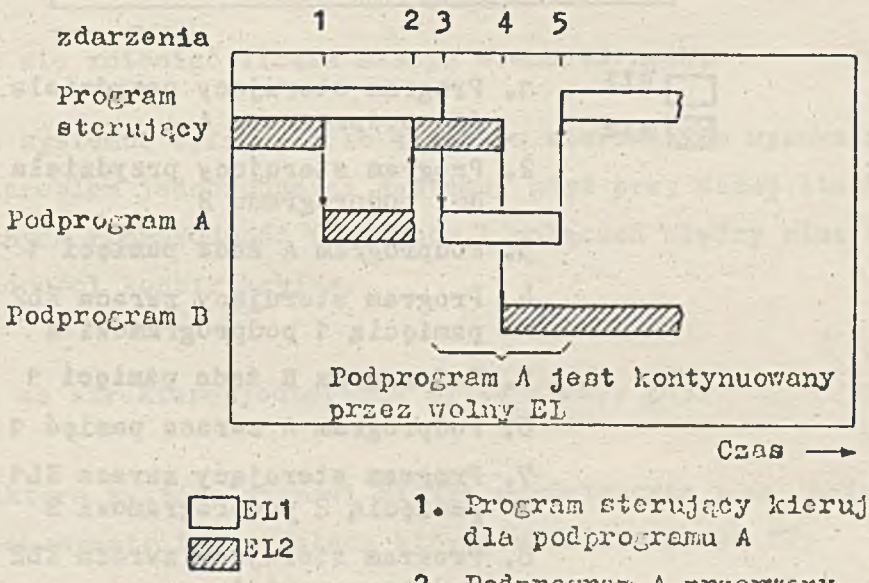
b. Monitora, który kieruje przygotowaniem programów do wykonania, tzn. spełnia funkcje:
   . kompilacji programu,
   . montażu programu,
   . kontroli diagnostycznej programu.

Wszystkie programy użytkowe wykonywane przez system są podzielone na jednostki, zwane segmentami, z których każda posiada określony priorytet.

Program sterujący pracą systemu przejmuje sterowanie jednostką przetwarzania w wyniku przerwania. Po wykonaniu odpowiedniej akcji przez PS jednostka przetwarzania kontynuuje wykonanie przerwanego segmentu lub innego segmentu, zależnie od typu przerwania i priorytetu segmentu. W wypadku błędu inicjowane jest działanie POAB, który identyfikuje nieprawidłowo pracujący element systemu i informuje o nim PS w celu rekonfiguracji systemu. W czasie rekonfiguracji program sterujący automatycznie zastępuje element błędnie działający elementem redundacyjnym. W celu uniknięcia sytuacji konfliktowych w czasie wykonywania rekonfiguracji pracuje tylko jedna jednostka przetwarzająca, a pozostałe zostają wprowadzane w stan oczekiwania. W czasie wykonywania segmentu programu wszystkie przerwania są dozwolone. Natomiast gdy wykonywane są podprogramy obsługi przerwań programu sterującego, przerwania są zabronione. Oznacza to, że kolejne przerwanie może nastąpić dopiero po zakończeniu obsługi przerwania. Ogranicza to liczbę równocześnie wykonywanych programów sterujących do jednego na każdą jednostkę przetwarzającą. Dodatkowym ograniczeniem jest fakt, że dowolny podprogram programu sterującego może być w określonym przedziale czasu wykonywany tylko w jednej jednostce przetwarzającej.

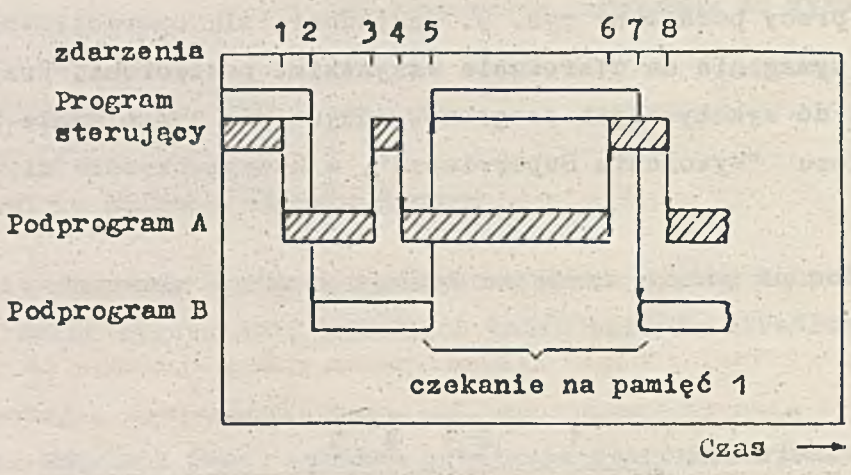
System 9020 jest podobny w działaniu do pojedynczego systemu pracującego metodą wieloprogramową. Jednakże ze względu na obecność kilku jednostek przetwarzających występują tutaj pewne interesujące aspekty. W czasie, gdy zostało przerwane wykonywanie programu w jednostce przetwarzającej i przeszła ona do wykonywania programu sterującego, jedna z oczekujących jednostek przetwarzających może zostać przydzielona do kontynuowania przerwanego programu. Taka postać dynamicznego planowania może zmniejszyć całkowity czas wykonywania programu. Przykład te-

go rodzaju pracy podano na rys. 9. Nakładanie się operacji wprowadza szczególne wymagania na sterowanie wszystkimi pamięciami. Przydzielanie pamięci do wykonywanych programów odbywa się dynamicznie na podstawie rozkazu "Wywołanie Supervisora", w którym określa się żądania



Rys. 9. Dynamiczne planowanie w systemie 9020

programu w stosunku do pamięci. Jeśli dana pamięć jest dostępna, wtedy PS przydziela ją. Gdy program przestaje korzystać z określonej pamięci, informuje o tym PS, używając również rozkazu "Wywołanie Supervisora". Przykład takiego działania podano na rys. 10.



EL1
EL2

1. Program sterujący przydziela EL2 do podprogramu A
2. Program sterujący przydziela EL1 do podprogramu B
3. Podprogram A żąda pamięci 1
4. Program sterujący zwraca EL2 wraz z pamięcią 1 podprogramowi A
5. Podprogram B żąda pamięci 1
6. Podprogram A zwraca pamięć 1
7. Program sterujący zwraca EL1 wraz z pamięcią 2 podprogramowi B
8. Program sterujący zwraca EL2 podprogramowi A

Rys. 10. Dynamiczne przydzielanie pamięci

6. Systemy ze zmiennym sterowaniem

Wszystkie omówione w poprzednich rozdziałach systemy posiadają małą efektywność przy rozwiązywaniu zadań, w których systemowi pozostawiona jest pewna inicjatywa w szukaniu rozwiązania /zadania teorii gier, podejmowania decyzji, modelowania itp./.

W ostatnich latach pojawiło się wiele opracowań, np. [20], [21], [22], omawiających systemy o zmiennej strukturze, w których pojemność pamięci, możliwości obliczeniowe maszyn elementarnych, połączenia pomiędzy maszynami elementarnymi itp. mogą zmieniać się programowo w czasie wykonywania zadania lub przed przystąpieniem do jego rozwiązania. Dzięki temu system z programowo zmienną strukturą może być optymalnie przystosowany do rozwiązywanego zadania.

Posiada on następujące cechy:

. struktura jego jest jednorodna,

. maszyna elementarna ma własne sterowanie, pamięć, arytmometr oraz wejście i wyjście,

. lista rozkazów maszyny elementarnej, pojemność pamięci, długość liczby mogą się zmieniać w zależności od wymagań rozwiązywanego zadania,

. może się zmieniać liczba maszyn elementarnych.

Budowa systemów cyfrowych ze zmiennym sterowaniem wysuwa na plan pierwszy problem jednorodności systemu, gdyż przy dużej liczbie maszyn elementarnych różnorodność ich typów i połączeń między nimi stwarza istotne trudności konstrukcyjne.

System ma strukturę jednorodną tylko wtedy, gdy:

. struktura systemu stanowi siatkę geometryczną o co najmniej dwóch osiach symetrii, w węzłach której umieszczone są ME,

. wszystkie ME są tego samego typu /jednorodność konstrukcyjna/,

. każda ME jest połączona w sposób identyczny z innymi, zazwyczaj sąsiednimi, ME /jednorodność połączeń/.

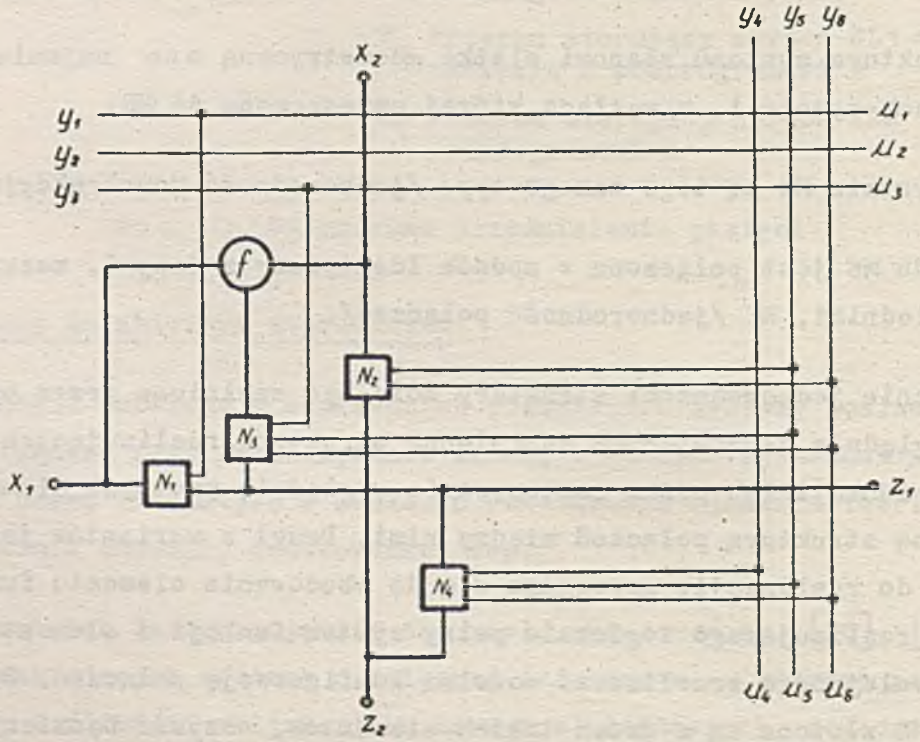
Wymaganie jednorodności struktury może być spełnione przez opracowanie względnie złożonych ME ze zmienną strukturą, realizujących szeroką klasę funkcji, lub przez zastosowanie względnie prostych elementów ze zmienną strukturą połączeń między nimi, Drugi z wariantów jest łatwiejszy do realizacji, sprowadza się do zbudowania elementu funkcjonalnego realizującego logicznie pełny system funkcji i elementu łączącego pozwalającego zrealizować dowolną konfigurację połączeń. System, którego ME złożone są z dwóch takich elementów, nazywać będziemy <u>środowiskiem cyfrowym,</u> a tak uproszczone ME środowiska elementami środowiska /ES/.

6.1. Środowisko cyfrowe

Podstawowe właściwości środowiska cyfrowego, sformułowane w pracy [9], są następujące:

- środowisko cyfrowe złożone jest z identycznych ES,
- ES ma połączenie tylko ze swoimi najbliższymi sąsiadami,
- każdy ES wykonuje pełny zbiór funkcji algebry logiki /np. funkcje konjunkcji, dysjunkcji, negacji/, opóźnienia sygnału i połączeń z innymi ES,
- każdy ES może być wysterowany do wykonania dowolnej z tych funkcji.

Na rysunku 11 przedstawiono budowę ES, w którym elementem funkcjonalnym może być układ tranzystorowy NOR lub NAND. Odpowiednie połączenie kilku takich elementów realizuje negację lub dysjunkcję, albo złożone układy funkcjonalne, takie jak sumator czy rejestr.



Rys. 11. Schemat funkcjonalny elementu środowiska cyfrowego /x_i, z_i - wejścia sygnałów roboczych; u_i, y_i - wejścia sygnałów sterujących; f - element logiczny; N_i - elementy sterujące/

Wysterowanie ES w celu wykonania określonej funkcji polega na przekazaniu układom pamięciowym ES pewnych informacji sterujących, zawartych w programie. Wybranie określonego ES odbywa się przy zastosowaniu metod adresowania współrzędnościowego lub sekwencyjnego /np. układy pamięciowe ES połączone są w łańcuch/.

Programowo zmienna struktura środowiska cyfrowego umożliwiająca podwyższenie efektywności i dostosowanie systemu do rozwiązywanego zadania oraz jednoczesne wykonywanie dużej liczby operacji, to podstawowe zalety środowiska w stosunku do wcześniej omawianych systemów.

6.2. Systemy iteracyjne

Z punktu widzenia jednorodności systemu perspektywiczna wydaje się budowa tak zwanych systemów iteracyjnych.

System iteracyjny poza jednorodnością konstrukcyjną i jednorodnością połączeń charakteryzuje się możliwością "narastania" struktury poprzez dołączanie do skrajnych ME struktury nowych ME. Definicję systemu iteracyjnego podał Holland [24]. Zaproponowany przez niego system posiada zdolność zmiany programu swojej pracy w zależności od warunków zewnętrznych, a także sam może szukać rozwiązania zadania, jeśli nie jest znany dokładny algorytm rozwiązania. W odróżnieniu od systemów Ungera [2] i SOLOMON [3], [4], w których w każdej chwili wykonywany jest tylko jeden program /określany przez Układ Sterowania Centralnego/, w systemie Hollanda można jednocześnie wykonywać wiele różnych programów.

SYSTEM HOLLANDA

System Hollanda jest dwuwymiarową siatką geometryczną ME, posiadających identyczną strukturę. Każda ME połączona jest z czterema sąsiednimi ME, leżącymi na osiach współrzędnych. Funkcje ME nie ograniczają się tylko do wykonywania operacji, może ona również sterować przebiegiem obliczeń. Każda ME posiada rejestr podstawowy o długości $(n + 14)$ bitów /rys. 12/, kilka rejestrów pomocniczych i związane z nimi układy.

y_n	y_{n-1}	.....	y_o	d_3	d_2	d_1	d_o	i_o	i_1	i_2	s_1	s_2	q_1	q_2	p	a

Rys. 12. Rejestr podstawowy ME systemu Hollanda

Wszystkie ME pracują synchronicznie. W każdym takcie zegarowym ME może znajdować się w jednym z dwóch stanów: aktywnym lub biernym. W stanie aktywnym ME interpretuje liczbę zapisaną w pozycjach i_o, i_1, i_2 rejestru podstawowego jako rozkaz i przechodzi do jego wykonania. W określonym takcie w stanie aktywnym może znajdować się dowolna liczba ME. Zazwyczaj ME (i, j) o współrzędnych i, j, aktywna w takcie t, przechodzi w takcie t+1 w stan bierny, a jedna z sąsiednich ME / ME $(i+1, j)$, ME $(i-1, j)$, ME $(i, j+1)$, ME $(i, j-1)$/ staje się aktywna. Kolejną aktywną ME określają pozycje s_1, s_2 rejestru podstawowego ME /i, j/. W ten sposób można określić łańcuch aktywnych ME i tym samym określić program pracy.

Liczba jednocześnie aktywnych ME może być dowolna, co pozwala równolegle wykonywać kilka programów. Oprócz rozkazów, sterujących przebiegiem obliczeń, system posiada rozkazy zmieniające zawartość rejestru podstawowego, co pozwala zmieniać w czasie liczbę wykonywanych programów. Zmianami tymi może sterować jeden lub kilka programów specjalnych.

Działanie ME w czasie każdego taktu dzieli się na trzy kolejne fazy:

1. W czasie fazy początkowej do rejestru podstawowego i rejestrów pomocniczych mogą być wprowadzane liczby z zewnątrz. Dla większości ME wprowadzanie liczb następuje tylko w pierwszych taktach pracy systemu /wprowadzanie programu/ lub w pewnych określonych taktach /wprowadzanie danych/.

2. W czasie drugiej fazy aktywna ME określa miejsce, w którym znajduje się argument /liczba, na której wykonuje się zadany rozkaz/. Aktywna ME czyni to za pomocą "budowy drogi" do ME zawierającej argument. Budowę drogi zapewniają dwie właściwości ME:

   . Każda ME zawierająca jedynkę w pozycji p rejestru podstawowego może zostać wprowadzona w specjalny stan, będący początkiem drogi. Taką ME nazywamy maszyną P.

. Każda ME posiada swoją "poprzedniczkę", definiowaną pozycjami q_1, q_2 rejestru podstawowego, która była w stanie aktywnym o jeden takt wcześniej. Po wyjściu ze stanu aktywnego ME nie zrywa połączeń ze swoją poprzedniczką. W ten sposób ciąg poprzedniczek łączy aktywną ME z najbliższą maszyną P. W czasie początkowej części drugiej fazy pozycje $y_0, \ldots, y_n$ i $d_0, \ldots, d_3$ rejestru podstawowego aktywnej ME przesyła się wzdłuż linii jej poprzedniczek do najbliższej maszyny P. Zawartość tych pozycji wykorzystuje następnie maszyna P do budowy drogi do liczby odnoszącej się do aktualnie wykonywanego rozkazu.

Dzięki rozłożeniu ME w postaci siatki prostokątnej, każda z dróg składa się z odcinków prostych, równoległych do osi siatki. Każda ME zawiera cztery rejestry pomocnicze, z których każdemu odpowiada jeden z kierunków. Ponieważ rejestry te są niezależne, każda ME może należeć do czterech dróg. Droga bywa budowana tylko w tym przypadku, gdy pozycja $y_n = 0$. Wówczas pozycje $y_{n-1}, \ldots y_0$ wskazują ogólną długość odcinka, a pozycje $d_3, \ldots, d_0$ kierunek odcinka, przy czym każdej z tych czterech liczb odpowiada jedna z czterech poprzedniczek. Jeśli zaś $y_n = 1$, wówczas jest generowany sygnał rozerwania odcinka zbudowanego w ostatnim takcie.

3. W czasie trzeciej fazy wykonuje się rozkaz, określony w aktywnej ME. Oprócz aktywnej ME, w wykonaniu rozkazu bierze udział ME, której rejestr podstawowy zawiera argument oraz ME, która spełnia funkcje arytmometru /maszyna A/. ME jest maszyną A, jeśli pozycja rejestru podstawowego zawiera jedynkę. ME nie może być jednocześnie maszyną A i maszyną P.

ME systemu Hollanda może wykonywać osiem rozkazów, w skład których wchodzą między innymi: "dodaj", "pamiętaj", "zmień na minus", "nic nie rób", "stop" itp.

Niedoskonałością systemu Hollanda jest mała pojemność pamięci ME /mała efektywność wykorzystania systemu/ i bardzo uboga liczba rozkazów ME.

SYSTEM GONZALEZA

Systemem iteracyjnym jest również system złożony z trzech wzajemnie ze sobą powiązanych warstw, opisany przez Gonzaleza w pracy [26]. W systemie tym każda warstwa składa się z m.n jednakowych ME, identycznie połączonych w obrębie każdej warstwy. Pierwsza warstwa nazywana jest warstwą programową, druga - sterującą, trzecia - liczącą. Wykonanie rozkazu przebiega kolejno we wszystkich warstwach.

Warstwa programowa zawiera początkowo program /podprogramy/ wyjściowy, a następnie program zweryfikowany w trakcie obliczeń. Warstwa sterująca służy do określania tych ME, w których przechowywane są argumenty kolejnego rozkazu. W warstwie liczącej są wykonywane operacje logiczne, arytmetyczne itp. Pomiędzy warstwami istnieją następujące połączenia:

- każdej ME z warstwy programowej z odpowiadającą jej ME warstwy sterującej,
- analogiczne połączenia pomiędzy warstwami sterującą i liczącą,
- analogiczne połączenia pomiędzy warstwami liczącą i programową,
- wspólna szyna łącząca wszystkie ME wszystkich warstw, po której przekazywany jest sygnał informujący ME w warstwach programowej i sterującej o zakończeniu obliczeń w warstwie liczącej.

ME w każdej warstwie łączą się między sobą wzdłuż linii stanowiących układ współrzędnych prostokątnych, w którym można wyróżnić kolumny i wiersze. Połączenia te tworzą tak zwane linie informacyjne. W celu zapewnienia ich ciągłości skrajne ME w każdej kolumnie /lub wierszu/ połączone są z sobą.

Połączenia pomiędzy ME przebiegają wzdłuż linii informacyjnych, a procedura budowy drogi /podobna jak w systemie Hollanda/ sprowadza się do określenia poziomych i pionowych odcinków drogi, która łączy ME liczącą w punkcie przecięcia odcinków.

W skład ME wchodzą:

- Sumator, umożliwiający wykonanie dodawania. Jego wejście jest podłączone do jednego z czterech wejść ME za pomocą odpowiedniej matrycy.

. Rejestr, połączony z wyjściem sumatora i odpowiadający mu długością. Wyjście rejestru jest podłączone do jednego z czterech wyjść ME za pomocą odpowiedniej matrycy. Dodatkowo rejestr ten jest związany z liniami połączeń pomiędzy warstwami.

. Dwa dekodery, każdy z nich jest powiązany z jedną linią informacyjną, z której otrzymuje rozkazy. Po porównaniu adresu rozkazu z adresem ME, w przypadku ich zgodności generuje sygnały sterujące matrycami.

. Matryce sterujące wejściem sumatora i wyjściem rejestrów, łączące ME z sąsiednimi ME w warstwie oraz sterujące wyjściem rejestru na linie międzywarstwowe.

Każda ME wykonuje rozkazy: przesyłania, dodawania, uzupełnienia, skoku warunkowego. Rozkazy są wykonywane w trzech fazach, przy czym w każdej fazie pracuje każda z warstw. Przejście z jednej fazy do drugiej następuje po sygnale zakończenia operacji w warstwie liczącej /przekazywany po wspólnej szynie/. Jednocześnie w każdej warstwie wykonywana jest inna faza trzech różnych rozkazów.

7. Zakończenie

Przedstawiony w niniejszym opracowaniu przegląd systemów cyfrowych pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

a. Powszechne zastosowanie znajdują wielosystemy, które dzięki prostej realizacji pozwalają na natychmiastowe zwiększenie mocy obliczeniowej oraz stopnia niezawodności.

b. Aktualny stan mikroelektroniki pozwala już w chwili obecnej na zrealizowanie większości przedstawionych systemów.

c. W stosunkowo niedługim czasie powinny zostać zbudowane systemy ze stałym sterowaniem, zawierające jednorodne ME, które pozwalają na znaczne zwiększenie efektywności działania.

d. Brak dotychczas algorytmów do rozwiązywania zadań o dużej liczbie równolegle wykonywanych operacji, a więc metod wykorzystania systemów o dużej liczbie ME.

e. Najbardziej perspektywicznymi są systemy ze zmiennym sterowaniem, które dzięki zwiększonej szybkości liczenia, możliwości podziału funkcji różnych bloków pomiędzy różne obszary struktury, podwyższeniu dokładności obliczeń oraz zmienności struktury mogą pozwolić na rozwiązanie wielu problemów, mających podstawowe znaczenie dla dalszego rozwoju elektronicznych maszyn cyfrowych. Między innymi chodzi o zgodność programowania przy rozwiązywaniu zadań, dla których nie jest znany dokładny algorytm rozwiązania.

Na razie brak teorii wykorzystania tych systemów. Nie należy oczekiwać tu szybkich rezultatów, ponieważ teoria taka, obejmująca między innymi optymalne programowanie, optymalną syntezę systemu cyfrowego, jest dopiero we wstępnym stanie rozwoju.

Literatura /część II/

[9] ЕВРЕЙНОВ Э.В.: О макроструктуре элементарных машин вычислительной системы. Сборник трудов ИМ СО АН СССР, Вычислительные системы, Новосибирск 1962.

[10] M21-10. A Low Cost Multiprocessor for Computation and Control. EEC Pub. DP 291/67.

[11] CLAYTON B.B. and oth.: An Operating System and Programming Systems for the 6600. AFIPS Conf. Proc., 1964, vol. 26, part II.

[12] CLIPPINGER R.F.: Programming Implications of Hardware Trends. IFIP Conf. Proc., 1965, vol. I.

[13] BLAUW G.A.: The Structure of IBM System/360, Part V - Multisystem Organization. IBM Syst. J., 1964, vol. 3, No 2.

[14] BLAKNEY G.R. and oth.: Design Characteristics of the 9020 System. IBM Syst. J., 1967, vol. 6, No 2.

[15] DEVEREUX J.A.: Control Program Features. IBM Syst. J., 1967, vol. 2, No 2.

[16] Series M2100 Information Manual. EEC Pub. DP 290/67.

[17] BRIGHT H.S.: A Philco Multiprocessing System. AFIPS Con. Proc., 1964, vol. 26, part II.

[18] Burroughs Corp.: B8500 Modular Data Processing System. Dig. Comp. Newsletter, 1966, vol. 18, No 1.

[19] IBM System/360. TOS and DOS Concepts and Facilities. Form C24-5030-2.

[20] SCHOOMAN W.: Parallel Computing with Vertical Data. Proc. EJCC, 1960.

[21] NEWELL G.: On Programming a Highly Parallel Machine to be an Intelligent Technician. Proc. EICC, 1960.

[22] HOLLAND G.H.: Outline for a Logical Theory of Adaptive Circuits, J. of ACM, 1962.

[23] Programmed Interconnections a Release from Tyranny. Proc. IEEE, 1964, 52, No 12.

[24] HOLLAND G.H.: A Universal Computer Capable of Executing an Arbitrary Number of Program Simultaneously. Proc. EJCC, 1959.

[25] HOLLAND G.H.: Iterative Circuits Computer. Proc. WJCC, 1960.

[26] GONZALEZ R.: Multilayer Iterative Circuit Computer. IEE Tran. EC-1963, No 3.

Mgr inż. Ryszard PATRYN
Zakład We-Wy IMM

681:327:534.42

KONCEPCJA UKŁADU FONICZNEGO WYJŚCIA MASZYNY CYFROWEJ

1. Wstęp

Mowa jest uznawana za najprostszy, a jednocześnie najbardziej rozpowszechniony środek przekazywania wiadomości. Z tego między innymi wynika zainteresowanie urządzeniami, które dołączone do maszyny cyfrowej mogą przekazywać odbiorcy informacje w postaci mowy, a także urządzeniami, które rozpoznając mowę ludzką, przekazują jej treść maszynie cyfrowej. Urządzenia takie stanowią wejście i wyjście foniczne tych maszyn.

Urządzenia foniczne wyjściowe są o wiele łatwiejsze do technicznej realizacji, można już w tej chwili mówić o zastosowaniu ich w systemach przetwarzania informacji.

Jako jeden z przykładów wykorzystania fonicznego urządzenia wyjściowego można podać system, w którym maszyna cyfrowa jest włączona do sieci telefonicznej na prawach zwykłego abonenta. Chcąc uzyskać informację od maszyny cyfrowej wykręca się jej numer przy pomocy tarczy aparatu telefonicznego i maszyna zgłasza się /fonicznie/. Po uzyskaniu połączenia przekazuje się jej pytanie lub zadanie za pomocą tarczy numerowej aparatu telefonicznego /używając odpowiedniego kodu/. Po dokonaniu potrzebnych operacji maszyna cyfrowa przekazuje odpowiedź fonicznie.

Można przewidywać, że powyższy sposób korzystania z usług maszyny cyfrowej rozszerzyłby znacznie krąg jej użytkowników. Usługi maszyny cyfrowej mogłyby nabrać charakteru masowego, przy czym rolę urządzenia wejściowego i wyjściowego dla użytkownika spełniałby popularny aparat telefoniczny.

Innym przykładem stosowania fonicznego urządzenia wyjściowego może być system sterowania jakimś procesem przez maszynę cyfrową. Gdyby informacje o przebiegu procesu mogły być podawane fonicznie, to dla osób nadzorujących mogłoby to stanowić znaczne udogodnienie. Takim procesem np. mogło by być kierowanie samolotem. Informacje foniczne maszyny cyfrowej przekazywane pilotowi nie odrywałyby wówczas jego uwagi od obserwacji wzrokowej.

Wyjście foniczne mogło by znaleźć zastosowanie do maszyn cyfrowych, za pomocą których prowadzi się gospodarkę materiałową w większych jednostkach gospodarczych. Informacje o stanie magazynu mogłoby być łatwo uzyskiwane przy pomocy aparatu telefonicznego przez klientów korzystających z tego magazynu, co wpłynęłoby na bardziej racjonalną gospodarkę materiałową na drodze zmniejszenia rezerw i większej elastyczności.

Szerokie zastosowanie znalazłoby również foniczne urządzenie wyjściowe w tego rodzaju systemach informacyjnych, w których nie można użyć gotowej odpowiedzi, ze względu na konieczność aktualizacji danych.

W fonicznych urządzeniach wyjściowych stosuje się:

- korzystanie z gotowych tekstów,
- składanie tekstu z wyrazów,
- syntezę mowy.

Wydaje się, że mowa syntetyczna, wykorzystywana w fonicznych urządzeniach wyjściowych nie musi spełniać wysokich wymagań co do jakości i naturalności brzmienia, jeśli cechuje ją dostatecznie duża zrozumiałość. Albowiem ze względu na krótkość komunikatów "wygłaszanych" przez maszynę można bezpiecznie założyć, że odbiorcy byliby w takich przypadkach skłonni do większego wytężenia uwagi niż to ma miejsce potocznie.

W Zakładzie Urządzeń Wejściowych i Wyjściowych IMM zbudowano laboratoryjny układ, w którym wykorzystano zasadę głoskowej syntezy mowy. Przeprowadzono wstępne badania cyfrowego sterowania takim układem oraz wstępną ocenę jakości uzyskanej mowy syntetycznej.

2. Zasada przyjętej syntezy mowy

Jednym z najbardziej istotnych zespołów fonicznego urządzenia wyjściowego jest syntezator mowy, zespół, który wytwarza sygnały mowy syntetycznej. Spośród wielu typów syntezatorów wybrano układ możliwie prosty do realizacji, którego sterowanie podobne jest do sterowania innymi urządzeniami wyjściowymi, jak np. dziurkarką taśmy papierowej.

Wybierając metodę syntezy głoskowej przyjęto kilka założeń, w których ustala się, że:

- prawidłowe akcentowanie nie jest koniecznym warunkiem dobrej zrozumiałości mowy syntetycznej,
- zrozumiałość poszczególnych głosek jest wystarczającym warunkiem zrozumiałości słów i zdań syntetyzowanych z tych głosek,
- uznaje się, że jakość brzmienia mowy syntetycznej otrzymana w wyniku równomiernego podziału sygnału mowy syntetycznej /tzn. przy stosowaniu jednakowego czasu trwania głosek niezależnie od czasu trwania tych głosek w mowie naturalnej/ jest wystarczająca.

Budowę syntezatora oparto na następujących przesłankach:

- synteza przeprowadzona jest na zasadzie odpowiedniego składania 37 głosek, uzyskanych z mowy naturalnej,
- sygnały odpowiadające poszczególnym głoskom zawarte są w odpowiedniej pamięci,
- wybieranie głosek następuje po podaniu odpowiednich sygnałów do syntezatora,
- stosuje się pamięć typu bębnowego, o jednakowej szybkości obrotów wszystkich bębnów,
- wybieranie głosęk następuje po całkowitym obrocie bębna; czas przeznaczony dla każdej głoski /nazywany w niniejszej pracy czasem głoskowym/ jest równy okresowi obrotu bębna pamięci.

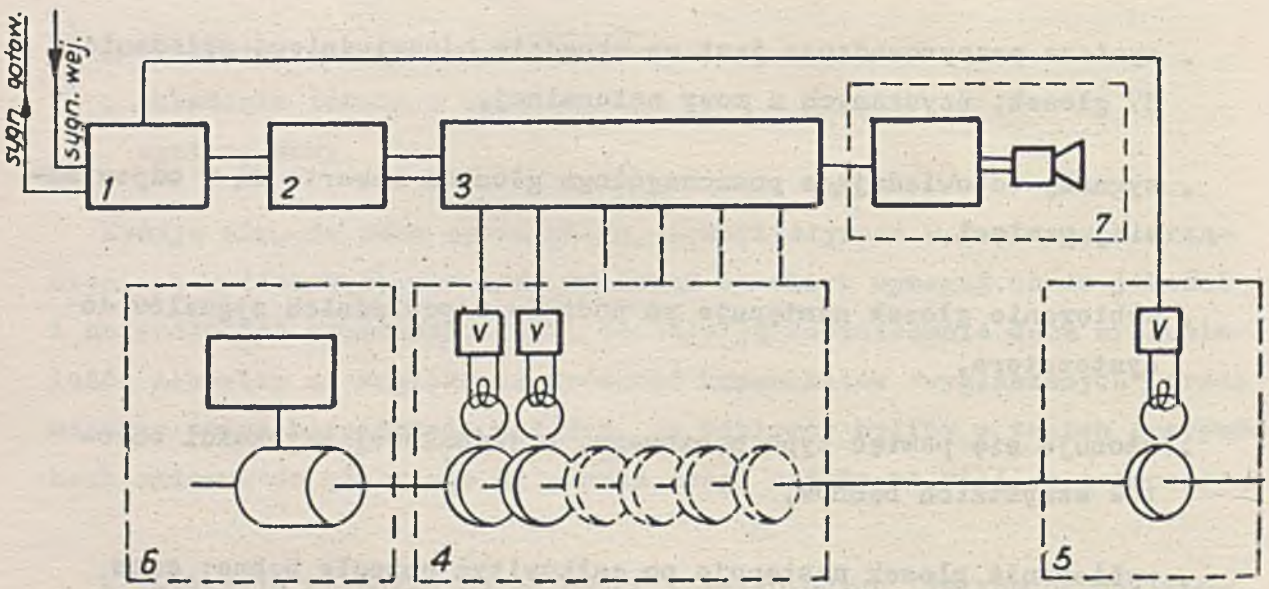
Powyższe założenia przyjęto roboczo celem sprawdzenia samej zasady syntezy głoskowej – licząc się z tym, że jakość mowy syntetycznej wy-

tworzonej w danym urządzeniu może być niedoskonała, natomiast realizacja urządzenia ma być łatwa i pozwalać na uzyskanie wyników w krótkim czasie.

3. Opis budowy urządzenia i jego działanie

Model fonicznego urządzenia wyjściowego składa się z następujących członów funkcjonalnych /rys. 1/:

1. rejestr wejściowy,
2. układ dekodujący,
3. układ wybierający,
4. pamięć,
5. układ wytwarzający impuls synchronizujący,
6. napęd bębnów pamięci,
7. wzmacniacz akustyczny.



Rys. 1. Schemat blokowy fonicznego urządzenia wyjściowego

3.1. Rejestr wejściowy i układ dekodujący

Rejestr wejściowy i układ dekodujący zbudowano z elementów logicznych techniki S-400.

Rejestr wejściowy stanowią przerzutniki, do których w momencie pojawienia się impulsu synchronizującego, są wpisywane sygnały binarne. Rejestr wejściowy połączony jest z układem dekodującym, pracującym na zasadzie matrycy 8-członowej.

Po wpisaniu sygnału binarnego do rejestru wejściowego na jednym z 37 przewodów wyjściowych układu dekodującego pojawia się sygnał otwierający.

3.2. Układ wybierający

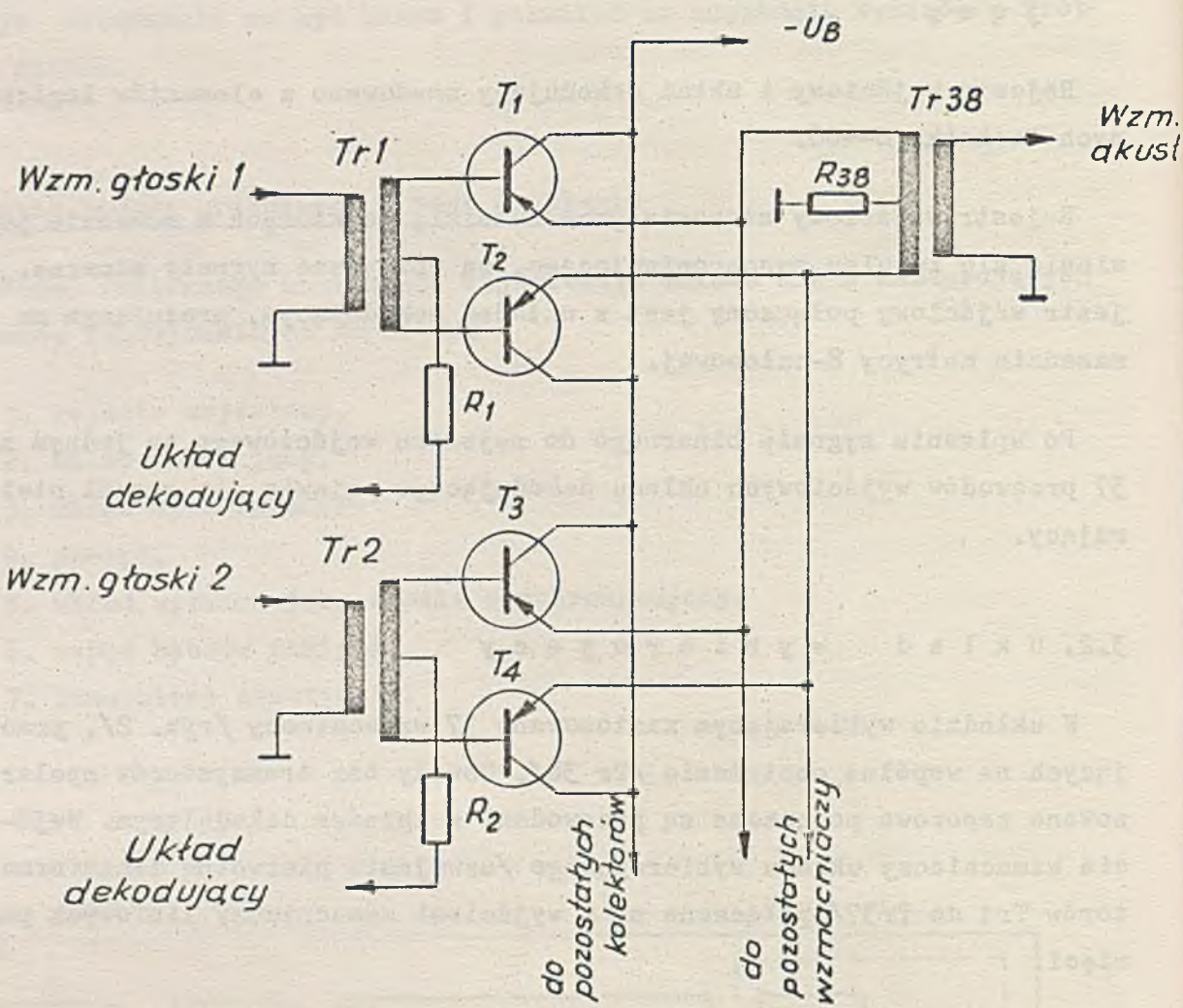
W układzie wybierającym zastosowano 37 wzmacniaczy /rys. 2/, pracujących na wspólne obciążenie /Tr 38/. Obwody baz tranzystorów spolaryzowane zaporowo połączone są przewodami z układem dekodującym. Wejścia wzmacniaczy układu wybierającego /uzwojenia pierwotne transformatorów Tr1 do Tr37/ połączone są z wyjściami wzmacniaczy liniowych pamięci.

Na skutek podania sygnału otwierającego do obwodu baz odpowiedniego wzmacniacza sygnał danej głoski zostaje przekazany do wzmacniacza akustycznego.

3.3. Układ pamięci

Układ pamięci zawiera 37 bębnów o średnicy 50 mm i szerokości 10 mm, na których obwodzie umieszczono nośnik w postaci taśmy magnetycznej. Bębny umieszczono na wspólnej osi i zamocowano w taki sposób, który umożliwia kątowe ich przemieszczanie w celu dobrania odpowiedniej fazy sygnału głoski względem impulsu synchronizującego.

Każdemu bębnowi przyporządkowana jest magnetyczna głowica odczytująca. Sygnały otrzymane z głowic są wzmacniane przez wzmacniacze liniowe o wzmocnieniu ok. 35 dB.



Rys. 2. Schemat układu wybierającego

3.4. Układ wytwarzający impuls synchronizujący

Na osi bębnów pamięci umieszczono dodatkowy bęben, w którym nośnik magnetyczny ma przerwę o małej szerokości. Nośnik jest namagnesowany polem stałym, w przerwie więc wytwarza się skupione pole magnetyczne, które w głowicy magnetycznej współpracującej z danym bębnem wytwarza krótki impuls, wzmacniany następnie przez analogiczny wzmacniacz jak podano w 3.3.

3.5. Napęd zespołu bębnów pamięci

Napęd osi, na którym zamocowane są bębny pamięci i bęben impulsu synchronizującego stanowi silnik prądu stałego, sterowany z układu regulacyjnego, utrzymującego stałą prędkość obrotową. Układ regulacyjny umożliwia ręczną zmianę prędkości obrotowej, przy pomocy pokrętła wyprowadzonego na czołową płytę urządzenia.

3.6. Wzmacniacz akustyczny

Wzmacniacz akustyczny zbudowano w sposób konwencjonalny dla techniki odczytu magnetycznego. Zawiera on kilka stopni wzmacniających oraz człony korekcyjne i służy do sterowania głośnika.

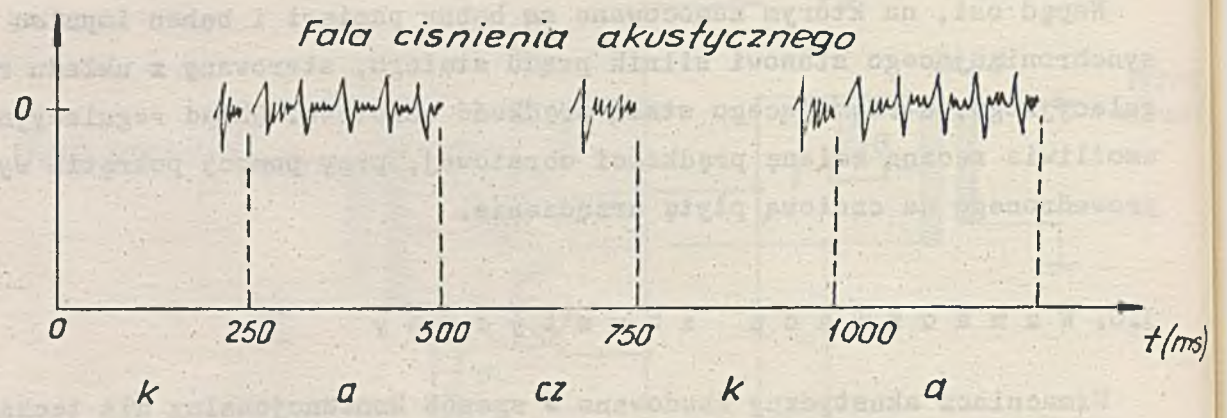
3.7. Opis działania urządzenia

Urządzenie sterowane jest 6-bitowym sygnałem binarnym. Sygnał wejściowy podawany jest do rejestru wejściowego. Stan przerzutników rejestru ustala się po pojawieniu się impulsu synchronizacyjnego zgodnie z sygnałem wejściowym. Powoduje to zdekodowanie sygnału i przesłanie do układu wybierającego sygnału otwierającego jeden ze wzmacniaczy. W wyniku powyższego sygnał głoskowy z bębna pamięci przekazany zostaje do wzmacniacza akustycznego. Jednocześnie z urządzenia zostaje wysłany sygnał zgłaszający gotowość przyjęcia następnego sygnału sterującego.

3.8. Synteza głoskowa

Jak wspomniano poprzednio czas głoskowy jest stały, wynosi ok. 250 ms. W mowie naturalnej czas trwania poszczególnych głosek jest znacznie zróżnicowany i wynosi dla różnych głosek od kilkunastu do ok. 300 ms. W przyjętym systemie syntezy głoskowej zastosowano metodę polegającą na tym, że krótkotrwające spółgłoski umieszczono pod koniec czasu głoskowego tak, aby mogły się łączyć one z następującą samogłoską.

Na rys. 3 przedstawiono w sposób poglądowy przebiegi czasowe sygnałów głosowych przy tworzeniu słów w opisywanym urządzeniu.



Rys. 3. Przebiegi czasowe drgań akustycznych przy tworzeniu słowa "kaczka"

Między kolejnymi sygnałami głoskowymi podawanymi na wejście wzmacniacza akustycznego powstaje przerwa rzędu kilkuset μs, lecz jest ona, jak wykazały próby niezauważalna dla słuchacza. Inny rodzaj zakłócenia stanowią impulsy powstające przy przełączaniu wzmacniaczy układu wybierającego, lecz poziom ich jest wobec wartości sygnału głoskowego również pomijalny /poniżej 37 dB/.

4. Przygotowanie sygnałów głoskowych

Sygnały głoskowe nagrywane były na magnetofonie, a następnie przenoszone na bębny pamięci. Nagrania przygotowane były w ten sposób, że z odpowiednio dobieranych sylab wyodrębniano żądaną głoskę przez kasowanie niepotrzebnych sygnałów.

Przy nagrywaniu sylab zawierających głoski dźwięczne natrafiano na pewne trudności związane z koniecznością utrzymania stałej częstotliwości tonu krtaniowego. Dlatego też nagrywano uprzednio przygotowany tekst /możliwie krótki/, zawierający wszystkie wymagane sylaby, jednym ciągiem prawie bez przerw. Przy wymianie /nowym nagraniu/ dźwięcznej głoski należało powtórnie dokonać nagrania całego tekstu, gdyż bardzo trudno było trafić na odpowiednią częstotliwość tonu krtaniowego.

Z nagraniem głosek bezdźwięcznych nie było kłopotów tego rodzaju, gdyż nie odróżniało się nawet głosek nagranych przez różnych lektorów /kobiety, mężczyźni/.

Przy przepisywaniu sygnałów głoskowych z taśmy pierwotnej dobierano wstępnie poziom sygnału. Z reguły należało podwyższać poziom głosek bezdźwięcznych krótkotrwających. Ostateczne dobranie poziomów następowało w urządzeniu przez regulację wzmocnienia wzmacniaczy pamięci, Po przeniesieniu nośnika /taśmy/ na bęben ustawiano ten ostatni tak, aby uzyskać odpowiednie położenie sygnału głoski względem impulsu synchronizującego, a następnie sprawdzano brzmienie tej głoski w połączeniu z innymi głoskami, zgodnie z prawdopodobieństwem ich występowania w mowie.

W przypadku głosek, które nie wypełniały całego czasu głoskowego koniecznym było skasowanie na bębnie niezapisanej części nośnika w celu wyeliminowania pozostałych sygnałów, które mogły by zakłócić odbiór.

5. Omówienie wyników

W czasie pierwszych prób ustalono czas głosowy na ok. 250 ms. Przy krótszych czasach wzrastały trudności w odbieraniu mowy syntetycznej, przy dłuższych raziła rozwlekłość mowy.

Urządzenie sterowano sygnałami binarnymi z czytnika dziurkowanej taśmy papierowej. Taśmę przygotowano przy pomocy klawiaturowej dziurkarki. Teksty pisano fonetycznie /np. pisano "pjes" zamiast pies/.

Brakującym /nie występującym w kodzie klawiatury/ znakom, potrzebnym do wytworzenia głosek odpowiadającym zestawom liter takich jak "sz" "cz" "ż" itp., przyporządkowano znaki, których nie używano przy tworzeniu mowy: np. x, v, itp. Próby takie przeprowadzono dla wszystkich samogłosek, spółgłosek bezdźwięcznych i szeregu głosek dźwięcznych reprezentujących grupy podobnych głosek.

Próby te potwierdziły przydatność przyjętej koncepcji, a jednocześnie pozwoliły na sformułowanie zaleceń dla dalszych prób.

Urządzenie demonstrowano kilkudziesięciu osobom, celem orientacyjnej oceny wytwarzanej mowy. Odbiór przekazywanych tekstów, zawierających pojedyncze słowa i krótkie zdania był zadawalający, chociaż niektórym osobom przeszkadzał monotonny rytm mowy, pozbawiony akcentu.

W czasie prób stwierdzono również, że dużą rolę odgrywa przyzwyczajenie do sposobu tworzenia mowy syntetycznej przez urządzenie. Osoby wielokrotnie odbierające różne teksty lepiej odbierały sygnały mowy, nawet znacznie zniekształcone na skutek niewłaściwego przygotowania nagranych głosek, od osób, które po raz pierwszy słuchały mowy syntetycznej.

Dla dalszego rozwijania konstrukcji i prowadzenia badań najbardziej istotną zmianą powinno być, naszym zdaniem, zróżnicowanie czasu głoskowego. Prawdopodobnie wystarczającym może się okazać podział na głoski dłuższe i krótsze oraz zastąpienie pamięci bębnowej z nośnikiem magnetycznym i odczytem stykowym - pamięcią z zapisem fotooptycznym, który zapewni większą trwałość sygnałów głosowych.

6. Zakończenie

Pomimo dużej atrakcyjności foniczne urządzenia wyjściowe nie znalazły dotychczas powszechnego zastosowania w EMC.

Powodem takiego stanu rzeczy jest skomplikowana budowa tych urządzeń, a co za tym idzie duży ich koszt. Szczególnie daleko zaawansowane prace w tej dziedzinie /wyjścia i wejścia foniczne/ są prowadzone w ZSRR i USA.

Na podstawie uzyskanych wyników można przypuszczać, że przy zastosowaniu syntezy głoskowej możliwe jest wykonanie w naszych warunkach stosunkowo prostego i taniego fonicznego urządzenia wyjściowego /dla mowy polskiej/, które mogłoby być użytkowo wykorzystane.

Mgr Andrzej TURSKI
Zakład Elektroniki Cyfrowej IMM

621.382.2/.3.002:546.28

PRZEGLĄD METOD OTRZYMYWANIA WARSTW EPITAKSJALNYCH KRZEMU*

1. Wstęp

W technologii przyrządów półprzewodnikowych zasadniczą rolę odgrywa możliwość wytwarzania obszarów i warstw o różnorodnych właściwościach. Właściwości fizyczne i chemiczne tych warstw i obszarów, a nawet sposoby ich otrzymywania, decydują o konstrukcyjnych i technologicznych możliwościach przyrządów elektronicznych. Postęp w tej dziedzinie łączy się szczególnie z zastosowaniem krzemu jako materiału wyjściowego. Dzięki nowym możliwościom opracowano szereg nowych przyrządów półprzewodnikowych o bardzo dobrych właściwościach przełączających, a także rozwinięto produkcję półprzewodnikowych układów scalonych. Celem niniejszej pracy jest omówienie podstawowych właściwości krzemowych warstw epitaksjalnych oraz charakterystyka metod otrzymywania tych warstw.

2. Podstawowe właściwości warstw epitaksjalnych

W dziedzinie przyrządów półprzewodnikowych technika otrzymywania tzw. warstw epitaksjalnych znalazła bardzo duże zastosowanie jako metoda wytwarzania przylegających do siebie monokrystalicznych warstw krzemu o różnych grubościach i opornościach. W pewnych przypadkach metoda ta

---

* Od Redakcji:

Biorąc pod uwagę szczególną rolę jaką w technice cyfrowej odegrały elementy półprzewodnikowe uznano za celowe zapoznanie szerokiego kręgu czytelników z podstawowymi procesami technologicznymi, które pozwalają wytwarzać elementy przetwarzające wysokiej klasy. Niniejsze opracowanie poświęcono procesowi epitaksji. W dalszej kolejności omówimy istotę technologii planarnej, stanowiącej podstawę produkcji nowoczesnych elementów półprzewodnikowych i układów scalonych.

pozwala na realizację poprzednio niemożliwych do wykonania przyrządów, w innych na polepszenie ich własności lub zwiększenie wydajności produkcji. Przyrządy takie znalazły między innymi bardzo duże zastosowanie w przemyśle maszyn cyfrowych. Mianowicie powstały w ten sposób szybkie tranzystory przełączające o niskim oporze szeregowym kolektorów, a następnie układy scalone.

Zarówno technika warstw epitaksjalnych i jej zastosowania jak i inne techniki wykonywania przyrządów półprzewodnikowych znajdują się w ciągłym intensywnym rozwoju. Stan aktualny trzeba więc rozpatrywać w świetle osiągnięć, które już znalazły zastosowanie przemysłowe jak i w świetle najnowszych prac naukowych. Dlatego w niniejszej pracy poświęcono stosunkowo dużo miejsca istocie zjawiska powstawania warstwy epitaksjalnej krzemu oraz najnowszym pracom naukowym w tej dziedzinie. Jest to tym bardziej celowe, że często spotyka się błędną interpretację tych zagadnień.

Warstwy epitaksjalne należą do grupy warstw nanoszonych. Np.:

. warstwa metaliczna na półprzewodniku lub izolatorze,
. warstwa SiO na szkle,
. warstwa krzemu na kwarcu lub szafirze,
. warstwa monokrystalicznego krzemu typu n, o oporności właściwej ϱ = 1 Ωcm, na krzemie typu n, ϱ = 0,001 Ωcm.

Tylko w ostatnim przykładzie mamy do czynienia z warstwą epitaksjalną, gdyż tylko w tym przypadku struktura krystaliczna warstwy została zdeterminowana przez oddziaływanie powierzchni kryształu podłoża.

Omawiane tu metody nanoszenia warstw charakteryzują się tym, że substancja nanoszona pochodzi z fazy gazowej i osadza się na uprzednio uformowanej powierzchni podłoża. Substancja nanoszona przechodzi więc z fazy gazowej charakteryzującej się brakiem uporządkowania w strukturę uporządkowaną, charakterystyczną dla ciała stałego.

Stopień uporządkowania, jaki ostatecznie przyjmie struktura warstwy, zależy od wielu czynników. Przede wszystkim zależy od sił występujących między atomami powierzchni podłoża i atomami osadzonej warstwy, od struk-

tury krystalicznej powierzchni podłoża i osadzanej substancji, od energii atomów lub cząsteczek osadzanej warstwy i od szybkości nakładania się warstwy. W zależności od kombinacji tych czynników, warstwa przybiera mniej lub bardziej jednorodną strukturę.

Pod wpływem powierzchni kryształu istniejącego już w środowisku tworzenia się struktury warstwy warstwa ta może przyjąć strukturę monokrystaliczną tzn. jednorodną o jednakowej orientacji krystalograficznej. Stąd pochodzi nazwa warstwa epitaksjalna, gdyż tworzenie się kryształu pod wpływem powierzchni innego kryształu zwie się epitaksją. Przedrostek "epi", po grecku "nad" użyty jest tutaj dla zaznaczenia faktu, że atomy tworzące siatkę krystaliczną warstwy, znajdują się w sensie ściśle krystalograficznym nad atomami siatki już istniejącego kryształu. Drugi człon wyrazu "taksja" wywodzi się od słowa greckiego oznaczającego "nałożony".

Do powstania takiej bezdefektowej warstwy monokrystalicznej jest niezbędne istnienie zgodnego współdziałania struktur krystalicznych: substancji nanoszonej i monokryształu wpływającego na strukturę warstwy nanoszonej.

W najprostszym przypadku monokryształem porządkującym jest powierzchnia płytki krzemowej użyta jako podłoże warstwy krzemowej. Z bardziej skomplikowanym problemem spotykamy się wówczas, gdy podłoże i warstwa składają się z odmiennych substancji. Mimo to i w takich przypadkach otrzymano warstwy monokrystaliczne. Posiadają one jednak dużo gorsze właściwości strukturalne i stanowią znacznie trudniejszy problem technologiczny.

Najkorzystniejszą sytuację dla otrzymania struktury monokrystalicznej całej warstwy mamy w przypadku osadzania krzemu na krzemie, gdyż cała powierzchnia podłoża może być wówczas jednym zarodkiem krystalizacji warstwy monokrystalicznej. W tym celu należy tak dobrać warunki nanoszenia, aby nie mogły powstawać inne zarodki krystalizacji warstwy tzn., aby substancja powstającej warstwy nie mogła krystalizować w warunkach powstawania odrębnych mikrokryształów, które następnie same przejęłyby rolę niezależnych od siebie zarodków krystalizacji.

Otrzymywanie materiału o zróżnicowanym rozkładzie domieszek stwarza szereg nowych możliwości konstrukcyjnych w dziedzinie przyrządów półprzewodnikowych. Stwierdzić przy tym należy, że istota rzeczy nie polega na jakichś szczególnych właściwościach półprzewodnikowych warstw epitaksjalnych krzemu, lecz na zwiększeniu możliwości lokalizacji określonych domieszek w określonych miejscach monokryształów oraz uzyskiwaniu ostrych, wyraźnych przejść między różnymi obszarami i w wyniku tego na zwiększeniu możliwości konstrukcyjnych elektroniki.

Metodą epitaksji można wytworzyć dwie lub więcej wzajemnie przylegające do siebie /nałożone na siebie/ warstwy monokrystaliczne o dowolnych /interesujących elektronikę/ grubościach i o szerokim zakresie oporności obu typów przewodnictwa.

Oczywiście, w wielu przypadkach, korzysta się dalej z procesów dyfuzji, która pozostaje najprostszym sposobem wprowadzania domieszek. Jednak nie wszystkie zadania da się rozwiązać w ten sposób i wówczas z pomocą przychodzi epitaksja. Przykładami takich zastosowań są warstwy nisko domieszkowane /grubości $\sim 10\ \mu$, $\varrho \approx 1\ \Omega$cm, typu n/ na podłożu wysoko domieszkowanym /grubości $\sim 0{,}15 - 0{,}2$ mm, $\varrho \approx 0{,}001\ \Omega$cm, typu n/.

Dzięki wytworzeniu takiego zestawienia warstw, możliwe było wykonanie szybkich tranzystorów przełączających do maszyn cyfrowych posiadających dostateczne napięcie przebicia przy niskiej oporności szeregowej kolektora [2]. Warstwa typu n o oporności $\varrho \approx 1\ \Omega$cm, osadzona na podłożu typu p, $\varrho \approx 10\ \Omega$cm umożliwia produkcję układów scalonych. Wytworzenie takiego zestawienia oporności warstw jest możliwe i przy metodzie dyfuzji, ale metodą epitaksji osiąga się w tym przypadku lepsze i tańsze wyniki przy jednoczesnym zwiększeniu wydajności przyrządów.

W razie stosowania epitaksji wprowadzanie domieszek odbywa się w trakcie tworzenia samej warstwy. Dyfuzja jest tu zjawiskiem ubocznym i często niepożądanym. Można wytwarzać warstwę w taki sposób, aby dyfuzja w ogóle nie występowała. Dzięki temu można otrzymywać warstwy o całkowicie ostrej zmianie profilu koncentracji domieszek na granicy warstw. Wykonując w ten sposób cztery różnie zdomieszkowane warstwy otrzymano diody o zmiennej pojemności [7]. Szczytowym osiągnię-

ciem w tej dziedzinie /na skalę doświadczalną/ jest w tej chwili tranzystor bipolarny na szafirze o 350 MHz [8]. Poszczególne warstwy krzemu $n^+ - n - p - n^+$ wykonano na szafirze tylko metodą epitaksji. Z tego typu warstwami na podłożach izolacyjnych wiąże się nadzieję na konstrukcję układów scalonych dla ultra wysokich częstotliwości z powodu bardzo dobrej izolacji między poszczególnymi elementami układu.

Warstwę epitaksjalną można też nakładać na powierzchnię płytki z wytrawionymi dołkami. Warstwa powtarza wtedy profil powierzchni. Stosując następnie zeszlifowywanie i trawienie w celu wytworzenia płaskiej powierzchni, można otrzymywać powierzchnie z wyodrębnionymi obszarami o różnej oporności /nakładanie konturowe/ [9]. Istnieje również możliwość wytwarzania takich powierzchni metodą nakładania epitaksjalnego przez maski tlenkowe. Jednak proces taki przebiega bardzo wolno i bardzo trudno uzyskać odpowiednio równą powierzchnię, jakiej wymaga się w technologii planarnej. Z tych względów metodzie tej raczej trudno konkurować z dyfuzją lub nawet z poprzednio wymienioną metodą nakładania konturowego. Metoda ta ma większe szanse dla technologii nieplanarnych.

Innym zagadnieniem rozwiązywanym metodą epitaksji jest otrzymywanie warstw o dużych grubościach, rzędu płytek podłożowych, tzn. 0,15 ÷ 0,2 mm. Otrzymywanie takich warstw pozwala na wykonywanie układów scalonych o izolacji za pomocą cienkiej warstwy dielektrycznej między poszczególnymi elementami. Pozwala to wykonywać układy scalone o b. dużej szybkości działania /częstotliwość $>$ 100 MHz/ [17].

W praktyce wytwarzania elementów dyskretnych i układów scalonych stosuje się kombinacje różnych metod, mając na uwadze zarówno osiągnięcie zamierzonych parametrów przyrządów jak i koszty produkcji. Pod tym kątem należy także w poszczególnych przypadkach rozpatrywać stosowanie warstw epitaksjalnych. Celem tej pracy nie jest jednak szczegółowe analizowanie tych zagadnień.

3. Metody otrzymywania warstw epitaksjalnych krzemu

Otrzymywaniu warstw epitaksjalnych krzemu i zastosowaniom poświęcono od roku 1957 [1] kilkaset prac. Powszechnie uznaje się Theurer'a za twórcę wzorcowej już obecnie metody otrzymywania warstw z czterochlorku

krzemu na płytkach umieszczonych na indukcyjnie grzanej podstawce [3]. Metoda ta jest obecnie uważana za podstawową. Opublikowano wyniki szeregu innych metod otrzymywania i badania własności fizycznych warstw epitaksjalnych [4-6, 22].

Zagadnienie otrzymywania warstw ma zupełnie odmienną problematykę w zależności od natury fizyko-chemicznej podłoża, na którym wytwarza się warstwę. Z tego względu należy wyodrębnić co najmniej trzy główne grupy zagadnień w zależności od rodzaju podłoża:

- Podłoże zbudowane z tej samej substancji co warstwa.
- Podłoże zbudowane z innej substancji niż warstwa.
- Podłoże zbudowane częściowo z takiej samej, a częściowo z innej substancji niż warstwa.

3.1. Otrzymywanie warstw epitaksjalnych na podłożu zbudowanym z tej samej substancji co warstwa

W przypadku omawianych tutaj warstw krzemowych, podłoże i warstwa składają się oczywiście z krzemu.

Aby warstwa rosła epitaksjalnie w postaci monokryształu, powierzchnia podłoża musi także być powierzchnią monokryształu. Używane obecnie w produkcji płytki krzemu otrzymuje się z większych monokryształów przez cięcie, szlifowanie, polerowanie mechaniczne, mycie i trawienie /polerowanie/ chemiczne. Obróbka mechaniczna pozostawia z reguły uszkodzoną warstwę powierzchniową w postaci mikrorys, pęknięć, ziarn i pyłów. Powierzchnie tych defektów stają się w czasie dalszej krystalizacji oddzielnymi zarodkami krystalizacyjnymi, wskutek czego warstwa może rosnąć co najwyżej jako monokryształ z dużą ilością defektów lub jako polikryształ.

Usunięcie tego rodzaju defektów obróbki mechanicznej jest możliwe na drodze trawienia chemicznego. Trawienie chemiczne można przeprowadzać w roztworach HF i HNO_3, w wodorze z domieszką suchego HCl, w wodorze z domieszką H_2O w temp. 1270°C [11]. Możliwości obróbki powierzchni tymi metodami podaje tabela 1. Kryterium oceny jest ilość trójkątów

trawienia /tzw. s t a c k i n g f a u l t s widocznych pod mikroskopem po 0,5 min. trawienia w roztworze wodnym CrO_3 i HF/ w warstwie epitaksjalnej po obróbce powierzchni płytki daną metodą.

Tabela 1

Lp.	Rodzaj polerowania	Ilość trójkątów trawienia	Warunki epitaksji	Warunki nagrzewania płytki przed epitaksją
1	mechaniczne	10^4	temp. 1250°C = 0,5 µ/min	a. $\frac{1}{2}$ godz. w suchym H_2 w 1270°C, b. 5 min. nagrzewania od temp. pok. do 1250°C
2	mechaniczne oraz H_2+H_2O w czasie $\frac{1}{2}$ godz.	10^4	"	a. jak 1a, b. 5 min suchy H_2 przed puszczeniem $SiCl_4$
3	mechaniczne + trawienie w $HF+HNO_3$	bez trójkątów	temp. 1170°C = 0,7 µ/min	5 min nagrzewania od temp. pok. do 1170°C
4	mechaniczne i trawienie H_2+HCl	bez trójkątów	"	$SiCl_4$ puszczony natychmiast po przerwaniu przepływu HCl
5	mechaniczne + trawienie $HF+HNO_3$ + trawienie H_2 + HCl	bez trójkątów	"	"
6	mechaniczne + trawienie $HF+HNO_3$ + trawienie H_2 + H_2O	bez trójkątów	"	jak w 2b

Ilość strawianego krzemu z powierzchni płytki zależy od jakości polerowania mechanicznego. Po zwykłym polerowaniu mechanicznym trzeba strawić conajmniej 10 μ, aby otrzymać warstwę bez s t a c k i n g f a u l t s. Polerowanie w roztworze HF i HNO_3 daje powierzchnię o wysokim stopniu gładkości, a jako proces bardzo szybki i prowadzony w temperaturach zbliżonych do pokojowej jest najbardziej rozpowszechnionym sposobem obróbki.

Polerowanie w H_2 + HCl daje najlepsze wyniki w temperaturach 1150 - 1250°C. W temperaturze 1250°C można strawiać powierzchnię płytki z szybkością 1 μ/min przy zawartości HCl 0,5% obj. W temperaturach niższych szybkość strawiania jest mniejsza. W temperaturach niższych od 1250°C szczególnie ważne staje się dokładne osuszenie i odtlenienie całego układu reakcji oraz samego HCl. W przeciwnym przypadku na powierzchni płytki osiada biały nalot uniemożliwiający otrzymanie dobrej powierzchni, co niekiedy /jak w [10] / jest błędnie poczytywane za wynik niedogrzania przed puszczeniem HCl.

Trawienie w H_2 + H_2O musi być prowadzone w temp. 1270°C, gdyż w niższych temperaturach powstaje biały nalot. Przy zawartości H_2O w H_2 odpowiadającej punktowi rosy 65°C otrzymuje się szybkość strawiania 1 μ w 15 min. Jest to więc trawienie bardzo wolne. Zaletą tego trawienia ma być wedle [11] brak pewnych niejednorodności na granicy warstwy i podłoża widocznych tylko pod mikroskopem elektronowym.

Trawienia w fazie gazowej nie nadają się do obróbki powierzchni przed epitaksją na płytkach z wdyfundowanymi obszarami domieszek, gdyż powodują ich redystrybucję. Dobrze oczyszczona powierzchnia nie potrzebuje zresztą takiego trawienia, gdyż jak wynika z p. 3 tabeli 1, zaabsorbowany w temperaturze pokojowej tlen na powierzchni krzemu [12] usuwa się bardzo szybko i nie powoduje powstawania s t a c k i n g f a u l t s. Natomiast niezbędna jest odpowiednio wysoka czystość całej aparatury do epitaksji, użytych odczynników i gazów, gdyż ślady ich zanieczyszczenia tlenem, wilgocią lub innymi gazami w wysokich temperaturach są trudno usuwalne z powierzchni podłoża.

3.2. Temperatura a szybkość nanoszenia warstwy

Aby warstwa nanoszona była monokrystaliczna i o jak najmniejszej ilości defektów, szybkość nanoszenia warstwy nie może być wyższa od pewnej granicznej szybkości tworzenia monokryształu zależnej od temperatury. Gdy szybkość nanoszenia będzie wyższa, struktura warstwy będzie wykazywać defekty, mimo że powierzchnia podłoża była odpowiednio przygotowana do spełnienia roli zarodka warstwy monokrystalicznej. Powstanie wówczas wiele oddzielnych zarodków krystalizacji i otrzymamy warstwę polikrystaliczną, aż do bezpostaciowej, zwłaszcza w niższych temperaturach. Przyczyną tego zjawiska jest fakt, że czas, po którym atom zmienia swoje położenie w sieci krystalicznej, wydłuża się wraz ze spadkiem temperatury. Gdy czas ten wydłuży się na tyle, że atomy nie zdążą zająć prawidłowych pozycji w sieci przed osadzeniem się następnych atomów, ilość niewłaściwych położeń atomów w sieci będzie wzrastać, otrzymanie monokryształu stanie się niemożliwe.

Największe szybkości narastania monokryształu napotyka się w pobliżu temperatury topnienia. Jednakże wraz ze wzrostem temperatury wzrasta dyfuzja i nie można otrzymać ostrego przejścia między obszarami o różnym zdomieszkowaniu. Z tego powodu trzeba dobierać kompromisowe temperatury nanoszenia.

Temperaturami takimi dla krzemu są temperatury poniżej 1250°C /p. wykres 1/. W temperaturze 1200°C otrzymuje się dobry monokryształ z szybkością 1 μ/min. Najniższą temperaturą, w której otrzymano dobry monokryształ z $SiCl_4$ jest 850°C. Wzmiankowany wykres przedstawia szybkość krystalizacji jaką otrzymał Nakanuma w zakresie temperatur 850°C - - 1250°C [7]. W temperaturze 550°C Widmer [16] uzyskał warstwę monokrystaliczną w próżni 10^{-10} tor.

Linią przerywaną zaznaczono krzywą obliczoną podstawie wzoru

$$\tau = \Delta \cdot e^{x}, \quad x = \frac{\Delta E}{kT}$$

gdzie:

τ - czas życia osiadłego atomu na powierzchni,

A - stała równa 10^{-13},

ΔE - energia potrzebna do zmiany pozycji atomu Si na powierzchni,

k - stała Bolzmana,

T - temperatura bezwzględna,

przy założeniu stałości ΔE w całym zakresie temperatur oraz przyjęciu za podstawę obliczeń szybkości nanoszenia 1 $\frac{\mu}{min}$ w 1200°C.

Dokładna interpretacja uzyskanych dotąd wyników jest bardzo utrudniona z powodu braku dokładnej znajomości zależności ΔE od temperatury dla krzemu, braku dostatecznie precyzyjnego i ogólnie przyjętego wzorca doskonałości strukturalnej warstw oraz dużej czułości powierzchni krzemu wobec środowiska, co zwłaszcza w temperaturze niższej od 1200°C może wpływać na duży rozrzut eksperymentalnie uzyskiwanych danych.

W temperaturze wyższej od 1250°C niewątpliwie najłatwiej otrzymuje się strukturalnie dobre warstwy, ponieważ w temperaturach tych nie przeszkadzają nawet małe ilości tlenu i H_2O, albowiem w tych warunkach tlen tworzy z krzemem SiO, który ulatnia się. W niższych temperaturach tlen i H_2O, reagując z krzemem, nie może się już ulotnić i skupia się na powierzchni podłoża przed rozpoczęciem osadzania, stając się przyczyną defektów. Dlatego w niższych temperaturach konieczny staje się większy stopień osuszenia, odtlenienia i czystości całego układu reakcji, aparatury, odczynników i gazów.

Stosowanie temperatur niższych od 1000°C jest w produkcji niekorzystne z powodu zbyt małej szybkości procesu. Np. w temperaturze 850°C z $SiCl_4$ warstwę o grubości 10 μ otrzymuje się w ciągu około 4 godzin. Celem obniżenia temperatury jest otrzymanie ostrego profilu koncentracji domieszek na granicy warstwy i podłoża. Stosując SiH_4 cel ten osiąga się powyżej 1000°C [13], kiedy proces tworzenia monokryształu przebiega ze znacznie większą szybkością.

Zakres temperatur od 1000 do 1250°C można uznać za zupełnie wystarczający dla osiągnięcia wszelkich celów praktycznych. W całym zakresie szybkości krystalizacji można uzyskać potrzebne szybkości nanoszenia, stosując szereg związków krzemu jak np. $SiCl_4$, $SiHCl_3$, SiH_4, a w przypadku napylania krzem pierwiastkowy. Dzięki regulacji prężności par tych źródeł krzemu można regulować szybkość nanoszenia od zera do szybkości dowolnej.

Do otrzymywania warstw monokrystalicznych potrzebne są bardzo małe szybkości nanoszenia /wykres 1/. Jak widać z wykresu 2 i 3 stężenia związków będących źródłem krzemu muszą też być bardzo niskie. W przypadku stosowania $SiCl_4$, potrzebne niskie stężenia uzyskuje się łatwiej niż dla $SiHCl_3$, bo już przy 0^oC, dlatego jest on stosowany w procesach epitaksji. Ponadto ma on tę dodatkową zaletę, że jest niewybuchowy. Stosowanie SiH_4 wiąże się z dodatkowymi trudnościami w porównaniu ze stosowaniem $SiCl_4$ i $SiHCl_3$, zarówno z powodu większych trudności otrzymywania warstwy, domieszkowania jak i z powodu trudności otrzymywania i łatwości rozkładu SiH_4.

Może on być stosowany w tych przypadkach, gdy zawodzi zastosowanie $SiCl_4$ i $SiHCl_3$ zwłaszcza przy otrzymywaniu krzemu wysokooporowego /p. niżej/.

3.3. K o n c e n t r a c j a d o m i e s z e k w w a r s t w a c h e p i t a k s j a l n y c h

Najważniejsze znaczenie stosowania warstw epitaksjalnych wiąże się z możliwością wytwarzania w monokryształach wzajemnie przylegających obszarów zdomieszkowanych w taki sposób, który jest niemożliwy do osiągnięcia innymi dotychczas stosowanymi metodami, włącznie z dyfuzją. W ten sposób nanosi się warstwę krzemu typu n, ϱ = 1 Ωcm na podłożu typu n, ϱ = 0,001 Ωcm. Technika epitaksji pozwala również uniknąć długotrwałej dyfuzji przy wykonywaniu złącz izolacyjnych dla układów scalonych, gdy nanosi się warstwę czynną typu n, ϱ = 1 Ωcm na podłużu typu p.

Bardzo ważną cechą obszarów o różnym zdomieszkowaniu jest profil zmiany koncentracji domieszek na granicy obszarów.

Technika epitaksjalna daje możliwość otrzymania ostrego profilu zmiany koncentracji. W temperaturze 1250^oC warstwa otrzymana z $SiCl_4$ na podłożu 0,001 cm typu n posiada tąki profil koncentracji jaki został przedstawiony na wykresie. W miarę spadku temperatury zmniejsza się dyfuzja domieszek i profil zaostrza się jeszcze bardziej. Z SiH_4 w temp. 1100^oC otrzymuje się już całkowicie ostry profil. Profil tego rodzaju otrzymuje się z $SiCl_4$ w temp. ok. 900^oC.

Zastosowanie SiH_4 poprawia więc w porównaniu z zastosowaniem $SiCl_4$, profil zmiany koncentracji domieszek na granicy warstwy i podłoża /wy-

kres 4/. Tłumaczy się to przenoszeniem domieszki z podłoża do tworzącej się warstwy wskutek reakcji HCl pochodzącego z rozkładu $SiCl_4$ z wysoko domieszkowanym podłożem. Jest to możliwe na skutek istnienia równowagi dynamicznej między reagentami. Przy zastosowaniu SiH_4 takiej możliwości nie ma i profil zależy tylko od szybkości dyfuzji w danej temperaturze.

Oporność warstwy reguluje się przez wprowadzenie domieszek pierwiastków takich jak fosfór, arsen, antymon, dla krzemu typu n i B, Ca, dla krzemu typu p. Wszystkie te pierwiastki tworzą związki ciekłe lub gazowe rozkładające się w warunkach epitaksji na pierwiastki, a więc przydatne do domieszkowania $SiCl_4$ lub SiH_4 i otrzymywania żądanych oporności. Za pomocą tych metod otrzymuje się łatwo warstwy o opornościach od $0{,}001 \div 20\ \Omega$ cm.

Najbardziej rozpowszechnione są obecnie warstwy o oporności 1-3 Ωcm. $SiCl_4$ otrzymany za pomocą rektyfikacji daje warstwy o takiej oporności. Stosuje się również dalsze oczyszczanie $SiCl_4$ i dozuje się go wyżej wymienionymi związkami w celu otrzymania żądanej oporności warstwy. Przy zastosowaniu $SiCl_4$ łatwo reguluje się oporność za pomocą PCl_5 i $B Br_3$ z powodu ich zbliżonej lotności do $SiCl_4$ i na skutek łatwości odparowywania razem z $SiCl_4$ w takiej proporcji w jakiej są obecne w ciekłym $SiCl_4$.

SiH_4 posiada zupełnie inne własności fizyczne i chemiczne niż $SiCl_4$ /temp. wrzenia SiH_4 = - 112°C/. Dlatego też jego zastosowanie oraz domieszkowanie w celu regulowania oporności jest trudniejsze i stwarza zupełnie inne problemy. Pozwala natomiast otrzymywać krzem wysokooporowy.

3.4. Otrzymywanie warstwy epitaksjalnej na podłożu niejednorodnym

Typowymi przykładami otrzymywania warstw na podłożach niejednorodnych są często opisywane w literaturze metody tworzenia się tzw. stacking faults w warstwach epitaksjalnych /trójkąty po 0,5 mm trawienia w roztworze CrO_3 - HF w wodzie/. Obok opisanych już w tej pracy przyczyn ich powstawania na skutek defektów powierzchni wywołanych w czasie obróbki mechanicznej, powierzchnia może być zanieczyszczona także już po jej wypolerowaniu chemicznym. Źródłem zanieczyszczeń może być niedostateczna czystość układu reakcji, gazów, odczynników, a także pył krzemowy lub inny osiadający na powierzchni płytki w rezultacie niewłaściwie prowadzonego procesu lub wadliwej konstrukcji aparatu-

ry. Wszystkie te przyczyny wywołują odchylenia od monokrystaliczności powierzchni podłoża, które powodują powstawanie większej ilości zarodków krystalizacji i większych lub mniejszych defektów samej warstwy.

Innego rodzaju przykładem zastosowania podłoża mieszanego jest otrzymywanie oddzielnych obszarów warstwy epitaksjalnej za pomocą maski tlenkowej [14 , 15]. Płytkę podłoża wykonaną z krzemu monokrystalicznego pokrywa się na powierzchni dwutlenkiem krzemu i metodą fotolitograficzną nanosi się na jego powierzchni potrzebny wzór. W miejscach, gdzie jest odsłonięta powierzchnia krzemu monokrystalicznego można osadzać krzem epitaksjalnie, bez pokrywania krzemem warstwy tlenku. Jest to możliwe na skutek tego, że dla osadzenia się krzemu na SiO_2 potrzeba większej szybkości wydzielania się krzemu z fazy gazowej niż na krzemie. Dlatego można dobrać taką szybkość osadzania, że krzem będzie osiadać tylko na odsłoniętym krzemie.

W temp. 1170°C szybkość osadzania nie może przekraczać 0,15 µ/min. Dla tak wysokiej temperatury epitaksji jest to szybkość bardzo mała, stąd gorsze profile koncentracji domieszek. Przy metodzie tej nie można zastosować niskotemperaturowych metod epitaksji. Również trudno otrzymywać gładkie powierzchnie. Z tych powodów metoda ta raczej nie wytrzymuje konkurencji.

3.5. Osadzanie warstwy na podłożu z innego materiału

Podłożem przydatnym do nanoszenia krzemu jest oczywiście takie podłoże, które nie topi się w warunkach nanoszenia. Podłożami szczególnie interesującymi dla celów konstrukcji przyrządów półprzewodnikowych są podłoża izolacyjne. Otrzymywanie warstw epitaksjalnych na takich podłożach ma duże znaczenie dla konstrukcji układów scalonych o bardzo wysokiej częstotliwości działania.

Ze względu na własności izolacyjne mogą być brane pod uwagę takie materiały jak kwarc, tlenek magnezu, korundy /szafir/ i szereg innych.

Podłoża te mają niskie prężności par oraz bardzo słabo reagują z krzemem dlatego też szybkości nanoszenia warstwy krzemowej na takie podłoża minimalnie lub wcale nie różnią się w zwykłych warunkach epitaksji od szybkości nanoszenia na krzem. Szybkości nanoszenia wynoszące w tych samych temperaturach i przy takim samym stężeniu źródła nanoszonego krzemu 0,5 czy 1 µ/min na krzemie będą takie same lub nie-

wiele będą się różnić od szybkości nanoszenia na podłożach niekrzemowych.

Zasadnicze różnice występują wówczas, gdy chodzi o otrzymywanie warstw o jednorodnych, uporządkowanych strukturach. Warstwa epitaksjalna otrzymana w tych samych warunkach na krzemie jako warstwa monokrystaliczna i bez defektów może na podłożu niekrzemowym wykazywać bardzo dużą liczbę defektów. Nie ma bowiem podłoży niekrzemowych pozwalających otrzymywać warstwy krzemowe o strukturze tak doskonałej, jakie posiadają warstwy otrzymywane na podłożu krzemowym.

Aby warstwy tego rodzaju mogły być dobre, ich podłoże musiałoby spełniać szereg następujących warunków:

1. nie dawać reakcji ubocznych w warunkach epitaksji, które powodują niepożądane zanieczyszczenie warstwy lub psują powierzchnię podłoża,

2. powierzchnia podłoża musi mieć gładkość tego rodzaju, co płytki krzemu trawione chemicznie,

3. podłoże i warstwa muszą mieć zbliżone /lub takie same/ współczynniki rozszerzalności termicznej,

4. podłoże musi być monokryształem o ilości dyslokacji nie większej niż to jest dopuszczalne dla nanoszonej warstwy,

5. oddziaływanie między strukturą krystaliczną powierzchni podłoża a strukturą krystaliczną substancji nanoszonej powinno pozwalać substancji nanoszonej /tzn. krzemowi/ na tworzenie charakterystycznej struktury od razu, od pierwszego stadium tworzenia się warstwy.

Nie znamy obecnie podłoży, które by spełniały wszystkie te warunki. Jak wynika z dotychczasowych publikacji, najlepsze wyniki otrzymano na szafirze /korundzie - Al_2O_3/. Materiał ten dobrze spełnia warunek 1. przy zastosowaniu metod próżniowych lub SiH_4. Gorsze wyniki otrzymuje się przy zastosowaniu $SiCl_4$, ponieważ warstwa ta jest domieszkowana glinem w wyniku reakcji z Al_2O_3 w temperaturach epitaksji oraz dlatego, że zachodzi tutaj niekorzystne, selektywne trawienie powierzchni

podłoża. Na skutek tego w atmosferze $SiCl_4$ podłoże zbudowane z Al_2O_3 nie spełnia warunku. Z tego powodu nie nadaje się również wiele innych podłoży, między innymi kwarc. Występuje tu bowiem silna tendencja do wytwarzania się wielu oddzielnych zarodków krystalizacji na skutek reakcji Si z SiO_2 w wyższych temperaturach.

Podobnie spinel zanieczyszcza warstwę krzemu tytanem i żelazem. Warstwy nanoszone na nim są gorsze mimo tego, że ich struktura okazała się lepsza od struktury warstw nanoszonych na szafirze [8].

Warstwy nanoszone na szafirze mają dobre własności półprzewodnikowe i pozwalają uzyskiwać struktury monokrystaliczne. Mają one jednak dużą liczbę defektów na skutek niespełniania warunków 3, 4 i 5. Z powodu ich niedoskonałości strukturalnej źle, w sposób niejednorodny przebiega w nich proces dyfuzji domieszek oraz osiąga się niską wydajność z przyrządów z płytki. Unikając trudności dyfuzji przez wytworzenie metodą epitaksji obszarów $n^+ - n - p - n^+$. Heiman i Robinson 8 wykonali tranzystory bipolarne na szafirze całkowicie izolowane od siebie. Poszczególne warstwy miały tu odpowiednio grubości: 3 μ; 1,5 μ; 0,8 μ; 0,5 μ i były nanoszone z SiH_4 w temperaturze 1200°C, z szybkością 0,5 - 1 μ/min. f_T tych tranzystorów wynosiło 350 MHz. Dla porównania warto przypomnieć, że handlowe tranzystory szybkie osiągają 1000 MHz, tranzystory doświadczalne 2.800 MHz, układy scalone z izolacją p - n - 10 MHz, z izolacją dielektryczną $>$ 100 MHz/.

W 1964 roku w firmie Autonetics wykonano układ scalony zawierający tranzystory polowe [22]. W tym przypadku wystarcza pojedyncza warstwa krzemowa /grubości 1 μ/. Od 1963 r. opublikowano szereg [18-22] prac informujących o wykonaniu tranzystorów polowych na tego typu warstwach zarówno osadzonych z SiH_4 jak i za pomocą napylania.

Gdy nie ma potrzeby otrzymywania monokryształów o wysokiej doskonałości to warstwy tego rodzaju można otrzymywać w chwili obecnej. Do otrzymywania warstw krzemowych o małej liczbie dyslokacji mogą doprowadzić tylko badania nad wytworzeniem podłoża o odpowiedniej strukturze. Badania te mogą również doprowadzić do tańszych metod produkcji. Trzeba bowiem zdawać sobie sprawę z tego, że np. korundy /szafiry/ są wielokrotnie twardsze od krzemu i przygotowanie płytek za pomocą metod

stosowanych przy krzemie takich jak wyciąganie monokryształu, cięcie, szlifowanie i polerowanie mechaniczne, czy trawienie chemiczne jest w tym przypadku wielokrotnie dłuższe i droższe.

Próbowano osadzać warstwy monokrystaliczne na podłożach amorficznych, izolacyjnych. Proces taki teoretycznie i na skalę doświadczalną jest możliwy, aczkolwiek niezwykle trudny, rokuje jednak małe nadzieje na produkcyjne otrzymywanie warstw monokrystalicznych o wysokim stopniu doskonałości.

Na amorficznych warstwach izolacyjnych można otrzymywać warstwy krzemowe o niskim stopniu doskonałości strukturalnej. W tego typu procesach epitaksja ma znaczenie uboczne i nie determinuje struktury krystalicznej całej warstwy. Takie warstwy mogą być używane w charakterze podłoży, podtrzymujących mechanicznie przytwierdzony do nich układ [17]. Zadanie takie, mimo braku wymogów pod względem domieszkowania i monokrystaliczności struktury, nastręcza swoiste, określone trudności, gdyż warstwy tego rodzaju muszą spełniać szereg ważnych warunków: muszą mieć odpowiednie własności mechaniczne, być odpowiednio grube /około 0,15 mm/, nie wykazywać naprężeń, bardzo dobrze przylegać do podłoża, dobrze wypełniać wgłębienia na podłożu /zależy to także od stosunku głębokości do szerokości wgłębienia/, mieć współczynnik rozszerzalności termicznej taki jak krzem, być otrzymywane w warunkach termicznych zbliżonych do warunków otrzymywania warstw krzemowych i odpowiadać wymogom dalszych procesów technologicznych.

Wytwarzanie takich warstw trzeba przeprowadzać w aparaturze do otrzymywania warstw epitaksjalnych ze związków chemicznych krzemu. Ze względu na duże grubości takich warstw i dłuższe czasy procesu ma tutaj miejsce większe zużywanie się aparatury.

Istotny wpływ na dobór parametrów procesu ma również rodzaj substancji izolacji elektrycznej, na której osadza się warstwę polikrystaliczną. W temperaturze 1.100°C zaczyna się dość szybka reakcja chemiczna Si z SiO_2 z wytworzeniem lotnego SiO, co utrudnia jednorodne pokrywanie dwutlenku krzemem w pierwszej fazie procesu. Inne substancje, a zwłaszcza Si_3N_4, który jest bardziej odporny chemicznie w warunkach osadzania krzemu, wnoszą z kolei własne specyficzne trudności przy wytwarzaniu warstwy izolacyjnej.

W sumie otrzymywanie grubych warstw polikrystalicznych nie jest tak łatwe w produkcji jak by można sądzić na podstawie dużo mniejszych, w porównaniu z warstwami epitaksjalnymi, wymagań w stosunku do ich struktury krystalicznej.

Literatura

[1] R.C. SANGSTER, E.F. MAVERICK, M.L. CROUTH: Growth of Silicon Crystals by a Vapor Phase Pyrolitic Deposition Metod. J.E. Soc. 104, 317 /1957/.

[2] H.C. THEURER, J.J. KLEIMACK i in.: Epitaxial Diffused Transistors Proc. IRE 48, 1642 /1960/.

[3] H.C. THEURER: Epitaxial Silicon Films by the Hydrogen Reduction of $SiCl_4$. J.E. Soc. 108, 649 /1961/.

[4] J.M. CHANG, B.A. JOYCE: Epitaxial Growth of Silicon by Hydrogen Reduction of $SiHCl_3$ onto Silicon Substrates. J.E. Soc. 109, 957 /1962/.

[5] B.A. JOYCE, R.R. BRADLEY: Epitaxial Growth of Silicon from the Pyrolysis of Monosilane on Silicon Substrates. J.E. Soc. 110, 1235 /1963/.

[6] E. DEAL: Epitaxial Deposition of Silicon in a Hot-tube Furnace. J.E. Soc. 109, 514 /1962/.

[7] S. NAKANUMA: Silicon Variable Capacitance Diodes with High Voltage Sensitivity by Low Temperature Epitaxial Growth. IEEE Trans. ED-13, 578 /1966/.

[8] A.A. HEIMAN, P. ROBINSON: Silicon on Sapphire Epitaxial Bipolar Transistors. SSE 11, nr 4, 411 /1968/.

[9] T. KLEIN: Contour Deposition - in New Epitaxial Deposition Technique for Semiconductor Devices and Integrated Circuit. SSE 9, 959 /1966/.

[10] E.A. LANG, F.C. STARISK: Chemical Polishing of Silicon with Anhydrous Hydrogen Chloride. R.C.A. Rev. 24, 12, 488 /1963/.

[11] T.L. CHU, R.L. TALLMAN: Water Vapor as an Etchant for Silicon. J.E. Soc. 111, 1306 /1964/.

[12] F.G. ALLEN i in.: Cleaning of Silicon Surfaces by Heating in High Vacuum. J. Appl. Phys. 30, 1563 /1959/.

[13] S.R. BHOLA, A. MAYER: Epitaxial Deposition of Silicon by Thermal Decomposition of Silane. R.C.A. Rev. 24, 511 /1963/.

[14] J.W. LATHROP: Semiconductor-network Technology. Proc. IRE 12, 1430 /1964/.

[15] D.M. JACKSON: Advanced Epitaxial Processes for Monolithic Integrated-circuit Applications. Trans. Metall. Soc. AIME 233, 596 /1965/.

[16] H. WIDMER: High Vacuum Deposition of Silicon Epitaxial Layers. Appl. Phys. Letters 5, 108 /1964/.

[17] M.W. AARONS: Integrated Circuit Device and Fabrication Technology. SP a. SST 3, 42 /1965/.

[18] H.M. MANASEWIT, W.T. SIMPSON: Single Crystal Silicon on a Sapphire Substrate. J. Appl. Phys. 35, 1349 /1964/.

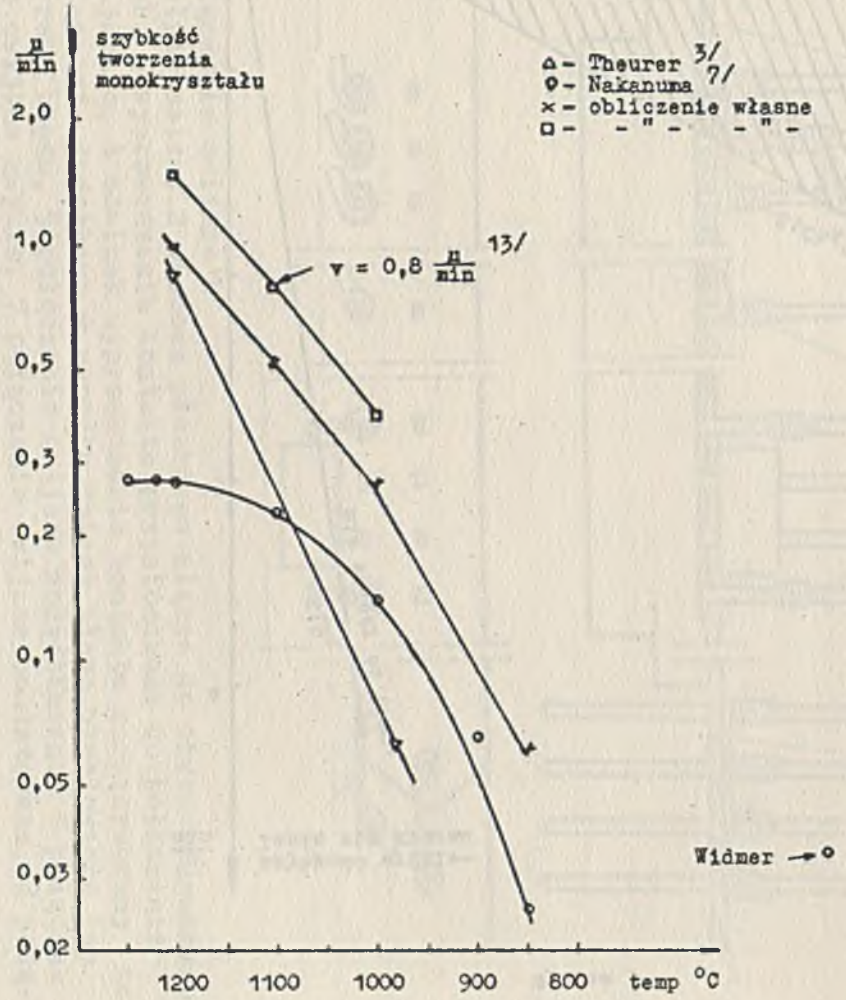
[19] C.W. MUELLER, P.H. ROBINSON: Grown-film Silicon Transistors on Sapphire. Proc. IRE 52, 1487 /1964/.

[20] SALAMA, YOUNG: Evaporated Silicon Thin-film Transistors. SSE 10, 473 /1967/.

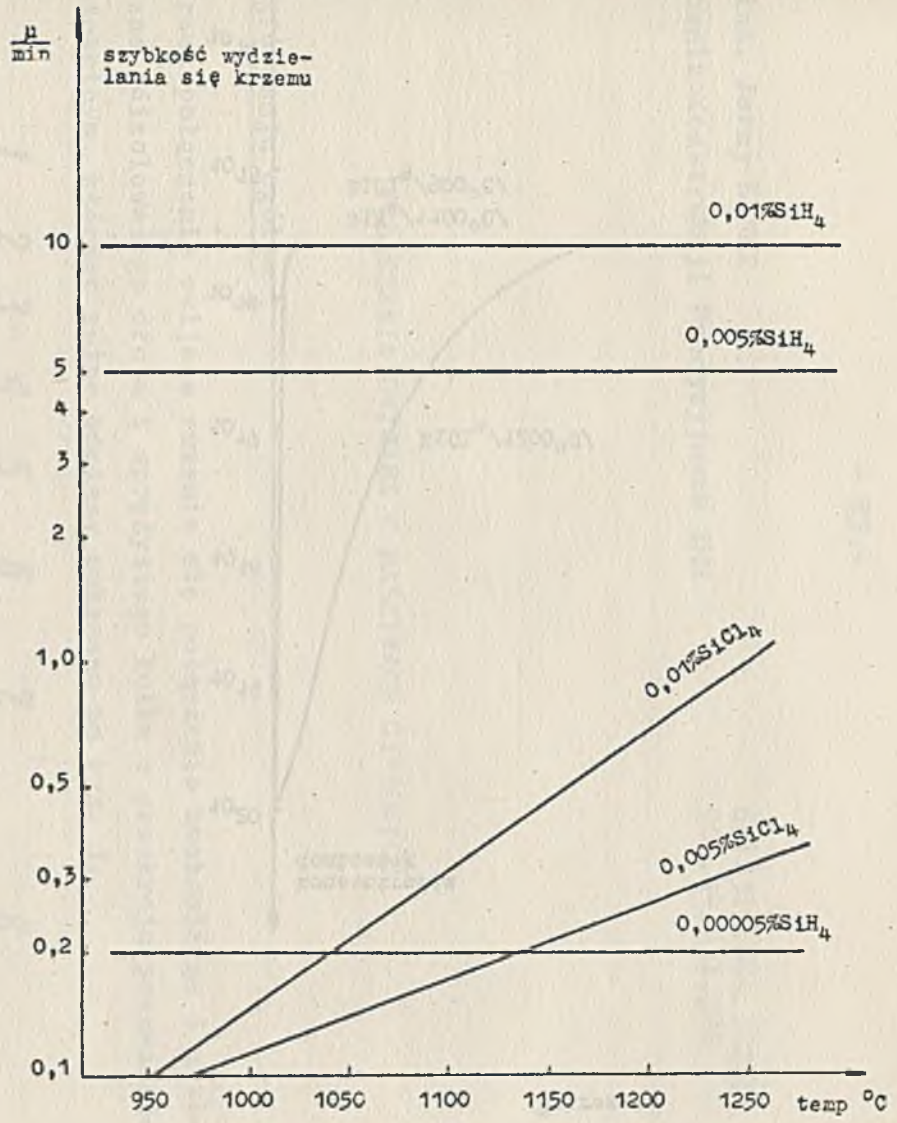
[21] J. EIMBINDER: The Field-effect Transistor: a "Curiosity" Comes of Age. Electronics 30, 46 /1964/.

[22] Fundamentals of Silicon Integrated Device Technology. Vol. I. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.

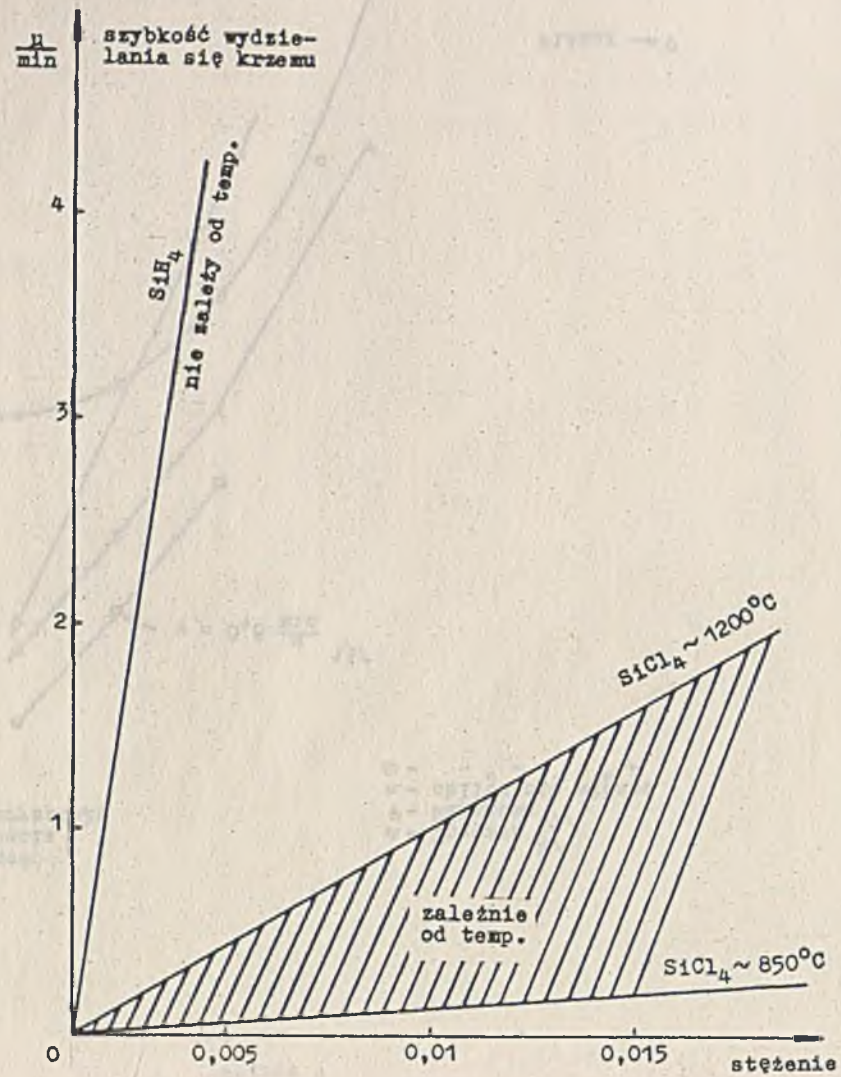
Wykres 1



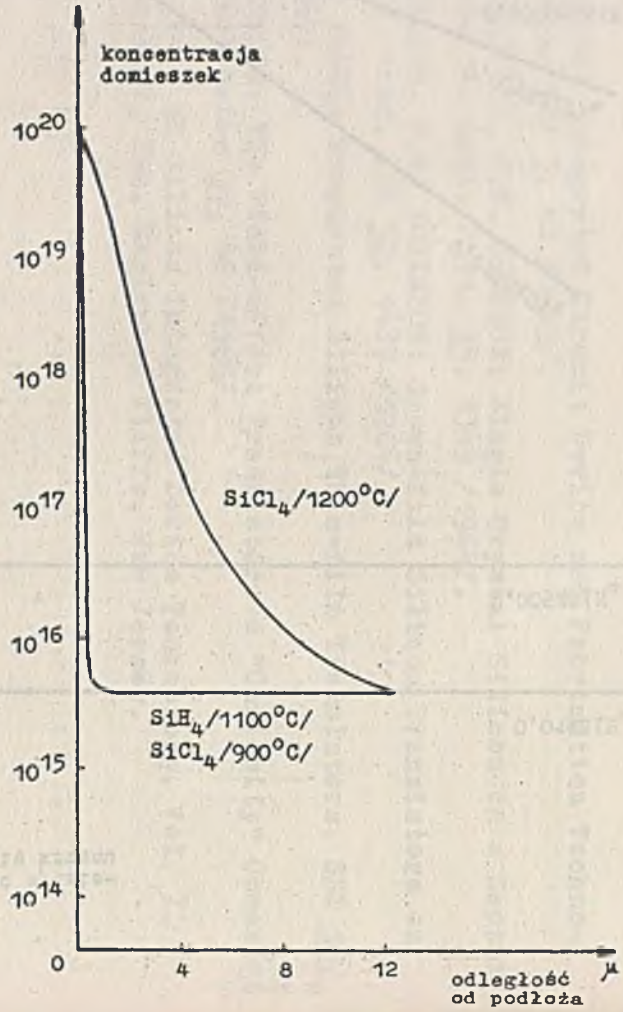
Wykres 2



Wykres 3



Wykres 4



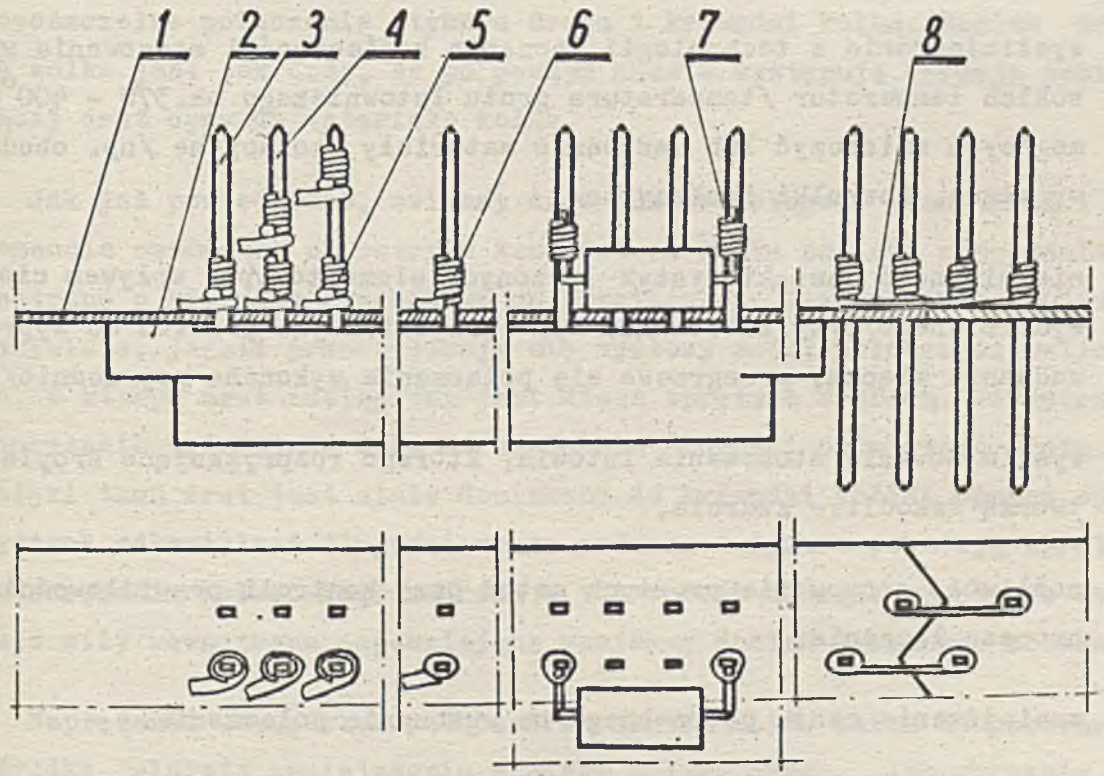
Mgr inż. Jerzy EKNER
Pracownia Konstrukcji Precyzyjnych IMM

621.315.684.002.52
004.14.681.322

POŁĄCZENIA OWIJANE W MASZYNACH CYFROWYCH

1. Informacje ogólne

Przez połączenie owijane rozumie się połączenie mechaniczne i elektryczne odizolowanego drutu i sprężystego kołka o przekroju przeważnie prostokątnym, którego różne odmiany pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Połączenia owijane
1 płyta-matka, 2 obudowa płaskiego złącza do obwodów drukowanych, 3 wyprowadzenie kontaktu przystosowane do połączenia owijanego, 4 odcinek wyprowadzenia kontaktu zarezerwowany na połączenie dodatkowe w wypadku zmiany planu okablowania lub naprawy błędu, 5 połączenie owijane modyfikowane, 6 połączenie owijane zwykłe, 7 połączenie owijane bandażowane, 8 połączenie owijane podwójne

Technologia połączeń owijanych została opracowana i po raz pierwszy opublikowana w 1953 roku przez Bell Telephones Company. W swej pierwotnej formie połączenia były opracowane w celu polepszenia jakości elektrycznego montażu urządzeń central telefonicznych. Od tego czasu zostały dokładnie opracowane i starannie przebadane.

Porównując połączenia owijane z lutowanymi, można stwierdzić, że połączenia owijane cechują następujące zalety:

- wysoka średnia statystyczna niezawodność tzn. jednakowa jakość połączeń wykonywanych sprawnym narzędziem /uniemożliwienie powstawania połączeń nieprzewodzących, tzw. zimnych połączeń lutowanych/,
- możliwość wykonywania połączeń przez pracowników o niższych kwalifikacjach niż w wypadku wykonywania połączeń lutowanych,
- wyeliminowanie z technologii łączenia konieczności stosowania wysokich temperatur /temperatura grotu lutowniczego ok.370 - 400°C/ mogących zniszczyć lub uszkodzić materiały izolacyjne /np. obudowy złącz, koszulki izolacyjne/,
- niezmienność charakterystyk łączonych elementów /pod wpływem ciepła wydzielanego przy lutowaniu, np. przylutowując przewód do wyprowadzenia złącza, przegrzewa się połączenie wykonane poprzednio/,
- wyeliminowanie stosowania lutowia, którego rozpryskujące krople tworzą szkodliwe zwarcia,
- możliwość stosowania prostych metod przy kontroli prawidłowości procesu łączenia,
- zmniejszenie czasu potrzebnego na wykonanie połączenia.

Wadą połączeń owijanych jest brak możliwości wykonania bezpośrednich połączeń owijanych między kołkiem i przewodem w postaci linki schematowej.

Z racji wymienionych cech i niższych kosztów, technologię owijania stosuje się przy wykonywaniu połączeń pomiędzy wyprowadzeniami kontak-

tów złącz EMC, czyli przy tzw. montażu na drugim poziomie. Należy jednak zaznaczyć, że w wypadku gdy koszty montażu są nieistotne, stosuje się nadal w EMC o zastosowaniach specjalnych połączenia lutowane.

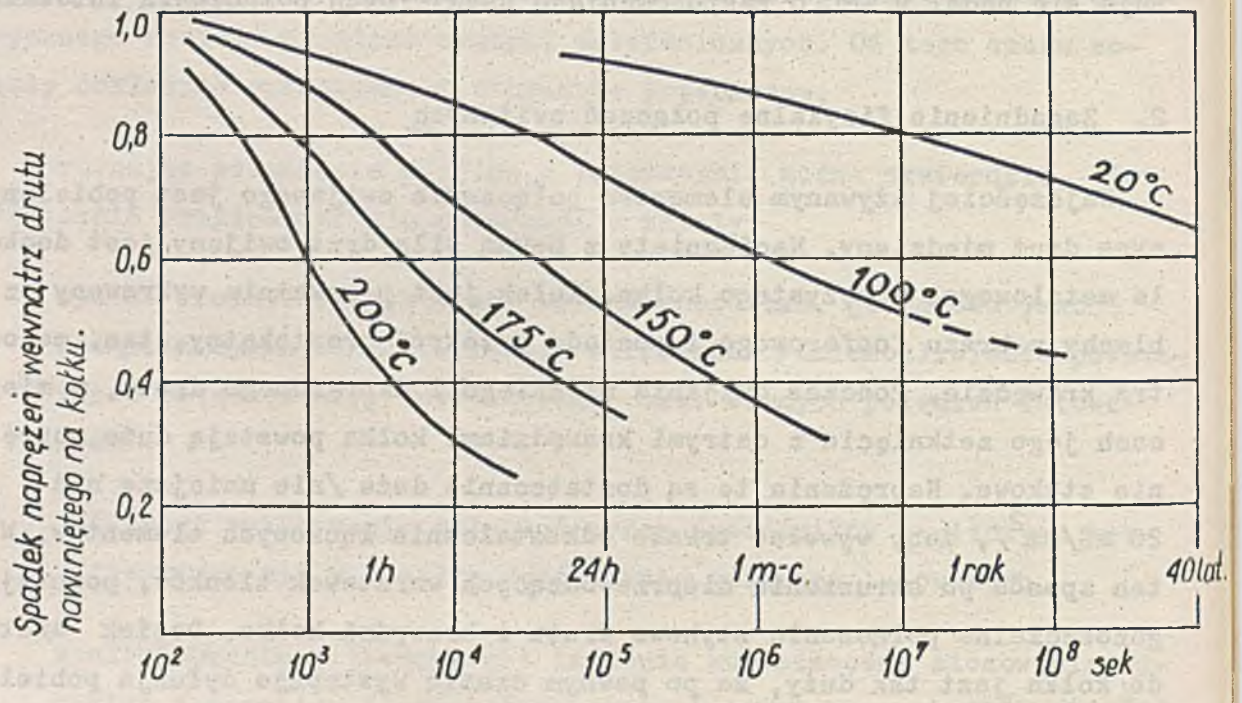
2. Zagadnienie fizykalne połączeń owijanych

Najczęściej używanym elementem połączenia owijanego jest pobielany cyną drut miedziany. Naciągnięty z pewną siłą drut owijany jest dookoła metalowego, sprężystego kołka. Kołek jest przeważnie wykrawany z blachy z brązu fosforowego i posiada przekrój prostokątny, tzn. ma ostre krawędzie. Podczas owijania miękkiego i naprężonego drutu, w miejscach jego zetknięcia z ostrymi krawędziami kołka powstają duże naprężenia stykowe. Naprężenia te są dostatecznie duże /nie mniejsze niż 20 kG/mm^2/, żeby wywołać trwałe odkształcenie łączonych elementów. W ten sposób po skruszeniu nieprzewodzących warstewek tlenków, powstają gazoszczelne połączenia stykowe drutu i krawędzi kołka. Docisk drutu do kołka jest tak duży, że po pewnym czasie występuje dyfuzja pobielającej drut cyny do materiału kołka.

Jak już powiedziano, owijany drut jest rozciągany pewną siłą i w momencie osadzenia na ostrych krawędziach kołka posiada naprężenie wewnętrzne o kierunku przeciwnym do rozciągania. Stwierdzenie to jest oczywiste, jeżeli przeanalizuje się myślowy model połączenia owijanego, w którym drut zastąpiony jest długą sprężyną śrubową. Wewnętrzne naprężenia ściskające dążą do skrócenia długości owiniętego drutu. Dzięki temu drut jest stale dociskany do krawędzi kołka. Oprócz sprężystych odkształceń długości drutu podczas owijania powstają sprężyste skręcenia kołka. Nagromadzona w ten sposób energia sprężysta wywołuje siły wewnętrzne zapewniające wzajemny docisk łączonych elementów.

Naprężenia wewnętrzne połączeń na skutek m.in. zmian temperatury ośrodka ulegają zmniejszeniu w miarę upływu czasu. Jak wykazały badania i dotychczasowe próby długotrwałe naprężenie wewnętrzne wywołujące docisk drutu do kołka, przy temperaturze otoczenia 20°C, ulegną zmniejszeniu o połowę po 40 latach - rys. 2 /ponieważ pierwsze połączenie owijane wykonano około 1953 roku, powyższe stwierdzenie można będzie poprzeć wynikiem doświadczenia dopiero około 1993 roku/. Przy

temperaturach wyższych, jakość połączenia będzie odpowiednio szybciej malała.



Rys. 2. Wykres zmniejszania się naprężeń wewnątrz drutu, owiniętego na kołku, w funkcji czasu przy zmiennym parametrze temperatury

Tak wolne zmniejszanie naprężeń tłumaczy się faktem, że 75% energii sprężystej połączenia nagromadzone jest w kołku, który ulega powolniejszej relaksacji niż cienki drut. Opisane zmniejszanie się naprężeń wywołujących docisk drutu do kołka nie powoduje znacznego pogorszenia przewodności połączenia, ponieważ w miarę upływu czasu następuje dyfuzja materiału drutu /dokładnie cyny pobielającej miedziany drut/ do materiału kołka. Powstałe w ten sposób jak gdyby miejscowe stopienie zapewnia dobre połączenie elektryczne.

Z powyższego opisu wynika, że technologia owijania nie może być stosowana w wypadku przewodów w postaci linki schematowej* . Stosuje się wówczas specjalne połączenia owijane tzw. bandażowane o konstrukcji po-

* Jest to jedna z przyczyn opracowania i rozwoju technologii zaciskania przewodów.

kazanej na rys. 1 pkt 7. Tego typu technologia może być stosowana przy wykonywaniu połączeń kołków z wyprowadzeniami kondensatorów, oporników, przewodów paskowych itp. Wyprowadzenie kondensatora lub końcówka przewodu wielożyłowego układana jest równolegle do osi kołka i następnie owijana drutem miedzianym cynowanym.

3. Konstrukcja połączenia. Wymiary i materiały używanych elementów

3.1. R o d z a j e p o ł ą c z e ń

Rozróżnia się połączenia owijane /zwykłe i modyfikowane/ /rys. 1 pkt 5,6./. W połączeniu owijanym zwykłym wszystkie zwoje wykonane są z drutu bez izolacji. W połączeniu modyfikowanym pierwszy nawijany zwój wykonany jest drutem w izolacji natomiast pozostałe zwoje wykonane są drutem odizolowanym. Takie rozwiązanie konstrukcyjne zwiększa czas trwałości połączenia w warunkach działających drgań* oraz zwiększa zabezpieczenie przed ewentualnymi zwarciami z płytą ekranującą złącza na II poziomie montażu** . W trakcie wykonywania połączenia drut bywa 5 ÷ 6 razy owijany dookoła kołka. W ten sposób krawędzie kołka trwale się odkształcają w 12 miejscach /przy połączeniach tzw. bandażowych/ lub liczba tych miejsc dochodzi do 20 przy połączeniach owijanych bezpośrednich drutu i kołka. Podczas odkształcania krawędzi kołka i odkształcania drutu powstają gazoszczelne zetknięcia. Dla 6 zwojów łączna powierzchnia zetknięć jest nie mniejsza od powierzchni przekroju owijanego drutu.

3.2. K o ł k i

W maszynach cyfrowych kołkami są najczęściej wyprowadzenia kontaktów złącz płaskich do obwodów drukowanych na płytkach. Produkowane obecnie

---

* Podczas prób poddawano takie połączenia wibracji o częstotliwości od 10 do 2000 Hz. Połączenie owijane zwykłe uległo zniszczeniu po 12,5 godzinach, a połączenie modyfikowane po 24 godz. Dla porównania: jednocześnie badane połączenie lutowane uległo zniszczeniu po 8 godzinach [1].

** Jest to szczególnie ważne w wypadku gdy kołki będące wyprowadzeniami kontaktów złącz wystają z dziurkowanej płyty stanowiącej ekran elektryczny. Przy połączeniach owijanych zwykłych istnieje możliwość zwarć między odizolowanymi zwojami drutu a płytą ekranującą.

złącza mają wyprowadzenia o przekroju prostokątnym. Rzadko spotyka się wyprowadzenia przeznaczone do owijania, które byłyby krępowane z blachy i miałyby kształt V lub U. Wymiary wyprowadzeń kontaktów w złączach wymienionych w [8] [10] [14] zostały zebrane w tablicy 1.

Tablica 1. Zestawienie wymiarów wyprowadzeń kontaktów złącz i zalecanych średnic drutów

Typ złącza /podziałka kontaktów/ [mm]	Wymiary przekroju wyprowadzenia [mm]	Wymiary przekątnej przekroju wyprowadzenia określające średnicę otworu głowicy nawijarki [mm]		Wysokość wyprowadzenia ponad płaszczyzną obrysu [mm]	Zalecane wymiary średnic drutów do owijania [mm]
		min.	max		
UECL 5,08	1,08 x 1,08	1,53		24,6	0,50 lub 0,61
UECL 2,54	0,76 x 0,38	0,91		11,4	0,27÷0,31
SOCAPEX 1,27	0,6 x 0,6	0,787	0,864	12,8	0,25 0,30 0,40
SOCAPEX 2,54	1,6 x 0,7	1,397	1,778	13,15	0,50 0,65 0,80 1,00
SOCAPEX 3,81	0,71 x 0,56	0,787	0,864	17	0,25 0,30 0,40
PHILIPS 2,54	0,6 x 0,53	0,80		12	-
ELWRO 3,75	1 x 1	1,41		12,5	-

Z danych zawartych w tablicy widać, że w zasadzie istnieją dwie grupy kołków sklasyfikowanych według wymiarów: kołki grube, o boku pola przekroju rzędu 1 mm z krawędziami zaokrąglonymi promieniem r = 0,075 mm, spotykane są w złączach o podziałce nie mniejszej niż 2,54* oraz kołki o wymiarach pola przekroju rzędu 0,6 mm x 0,6 mm z krawędziami zaokrąglonymi promieniem r = 0,05 mm, które pozwalają na wykonywanie tzw. mini-połączeń owijanych**. Tego typu kołki z reguły stosowane są w złączach o podziałce mniejszej niż 2,54 mm, gdzie jest mało przestrzeni na wykonanie połączenia. Obecnie istnieje tendencja do konstruowania złącz o podziałkach większych /np. 3,81 mm/ z wyprowadzeniami kontaktów do mini-połączeń owijanych. W ten sposób zwiększa się przestrzeń przeznaczoną do upakowania przewodów.

Wysokość wyprowadzeń dobierana jest tak, żeby można było na jednym kołku wykonać co najwyżej 3 połączenia owijane. Przestrzeń, jaką zajmuje połączenie owijane, zależy od średnicy użytego drutu, a ta z kolei od wymiarów pola przekroju kołka. Istnieje więc zależność między wysokością kołka a jego wymiarami przekroju. W niektórych rozwiązaniach złącz kształt i wymiary kołków umożliwiają wlutowanie ich w płytę-matkę /na drugim poziomie montażu jest to płyta z nadrukiem połączeń pomiędzy wyprowadzeniami złącz/. Ponadto, na kołkach wystających z otworów płyty-matki można jeszcze wykonać 3 połączenia owijane. Doświadczenia produkcyjne wskazują, że plan połączeń na drugim poziomie montażu powinien być projektowany z uwzględnieniem takiej zasady, że na kołku można wykonać dwa połączenia owijane. Pozostałe miejsce na kołku jest rezerwowane na wykonanie połączenia dodatkowego np.: połączenia wynikającego z poprawek planu okablowania. Wykonywanie więcej niż 3 połączeń na jednym wyprowadzeniu byłoby niepraktyczne.

---

* W przypadku kołków wykrawanych zadziory nie mogą przekraczać 0,04 mm.

** W przypadku kołków wykrawanych zadziory nie mogą przekraczać 0,02 mm.

Dostęp do połączeń wykonanych u podstawy kołka, w wypadku konieczności naprawy, jest z reguły bardzo trudny. Dlatego po stwierdzeniu błędnego poprowadzenia przewodu między dwoma kołkami, odcina się drut od kołków i pozostawia go w pęku. Prawidłowe połączenie wykonuje się nowym przewodem, wykorzystując rezerwowe miejsce na kołkach.

Materiał kołka powinien spełniać takie wymagania jak np.:

- dostateczna wytrzymałość na skręcanie podczas wykonywania połączenia /tzn. duży moduł sprężystości postaciowej przy ustalonym biegunowym momencie bezwładności/,

- łatwość ulegania trwałym odkształceniom przy dużych naprężeniach stykowych powstających podczas owijania drutu na kołku /dzięki odkształceniom powstają gazoszczelne zetknięcia/.

Najczęściej stosowanymi materiałami na kołki-wyprowadzenia złącz są: brąz fosforowy, brąz berylowy, mosiądz sprężysty o twardości H_{RC} = 80 ÷ 100/. Wyprowadzenia kontaktów mogą być wykonywane z tych samych materiałów co kontakty złącz lub z innych /jak np. w niektórych złączach wymienionych w pracy [12]/. Ponadto kołki mogą być wykonywane z monelu /stop o następujących głównych składnikach: 67% Ni, 30% Cu, 1,5% Mn, 1,5% Fe/ oraz stopów na osnowie Ni i Ag. Wyprowadzenia kontaktów są najczęściej srebrzone i następnie złocone /0,009 ÷ 0,012 mm podłoża Ag i następnie 0,003 ÷ 0,006 mm Au/ lub niklowane i srebrzone /0,001 ÷ 0,003 mm podłoże Ni i następnie 0,006 ÷ 0,009 mm Ag/. Spotyka się również cynowane wyprowadzenia kontaktów.

3.3. D r u t y

W połączeniach owijanych stosuje się druty o średnicach od około 0,08 mm do 1,5 mm. Dla połączeń tych stosuje się najczęściej druty o średnicach 0,5 mm /średnica drutu w izolacji nie większa niż 1,2 mm/. Połączenia mini owijane wykonywane są przeważnie drutem 0,25 mm /średnica drutu w izolacji nie większa niż 0,6 mm/.

Druty o średnicy mniejszej niż 0,08 mm pękają po pewnym czasie pod wpływem naprężeń wewnętrznych wywołanych pełzaniem materiału. Druty o

średnicy większej niż 1,5 mm posiadają zbyt dużą sztywność na zginanie, co bardzo utrudnia wykonanie poprawnego połączenia. Wybór właściwej średnicy drutu zależy od wymiarów wyprowadzeń kontaktów złącz - kołków. Przyjmuje się, że średnica drutu wynosi ok. $\frac{1}{3} \div \frac{2}{3}$ największego wymiaru pola przekroju kołka. Np. dla kołka o przekroju ok. 0,8 x 0,4 mm używa się drutu o średnicy 0,25 mm /jest to tzw. mini-połączenie owijane/. Jeśli drut miałby średnicę większą niż grubość kołka, może nastąpić uszkodzenie kołka podczas owijania.

Do połączeń owijanych stosuje się druty z następujących materiałów: miedź i jej stopy /mosiądze/, stopy niklu /m.in. nowe srebro/. Druty miedziane są pobielane warstwą cyny o grubości do 0,04 mm. W wypadku pracy połączenia w podwyższonych temperaturach, stosuje się drut posrebrzany a nawet pozłacany* . Druty posrebrzane używane są w programowo sterowanych urządzeniach opisanych w pkt 5. Najmniejsze wydłużenie dla drutów o średnicach 0,2 ÷ 0,5 mm powinno wynosić 15%. Dla większych średnic 20%. Najczęściej używa się drutów w izolacji z PCV lub teflonu. W przypadku połączeń owijanych modyfikowanych, grubość izolacji jest ściśle ograniczona.

4. Narzędzia i przyrządy do owijania

Stanowisko do wykonywania połączeń owijanych powinno być wyposażone w następujący zestaw narzędzi i przyrządów:

- nawijarka z wymiennymi głowicami do wykonywania pojedynczych połączeń owijanych /zwykłych i modyfikowanych/ oraz połączeń owijanych podwójnych /rys. 3/,
- zasilacz z przekaźnikiem czasowym,
- rozwijarka służąca do odwinięcia błędnego połączenia /rys. 6/,

* Impedancja połączenia utworzonego przez 6 zwojów drutu, miedzianego pobielanego cyną, owiniętego dookoła kołka z brązu fosforowego pozłacanego, wynosi 0,001 ÷ 0,003 omów przy częstotliwości prądu nie większej niż 60 MHz.

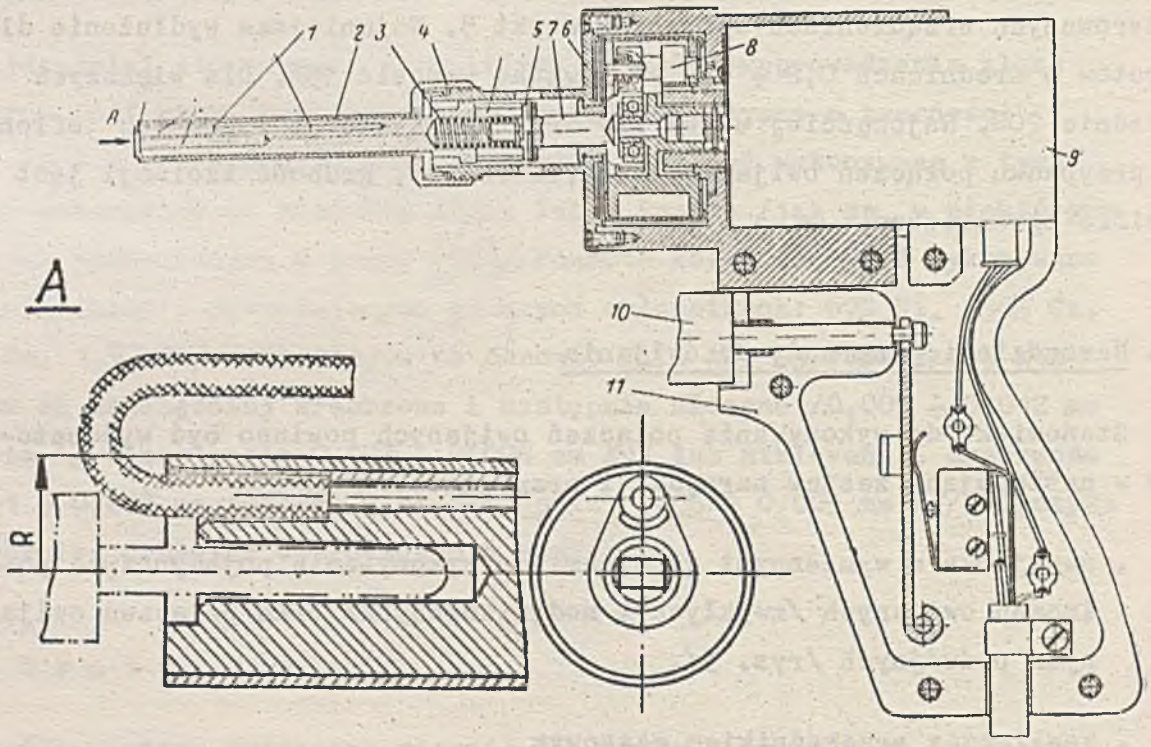
. szczypce boczne z dodatkowym wzorcem długości odcinanego drutu, który pomocny jest również przy układaniu przewodów pomiędzy kołkami wyprowadzeń kontaktów złącz /rys. 7/,

. narzędzie do zdejmowania izolacji z przewodu /rys. 8/,

. statyw do podtrzymania płyty ze złączami, pomiędzy którymi wykonuje się okablowanie /rys. 9/.

4.1. N a w i j a r k a

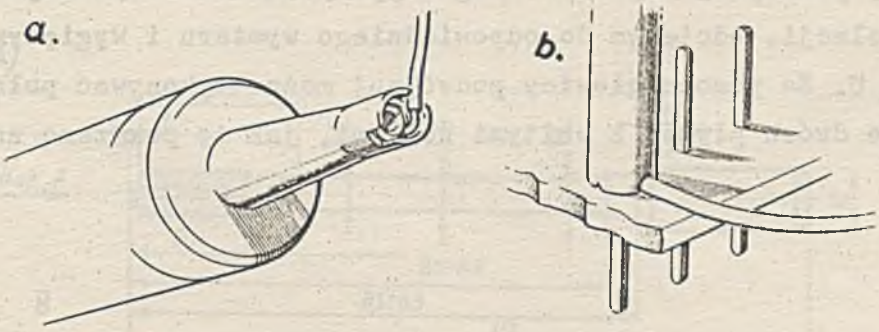
Założeniem technologii owijania jest wykonywanie połączeń przez pracowników o niskich kwalifikacjach posługujących się odpowiednimi narzędziami. Jakość połączeń owijanych powinna w głównej mierze zależeć od konstrukcji narzędzi.



Rys. 3. Nawijarka

1 wałek obrotowy z otworem o stopniowanej średnicy, 2 nieruchoma tuleja, 3 sprężyna odpychająca wałek 1 od wałka napędowego, 4 nakrętka, 5 kołek sprzęgła przesuwnego między wałkiem 1 a wałkiem napędowym, 6 osłona reduktora, 7 wałek napędowy, 8 koło pośrednie przekładni zmniejszającej prędkość kątową wałka napędowego, 9 mikro-silnik elektryczny, 10 przycisk włącznika, 11 uchwyt nawijarki.

Podstawowym elementem nawijarki jest głowica przedstawiona na rys. 3 i 4. W najprostszej postaci głowica jest prętem z otworem wzdłuż osi, przeznaczonym dla wsunięcia kołka. Równolegle do osi obrotu głowicy, wykonany jest drugi otwór o stopniowanej średnicy dla wsunięcia odizolowanego końca owijanego drutu. Jak z rysunku wynika, wymiary kołka określają wymiar R głowicy. Z kolei promień R określa wielkość niezapełnionej przestrzeni dookoła kołka* .



Rys. 4. a. Pojedyncza głowica nawijarki
b. Położenie głowicy podczas pracy

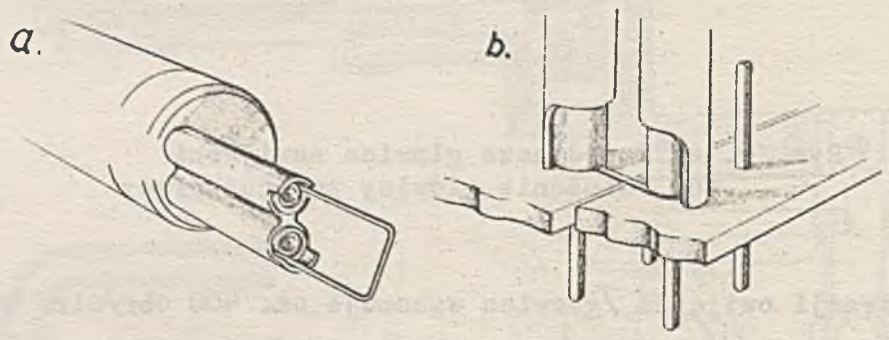
Podczas operacji owijania /głowica wykonuje ok. 400 obr/min/ zwoje drutu muszą być do siebie dociskane. W celu uzyskania określonej siły docisku, głowica 1 jest zamocowana przesuwnie /w pewnym zakresie/ względem obudowy narzędzia. Pomiędzy głowicą a obudową narzędzia znajduje się śrubowa sprężyna 3. Dzięki takiemu rozwiązaniu nacisk ręki pracownika przenosi się poprzez sprężynę na owijany zwój drutu, co zapewnia zmienność siły w określonym przedziale. Ruch obrotowy głowicy jest spowodowany przez mikrosilnik elektryczny /ew. turbinkę powietrzną/ 9 działający poprzez przekładnię kół zębatych. Nacisk palca pracownika na przycisk 10 powoduje zamknięcie obwodu mikrosilnik - zasilacz.

* Mini-połączenia owijane wymagają mniejszej przestrzeni niezapełnionej dookoła kołka. Dzięki temu możliwa jest większa gęstość upakowania przewodów pomiędzy kołkami.

Trwałość obecnie stosowanych głowic określa się liczbą 80.000 wykonanych połączeń drutem miedziowym cynowanym. Drut srebrzony w mniejszym stopniu niszczy głowicę i dlatego można za pomocą jednej głowicy wykonać 150.000 połączeń.

4.1.1. NAWIJARKA Z GŁOWICĄ PODWÓJNĄ

Konieczność wykonywania połączeń pomiędzy dwoma kołkami oddalonymi od siebie o jeden moduł siatki podstawowej było przyczyną skonstruowania głowicy podwójnej /rys. 5/. Tego typu połączenia wykonuje się drutem bez izolacji, odciętym do odpowiedniego wymiaru i wygiętym w kształcie litery U. Za pomocą głowicy podwójnej można wykonywać połączenia mechaniczne dwóch płytek z wbitymi kołkami, jak to pokazano na rys. 1.



Rys. 5. a. Podwójna głowica nawijarki
b. Położenie głowicy podczas pracy

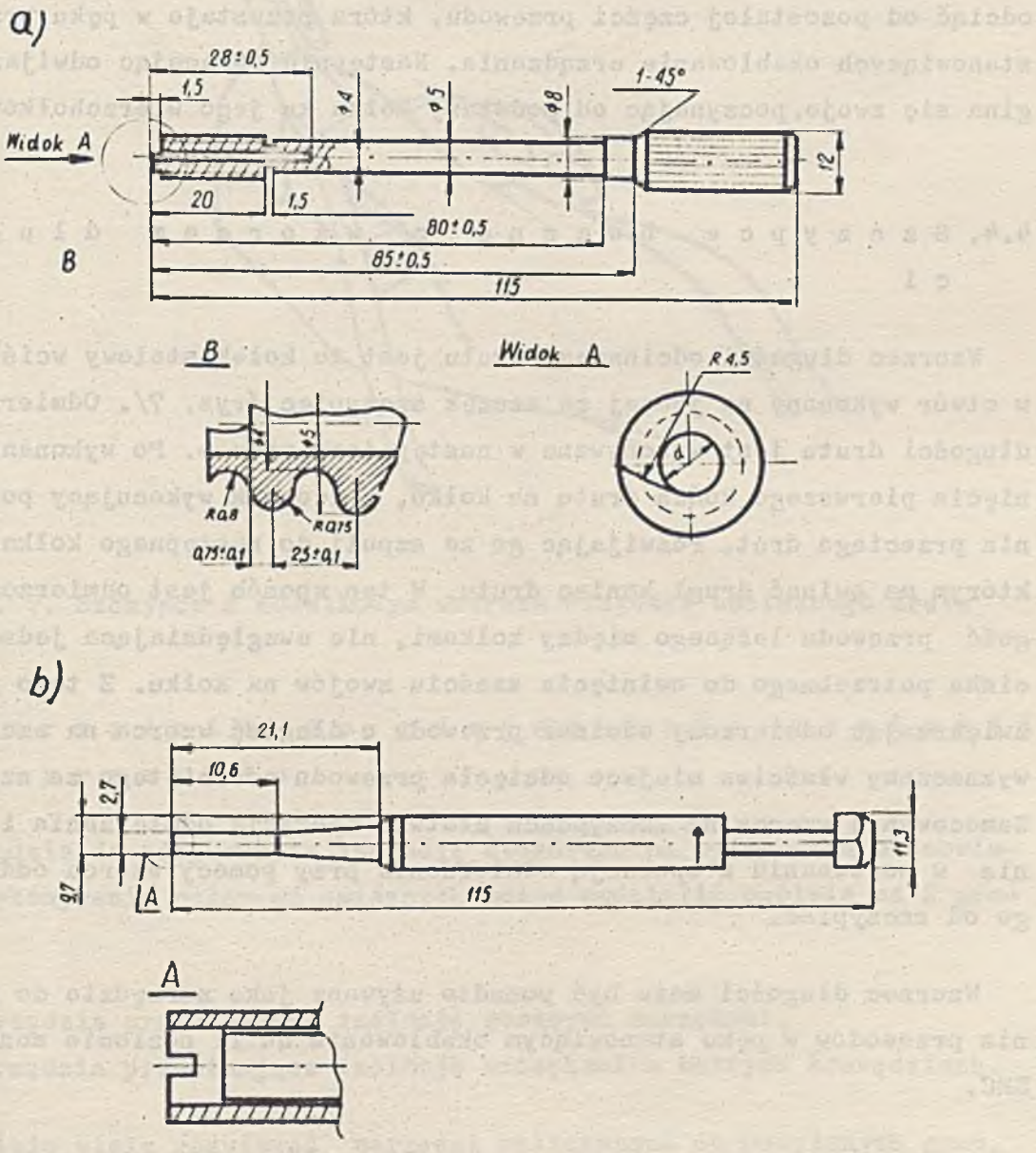
4.2. Z a s i l a c z

Mikrosilniki nawijarek są przeważnie zasilane prądem stałym o niskim napięciu. Energia elektryczna pobierana jest z sieci lub z baterii umieszczonej w uchwycie nawijarki. Dla usprawnienia operacji owijania, w zasilacze są wbudowywane proste układy elektroniczne, odmierzające czas potrzebny do wykonania przez mikrosilnik określonej liczby obrotów. Układ taki pozwala uruchomić mikrosilnik z chwilą naciśnięcia przy-

cisku włącznika 10 /rys. 3/ i przerywa zasilanie niezależnie od położenia przycisku 10. W ten sposób głowica po wykonaniu 4 lub 6 obrotów zatrzymuje się w tym samym położeniu. Ułatwia to wkładanie drutu w otwór głowicy przed wykonaniem następnego połączenia. Jest to szczególnie ważne przy głowicy podwójnej.

4.3. R o z w i j a r k a

Do usunięcia błędnych lub wadliwych połączeń służy rozwijarka. Na rys. 6 przedstawiono dwa rozwiązania konstrukcyjne tego narzędzia.



Rys. 6. a. Rozwijarka z gwintem okrągłym
b. Rozwijarka z głowicą obrotową

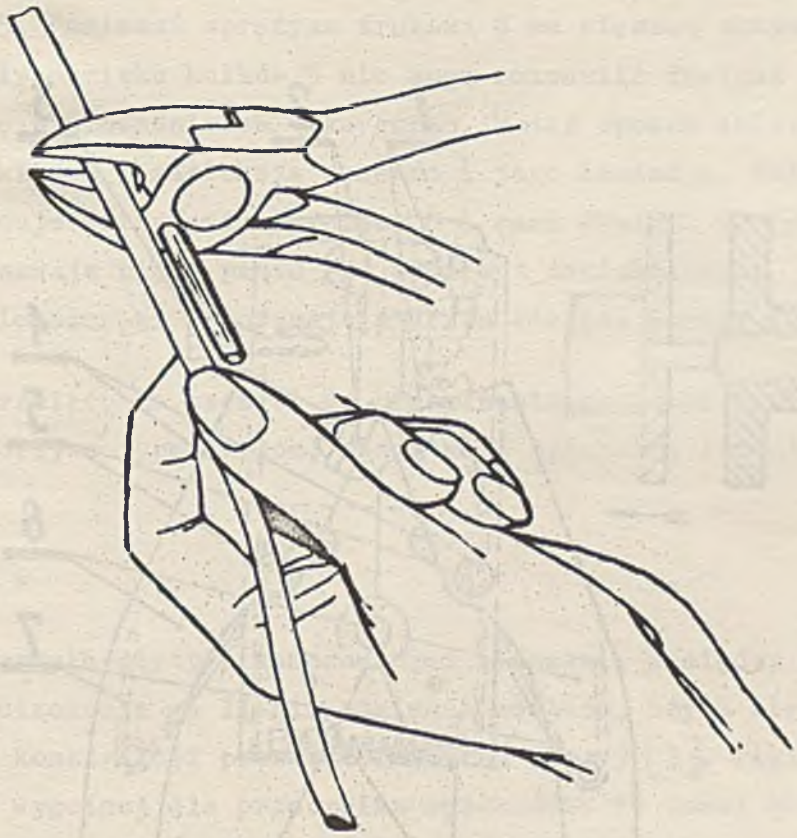
Pierwszy typ rozwijarki stanowi śruba z otworem wykonanym wzdłuż osi. Gwint na śrubie ma zarys okrągły. Operacja odwijania drutu polega na nasunięciu rozwijarki na kołek aż do zetknięcia jej powierzchni czołowej z pierwszym zwojem połączenia. Podczas obrotu rozwijarki względem kołka koniec drutu połączenia wślizguje się na powierzchnię gwintu rozwijarki. Po około 3 obrotach, 3 pierwsze zwoje są odgięte, a pozostałe rozluźnione, co pozwala na swobodne zsunięcie ich z kołka.

Drugi typ rozwijarki ma konstrukcję podobną do głowicy nawijarki. Przed rozpoczęciem odwijania odcinek drutu owinięty na kołku należy odciąć od pozostałej części przewodu, która pozostaje w pęku przewodów stanowiących okablowanie urządzenia. Następnie obracając odwijarkę odgina się zwoje, poczynając od podstawy kołka ku jego wierzchołkowi.

4.4. Szczypce boczne z wzorcem długości

Wzorzec długości odcinanego drutu jest to kołek stalowy wciśnięty w otwór wykonany na jednej ze szczęk szczypiec /rys. 7/. Odmierzanie długości drutu jest wykonywane w następujący sposób. Po wykonaniu owinięcia pierwszego końca drutu na kołku, pracownik wykonujący połączenia przeciąga drut, rozwijając go ze szpuli do następnego kołka, na którym ma owinąć drugi koniec drutu. W ten sposób jest odmierzona długość przewodu leżącego między kołkami, nie uwzględniająca jednak odcinka potrzebnego do owinięcia sześciu zwojów na kołku. Z tego powodu zwiększając odmierzony odcinek przewodu o długość wzorca na szczypcach, wyznaczamy właściwe miejsce odcięcia przewodu odwiniętego ze szpulki. Zamocowanie wzorca na szczypcach ułatwia operację odmierzania i odcinania w porównaniu z operacją odmierzania przy pomocy wzorca oddzielonego od szczypiec.

Wzorzec długości może być ponadto używany jako narzędzie do układania przewodów w pęku stanowiącym okablowanie na II poziomie montażu EMC.



Rys. 7. Szczypce z dodatkowym wzorcem długości obcinanego drutu

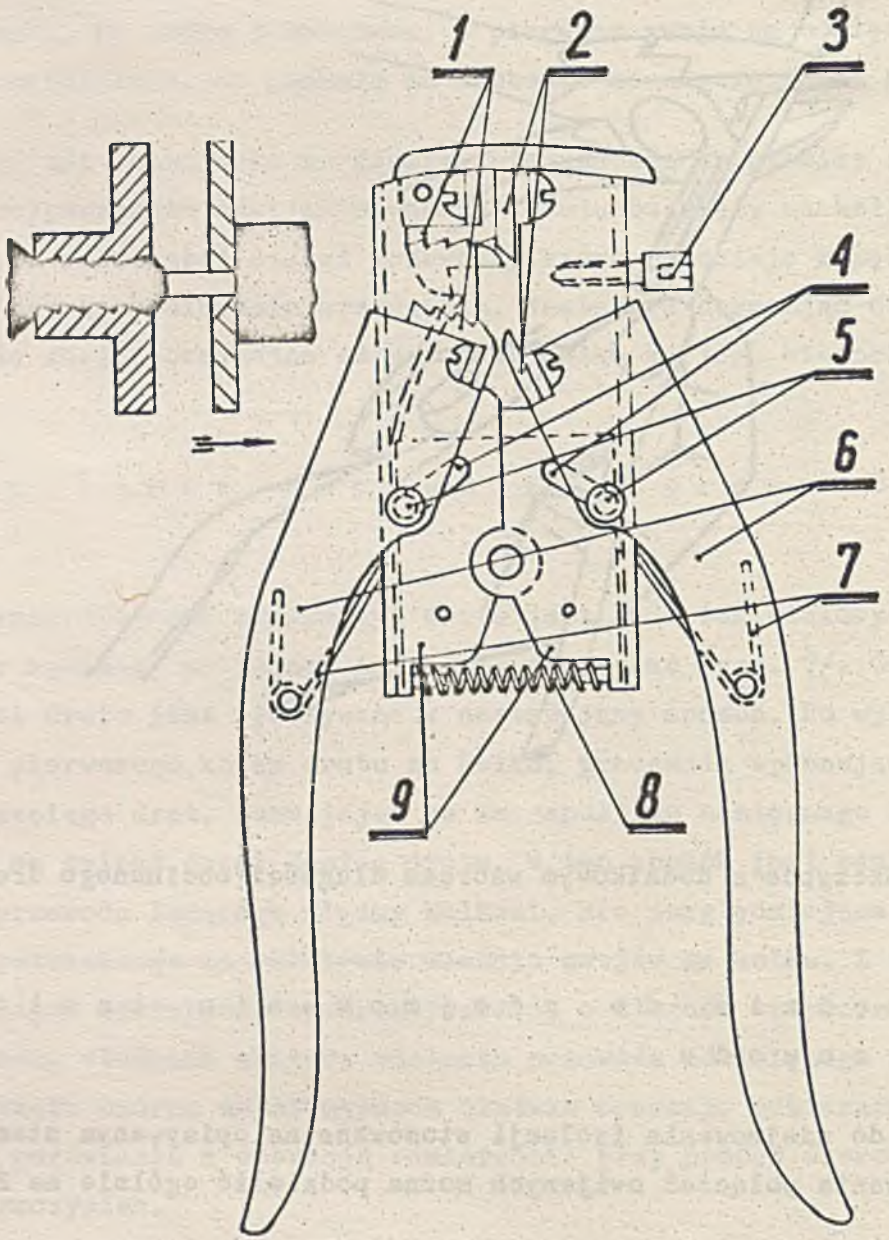
4.5. Narzędzie do zdejmowania izolacji z przewodu

Narzędzia do zdejmowania izolacji stosowane na opisywanym stanowisku do wykonywania połączeń owijanych można podzielić ogólnie na 2 grupy:

- narzędzia przecinające izolację gorącymi szczękami,
- narzędzia przecinające izolację szczękami o ostrych krawędziach.

Istnieje wiele rozwiązań narzędzi zaliczanych do powyższych grup. Operacja zdejmowania izolacji z końca przewodu składa się z dwu zabiegów: przecinania koszulki izolacyjnej i następnie jej ściągnięcia. Za-

biegi te można połączyć i wykonać jednym ruchem ręki za pomocą narzędzia przedstawionego na rys. 8. Przewód, z którego końca usuwana jest



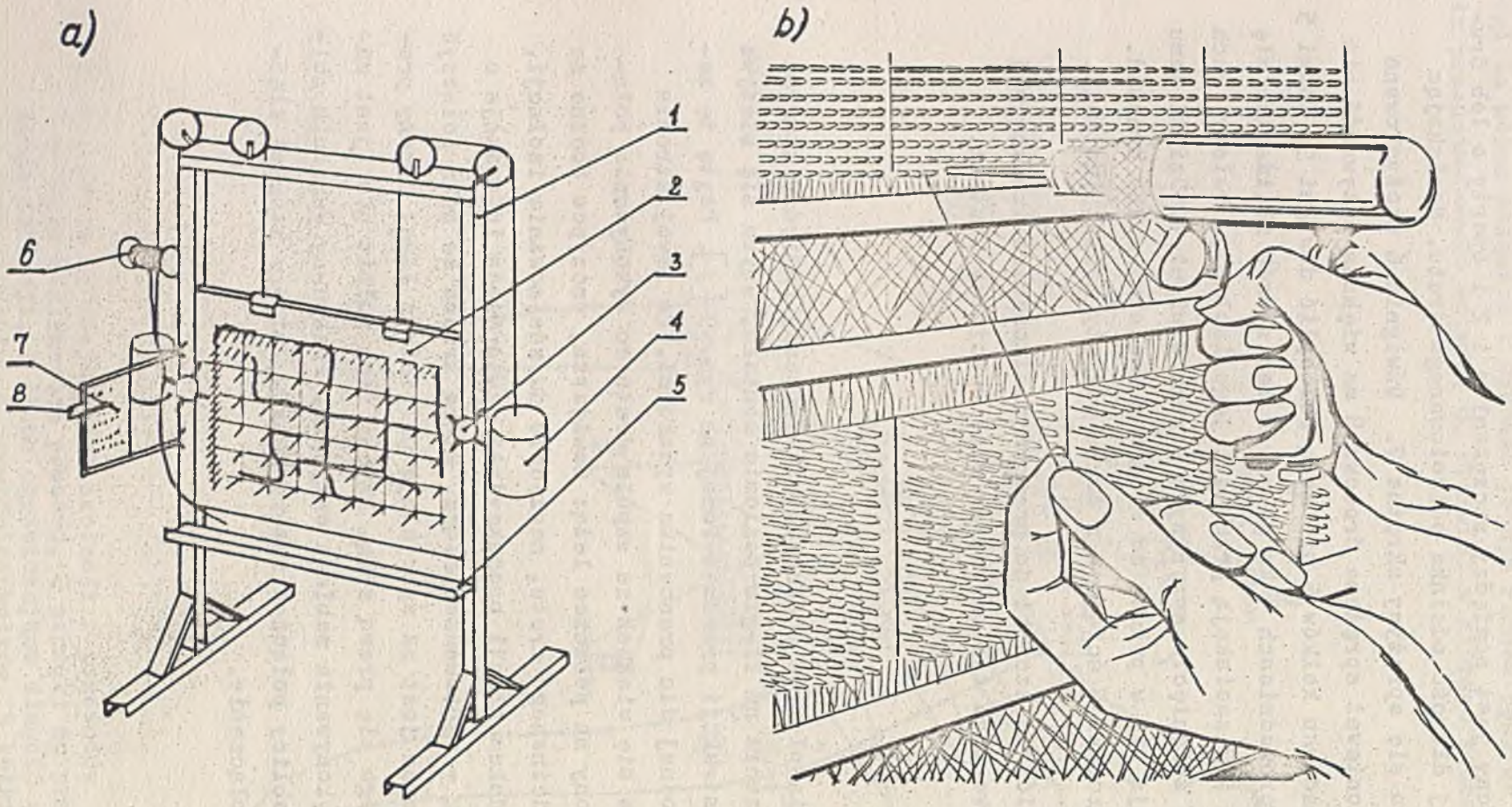
Rys. 8. Narzędzie do zdejmowania izolacji z przewodów
1 szczęki zaciskające przewód, 2 szczęki do przecinania i ściągania izolacji, 3 śruba ograniczająca długość wsuniętego pomiędzy szczęki drutu, 4 prowadnice kołków, 5 kołki, 6 dźwignie naciskane ręką, 7 sprężyny skrętne, 9 dźwignie poruszające szczęki

izolacja, umieszczony jest pomiędzy szczękami 1 i 2 i oparty o łeb śruby 3, wyznaczającej długość odcinka odizolowanego drutu. Naciskając dźwignie 6, napręża się sprężyny skrętne 7. Dźwignie 6 ułożyskowane są na kołkach 5. Ponieważ sprężyna śrubowa 8 ma większą sztywność niż sprężyna 6, siły nacisku kołków 5 nie mogą rozchylić dźwigni 9. Kołki 5 ześlizgują się w prowadnicach 4 ku górze. W ten sposób zbliżające się ku sobie szczęki 1 i 2 zaciskają przewód i jego izolację. Dalszy ruch dźwigni 6 powoduje ściśnięcie sprężyny 8 i ruch dźwigni 9. Dzięki temu szczęki 2 przesuwają się w prawo od szczęk 1 zaciskających przewód. Przesuwające się szczęki 2 ściągają z drutu odcięty koniec izolacji.

Należy podkreślić, że szczęki do przecinania koszulki izolacyjnej wykonanej z tworzywa typu teflon, muszą mieć specjalny kształt.

4.6. S t a t y w

Do podtrzymywania płyty z zamocowanymi złączami, pomiędzy którymi wykonuje się połączenia na II-gim poziomie montażu, używa się statywu o przykładowej konstrukcji przedstawionej na rys. 9 [3]. Płytę tę zawiesza się na wygodnej dla pracownika wysokości. Po lewej stronie pracownika znajduje się wieszak ze szpulą drutu do wykonywania połączeń. Z prawej strony na półeczce leżą: nawijarka, szczypce boczne ze wzorcem długości odcinanego drutu, narzędzie do zdejmowania izolacji, rozwijarka. Karta dokumentacji produkcyjnej zawierająca informacje o oznaczeniach kołków - wyprowadzeń złącz, które trzeba ze sobą połączyć przewodem, umieszczona jest na specjalnym pulpicie z lewej strony pracownika posługującego się prawą ręką. Dzięki temu pulpit nie jest zasłaniany podczas wykonywania zabiegu owijania. Przesuwny wskaźnik pulpitu zaznacza na tablicy połączeń numery kołków, między którymi właśnie wykonuje się połączenie.



Rys. 9a. Statyw
1 bramka podtrzymująca, 2 płyta ze złączami płaskimi, 3 zaciski ustalające płytę 2 na odpowiedniej wysokości bramki, 4 obciążniki równoważące ciężar płyty, 5 półka na narzędzia, 6 szpula z drutem, 7 pulpit dla zawieszenia dokumentacji technicznej, 8 wskaźnik

Rys. 9b. Ustawienie rąk i narzędzia przy wykonywaniu połączenia

5. Programowo sterowane urządzenia do wykonywania połączeń owijanych

W 1958 r. Gardner Denwer Company wprowadziła na rynek programowo sterowane urządzenia do wykonywania połączeń drutów, ułożonych pomiędzy wyprowadzeniami kontaktów złącz na II-gim poziomie montażu EMC. W tego typu urządzeniach płyta z zamocowanymi złączami umieszczona jest na stole wykonującym ruchy wzdłuż dwóch osi prostych prostopadłych. Stół, przesuwając się na skutek rozkazów zapisanych na kartach dziurkowanych lub taśmie dziurkowanej, ustawia wybrane 2 kołki pod głowice nawijarki. Po zdjęciu izolacji z końców drutu - głowice owijają go dookoła kołków, a stół zajmuje następne kolejne położenie, w którym dalsza para kołków znajdzie się pod głowicami nawijarki.

Za pomocą takiego urządzenia można wykonać około 1400 połączeń w ciągu 1 godziny tzn. ułożyć 700 drutów [13]. Według kalkulacji wykonanej przez zainteresowane zakłady przemysłu francuskiego, koszt jednego połączenia w tym wypadku kosztuje 0,17 Fr /przy założeniu amortyzacji kosztu urządzenia po przepracowaniu 14.800 godzin/. Dla porównania: koszt jednego połączenia wykonywanego przez nawijarkę ręczną wynosi 0,20 Fr /przy założeniu, że pracownik może wykonać 100 połączeń podczas godziny czyli ułożyć 50 drutów/.

Powyższa kalkulacja nie uwzględnia kosztów kontroli poprawności połączeń wykonanych ręcznie /tzn. zgodności wykonanych połączeń z dokumentacją - listą połączeń/. W wypadku urządzenia sterowanego programowo przeprowadza się tylko jednorazowo kontrolę poprawności zapisanych programów /np. na taśmie dziurkowanej/. Nie potrzebna jest kontrola opisana w pkt. 6.3, której koszt progresywnie wzrasta przy zwiększaniu gęstości upakowania /czasami koszt kontroli staje się równy kosztowi wykonania operacji owijania/.

6. Niezawodność i poprawność połączeń

Niezawodność połączenia, czyli jego praca zgodna z założeniami przez określony czas, przy oddziaływaniu takich czynników środowiska jak np. wilgotność, wstrząsy, udary itp., zależy od:

. właściwego doboru materiałów i wymiarów elementów połączenia,

. jakości i sprawności używanych narzędzi,

. rzetelności wykonawcy.

Poprawność połączeń, czyli zgodność wykonanych połączeń z dokumentacją, zależy od zorganizowania stanowiska do owijania i od wykonawcy.

6.1. Wymagania stawiane elementom połączenia

Elementy używane do wykonywania połączeń owijanych powinny spełniać następujące wymagania:

. mieć właściwe wymiary drutu i kołka /zwłaszcza zaokrąglenia krawędzi/ odpowiadające wymiarowi używanej głowicy nawijarki,

. określoną wytrzymałość doraźną drutu na rozerwanie i określone wydłużenie,

. gładką, nieuszkodzoną powierzchnię drutu podczas zdejmowania izolacji.

Wytrzymałość i wydłużenie drutu należy określać dla każdej pobranej z magazynu szpuli drutu. Pomiar wykonuje się pośrednio przez zmierzenie siły potrzebnej do rozerwania i ściągnięcia próbnego połączenia owijanego. Dokładniejszy opis próby ściągania podano w pkt. 6.3.

Niespełnienie chociażby jednego z powyższych wymagań bywa przyczyną zmniejszenia naprężeń stykowych między drutem i kołkiem. W konsekwencji prowadzi to do osłabienia połączenia.

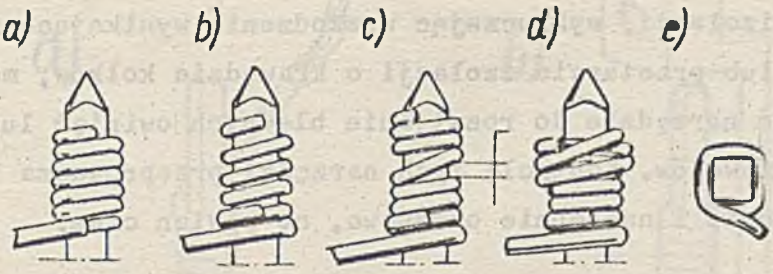
6.2. Jakość i sprawność używanych narzędzi

Złe narzędzia mogą być przyczyną powstawania następujących wad połączeń owijanych:

. uszkodzenia powierzchni drutu podczas zdejmowania izolacji,

. dużych przerw między zwojami drutu owiniętego na kołku /owinięcie wzdłuż linii śrubowej o dużym skoku/,

. nieregularnego ułożenia zwojów drutu w dwóch warstwach leżących na sobie /rys. 10/,



Rys. 10a. Połączenie owijane prawidłowe
b, c, d, e. Typowe wadliwe połączenia owijane

. zbyt małego wciśnięcia owijanego drutu na krawędzie kołka,
. złego owinięcia ostatniego zwoju,
. uszkodzenia izolacji sąsiednich przewodów.

Uszkodzenie powierzchni drutu podczas zdejmowania izolacji bywa spowodowane albo złym przyrządem, albo złym ustawieniem jego szczęk. Z tego powodu w każdym dniu roboczym przed rozpoczęciem pracy, należy kilkakrotnie za pomocą stale używanego narzędzia zdjąć izolację z przewodu i sprawdzić stan powierzchni gołego drutu. Oględzin powierzchni dokonuje się przez lupę.

Wielkość przerw między zwojami lub nakładanie się zwojów na siebie zależy od siły wywieranej przez sprężynę 3 w głowicy nawijarki /rys. 3/.

Wielkość odkształcenia drutu przy dociskaniu go do krawędzi kołka zależy od stosunku wymiarów drutu i elementów głowicy nawijarki oraz od momentu obrotowego wywoływanego przez głowicę i jej prędkości kątowej.

Przyczyną wadliwego owinięcia ostatniego zwoju może być zużycie głowicy przez wytarcie lub za mała liczba wykonanych obrotów tzn. zła praca zasilacza z przekaźnikiem czasowym.

Dla uniknięcia wyżej omówionych błędów przed rozpoczęciem pracy w każdym dniu należy wykonać 5 do 10 próbnych połączeń owijanych i sprawdzić ich jakość wedle wskazówek podanych w pkt. 6.3.

Uszkodzenia izolacji, wykluczając uszkodzenia wynikające z przypadkowych uderzeń lub przetarcia izolacji o krawędzie kołków, mogą być wywołane przez złe narzędzie do rozwijania błędnych owinięć lub narzędzie do układania przewodów. Kontrolę tych narzędzi przeprowadza się po raz pierwszy po zakupie i następnie okresowo, co pewien czas.

6.3. K o n t r o l a p r a c y w y k o n a w c y

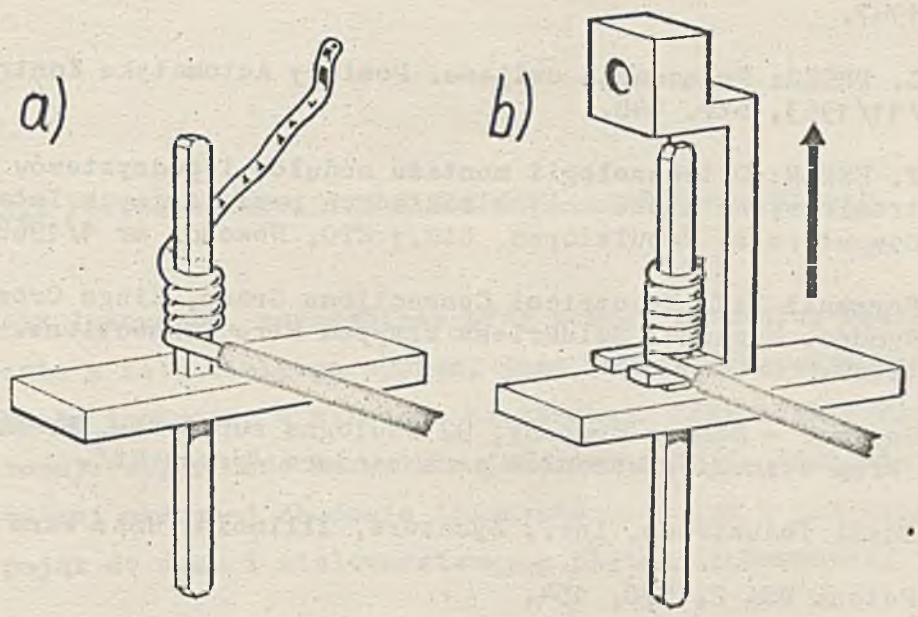
Pomimo starannego sprawdzenia materiałów i wymiarów elementów połączeńia, jak również jakości i sprawności narzędzi przed rozpoczęciem pracy, mogą powstać wadliwe połączenia spowodowane rozregulowaniem się narzędzi. Dla uniknięcia takich błędów, pracownik co 2 godziny wykonuje próbne połączenia na specjalnych do tego celu przygotowanych kołkach.

Próbne połączenia owijane poddawane są następującym badaniom:

- sprawdzenie wzrokowe ułożenia zwojów i sprawdzenie za pomocą lupy stanu jego powierzchni,
- odwinięcie drutu i jego oględziny,
- pomiar siły potrzebnej do ściągnięcia owiniętego na kołku drutu.

Błędy jakie mogą powstać przy układaniu zwojów /przerwy lub nakładanie zwojów na siebie/ omówiono w pkt. 6.2. Odwinięcia drutu dokonuje się za pomocą narzędzia. Podczas tej operacji drut nie może ulec pęknięciu. Głębokość karbów na powierzchni drutu nie może być większa od $\frac{1}{3}$ średnicy drutu. Jeżeli karb jest płytszy to połączenie owijane nie jest gazoszczelne. Jeżeli karby są głębsze to drut jest zbytnio osłabiony i podlega większym wydłużeniom przy owijaniu, co w konsekwencji przyspiesza zmniejszanie sił wewnętrznych drutu i siły docisku drutu do kołka.

Ściąganie drutu przeprowadza się za pomocą narzędzia przedstawionego na rys. 11. Pomiaru siły dokonuje się dynamometrem. Siła potrzebna



Rys. 11. a. Próba odwijania drutu z kołka
b. Próba ściągania połączenia

do ściągnięcia owiniętego na kołku drutu, przy mini-połączeniu owijanym, powinna wynosić nie mniej niż 20 N i nie więcej niż 80 N. Jeśli siła ściągania jest większa od 80 N oznacza to, że drut jest zbyt szczelnie owinięty na kołku. W tym wypadku karby są za głębokie, co jest przyczyną szybkiego zmniejszania się sił wewnętrznych w drucie.

Zgodność wykonanych połączeń z dokumentacją jest sprawdzana przez kontrolera. Dla lepszego zorganizowania pracy kontrolerowi, postarano się, żeby podczas pracy nie odrywał on wzroku od sprawdzanego obiektu dla zajrzenia do dokumentacji [3]. W tym celu listę połączeń nagrano na taśmę magnetofonową. Kontroler nakłada na uszy słuchawki i słucha podczas pracy odczytywania nagranej na taśmie listy połączeń. Dzięki temu może on skupić się na śledzeniu wzrokiem odpowiednich drutów obiektu.

Literatura

[1] V.M. DOLKART, G.Ch. NOVIK, V.N. STEPANOV, M.Ja. TANAEV, A.N. FEDOSEEV: Metod montaża nakrutkoj. Izdatelstvo "Energija", Moskva 1967.

[2] Z. DROZD: Połączenia owijane. Pomiary Automatyka Kontrola, nr 10/11/1963, str. 448.

[3] J. EKNER: O technologii montażu modułów i podsystemów mikroelektronicznych, stosowanej w zakładach produkcyjnych International Computers a. Tabulatores, Ltd.; ETO, Nowości nr 1/1968.

[4] Ferranti Ltd, Electrical Connections Group, Kings Cross Road, Dundee, England: Solderless Wrapped Wire Connections. Instructions.

[5] Gardner - Denwer Company, 92 Boulogne sur Seine, France: Wire Wrap connexion enroulée sans sondure /prospekt/.

[6] Ideal Industries, Inc., Sycamore, Illinois, USA: Wire Strippers

[7] Patent USA 2, 770, 154.

[8] Philips Electronic Components and Materials Division: Connectors, June 1968.

[9] PN-60/T-04550 - Elementy urządzeń elektronicznych. Metody badań odporności klimatycznej.

[10] Socapex, Suresnes, France: Catalogue 1968 r.

[11] Standard Pneumatic Motor Company, Whittier, Calif. USA: Wire Wrapping Tools for Solderless Wrapped Connections /Catalogue/.

[12] Ultra Electronics Components Ltd, Greenford, England: Catalogue 1968 r.

[13] Winchester Electronics, Division of Litton Industries, Oakville, Connecticut 06779, USA: Accur Frame Packaging.

[14] Wrocławskie Zakłady Elektroniczne, Wrocław, ul. Ostrowskiego Złącze LDB-2.

Mgr inż. Mirosław MIKA
Zakład Elektroniki Cyfrowej IMM

621.791.367:621.3.049.75

LUTOWANIE PŁYTEK DRUKOWANYCH Z MIKROUKŁADAMI TYPU "PAJĄK"

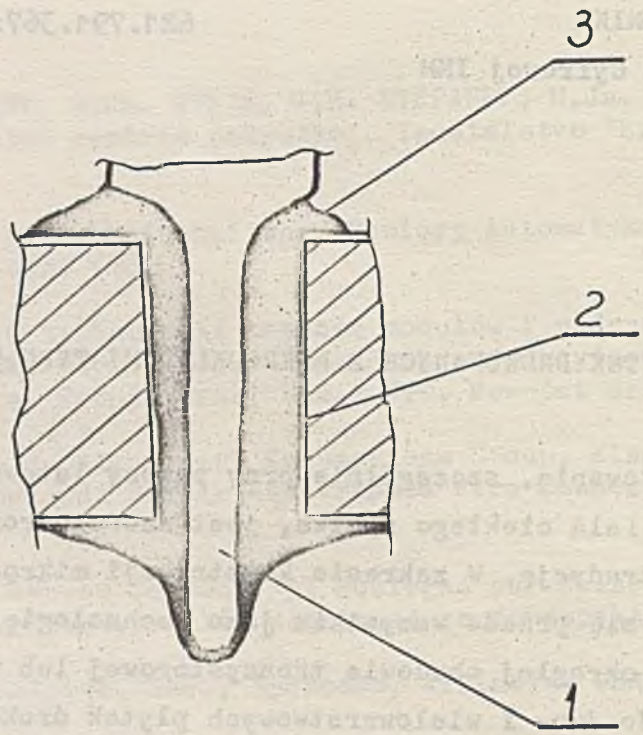
Technologia lutowania, szczególnie przy pomocy lutownicy ręcznej oraz urządzenia z łalą ciekłego spoiwa, jest szeroko rozpowszechniona i posiada bogatą tradycję. W zakresie konstrukcji mikroelektronicznych lutowanie stosuje się przede wszystkim jako technologię łączenia układów w tradycyjnej okrągłej obudowie tranzystorowej lub w płaskiej obudowie typu pająk do dwu- i wielowarstwowych płytek drukowanych.

Ze względu na to, że zarówno płytki drukowane jak i tego typu mikroukłady znajdują szerokie zastosowanie, wydaje się celowe szersze omówienie metod ich łączenia z uwzględnieniem ich specyfiki.

1. Lutowanie ręczne

Często w przypadku płytek drukowanych stosuje się lutowanie ręczne wyprowadzeń elementów elektronicznych i mikroelektronicznych /zwłaszcza w obudowie typu pająk/. Jest to szczególnie ważne podczas naprawy i wymiany elementów oraz zmiany konstrukcji układów elektronicznych itp.

Płytki drukowane są szczególnie czułe na temperaturę. Współczynnik rozszerzalności temperaturowej miedzi osadzonej na ściankach metalizowanych otworów jest kilkakrotnie mniejszy od współczynnika rozszerzalności temperaturowej laminatu szklano-epoksydowego /w kierunku jego grubości/. Płytka podgrzewana do wysokiej temperatury przy zbyt długim czasie lutowania może ulec uszkodzeniu na skutek tego, że plastyczne właściwości miedzi nie będą w stanie skompensować różnicy we współczynnikach rozszerzalności innych materiałów /rys. 1/.



Rys. 1. Połączenie lutowane:
1 - wyprowadzenie mikroukładu typu pająk,
2 - metalizowany otwór dwustronnej płytki drukowanej,
3 - spoiwo lutownicze

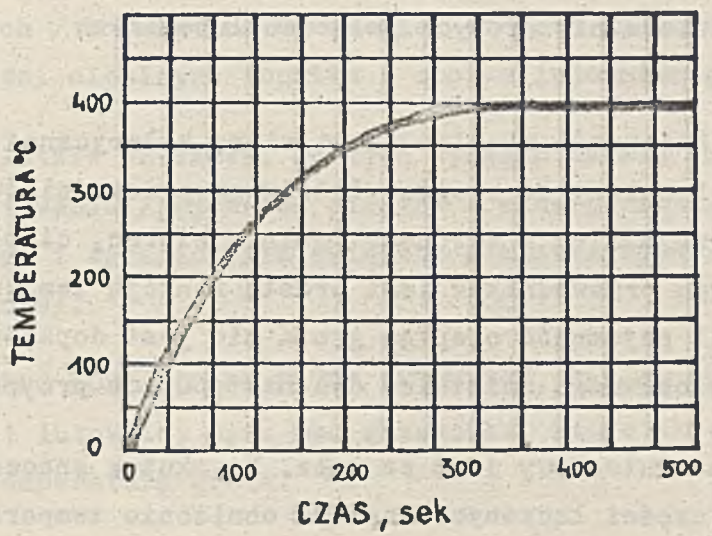
Czas w jakim powstaje połączenie lutowane ma istotne znaczenie dla samego połączenia. Długie nagrzewanie spoiwa w wysokiej temperaturze sprzyja absorbcji tlenu, wodoru, tlenku węgla i innych gazów oraz pary wodnej. Formują się wtedy wielkie ziarna o niemetalicznej kompozycji i matowej szorstkiej powierzchni spoiwa /"zimne" lutowanie/. Spoiwo szybko nagrzewane i szybko studzone /1 do 3 sek./ składa się z prawidłowych ziaren kolumnowych i posiada srebrzystą, błyszczącą powierzchnię, a połączenia mają dobrą przewodność elektryczną i odpowiednio dużą wytrzymałość mechaniczną [3].

Tak więc zarówno natura dwu- i wielowarstwowych płytek drukowanych jak i połączeń lutowanych wymaga przeprowadzenia dokładnej analizy charakterystyk cieplnych grota lutownicy. Od właściwej analizy może zależeć sukces lub niepowodzenie w wykonaniu operacji lutowania.

Zwyczajowo lutownice klasyfikuje się ze względu na moc ich grzejnika, ale jest to kryterium niewiele mówiące o własnościach lutowania.

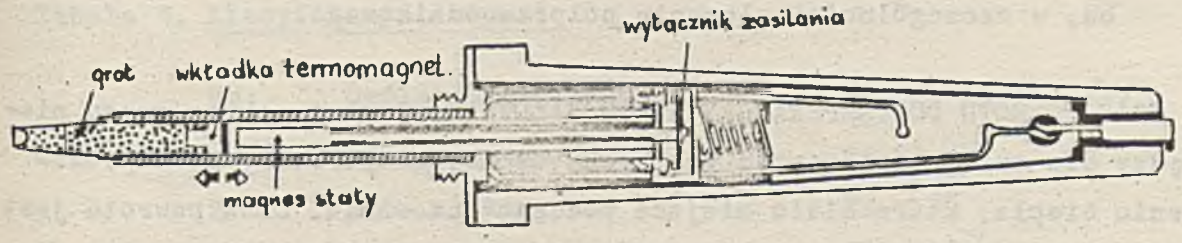
Należałoby raczej mówić o współczynniku sprawności, który się definiuje jako ilość energii /ciepła/, które aktualnie dociera od pracującego grota do obszaru połączenia lutowanego. Ponadto należy znać pojemność cieplną grota i czas powrotu lutownicy do stanu jałowego. Te trzy /i inne niżej dyskutowane/ parametry należy brać pod uwagę przy doborze odpowiedniego narzędzia.

MAKSYMALNA TEMPERATURA GROTA. Maksymalną temperaturę grota określa się w stanie równowagi tzn. dla punktu, w którym ciepło generowane w grzejniku i ciepło tracone do otoczenia są równe /rys. 2/.

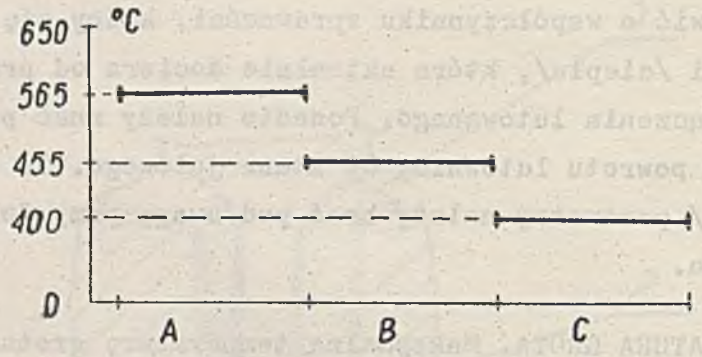


Rys. 2. Charakterystyka temperatury grota /po włączeniu zasilania/ miniaturowej lutownicy

Dobrze zaprojektowana lutownica powinna mieć stałą maksymalną temperaturę grota /rys. 3/. Maksymalne temperatury lutownic są związane z rodzajem pracy i wielkością połączeń lutowanych /rys. 4/.



Rys. 3. Konstrukcja miniaturowej lutownicy do lutowania płytek drukowanych z wkładką ferromagnetyczną ustalającą maksymalną temperaturę grota



Rys. 4. Zalecane temperatury lutownic:

A. do pracy ciągłej,
B. do pracy krótkotrwałej z przerwami na wykonanie innych zabiegów
C. do wykonywania miniaturowych połączeń lutowanych

POJEMNOŚĆ CIEPLNA. Pojemność cieplna jest miarą kalorycznej pojemności grota lutownicy i zależy od ciepła właściwego przewodników znajdujących się między grzejnikiem a wyrobem. Ogólnie biorąc, ciepło akumulowane w każdym z tych przewodników jest prostą funkcją temperatury i ich objętości. Jeżeli pojemność cieplna grota nie jest dopasowana do pojemności cieplnej wyrobu mogą zaistnieć dwa następujące przypadki:

1. pojemność cieplna lutownicy jest za mała. Na skutek znacznego odpływu ciepła do części łączonych nastąpi obniżenie temperatury grota i należy odczekać aż grot wróci do normalnej temperatury pracy. Jednocześnie długotrwałe nagrzewanie wpłynie na zwiększenie intensywności utleniania powierzchni cynowanych lub też spowoduje uszkodzenie płytki drukowanej;

2. pojemność cieplna lutownicy jest za duża. W tym wypadku zbyt dużo ciepła przechodzi do wyrobu i może spowodować uszkodzenie wyrobu, w szczególności elementu półprzewodnikowego.

CZAS POWROTU DO TEMPERATURY STANU JAŁOWEGO. Jest to okres czasu niezbędny dla osiągnięcia przez grot maksymalnej temperatury po odprowadzeniu ciepła, które miało miejsce podczas lutowania. Czas powrotu jest funkcją mocy grzejnika, pojemności cieplnej i obciążenia roboczego lutownicy. Parametr ten określa zdolność operacyjną narzędzia.

Aby utrzymać parametry lutownicy w odpowiednim zakresie, co jest niezbędne dla prawidłowego wykonania operacji lutowania, należy bezwzględnie stabilizować napięcia zasilania.

1.1. D o b ó r l u t o w n i c y

Liczba zmiennych związana z doborem lutownicy jest bardzo duża. Należy rozpatrzyć trzy grupy parametrów:

KALORYCZNE WYMAGANIA WYROBU. Ilość energii cieplnej niezbędna do lutowania zależy od szczególnych własności części łączonych /przewodność cieplna, pojemność cieplna/, ich konfiguracji /masa, kształt/ warunków ogólnych /temperatura otoczenia, stopień utleniania powierzchni/ oraz własności cieplnych topnika i spoiwa lutowniczego.

WYMAGANIA UŻYTKOWE. Do tych wymagań należy szybkość wykonania operacji lutowania /pojemność cieplna i czas powrotu/, oraz umiejętności operującego i ograniczenia związane z konstrukcją /temperatura i czas nagrzewania/.

CIEPŁO DOSTARCZANE PRZEZ LUTOWNICĘ. Należy tu uwzględnić wielkość i kształt lutownicy oraz moc grzejnika, które określają pojemność cieplną i temperaturę grota.

W praktyce, indywidualne doświadczenie może okazać się pomocne przy dobieraniu właściwego narzędzia do wyrobu. Zazwyczaj sugeruje się, aby najpierw użyć lutownice o najniższej mocy /tab. 1/, a gdy ta okaże się niewystarczająca, wypróbować inną większą. Należy wybierać lutownice mniejsze, krótsze i lżejsze, ale o pojemności cieplnej zdolnej do wykonania połączenia.

Tabela 1. Klasyfikacja lutownic

Nr	Ogólna klasyfikacja	Moc grzejnika /W/
1	Miniaturowe	do 25
2	Małe elektryczne	25 - 35
3	Średnie elektryczne	35 - 45
4	Duże elektryczne	45 - 60

Dobór lutownicy przeprowadzony w oderwaniu od równorzędnej selekcji grota jest niewłaściwy. Niżej podane zasady mogą posłużyć jako wskazówki przy doborze grota:

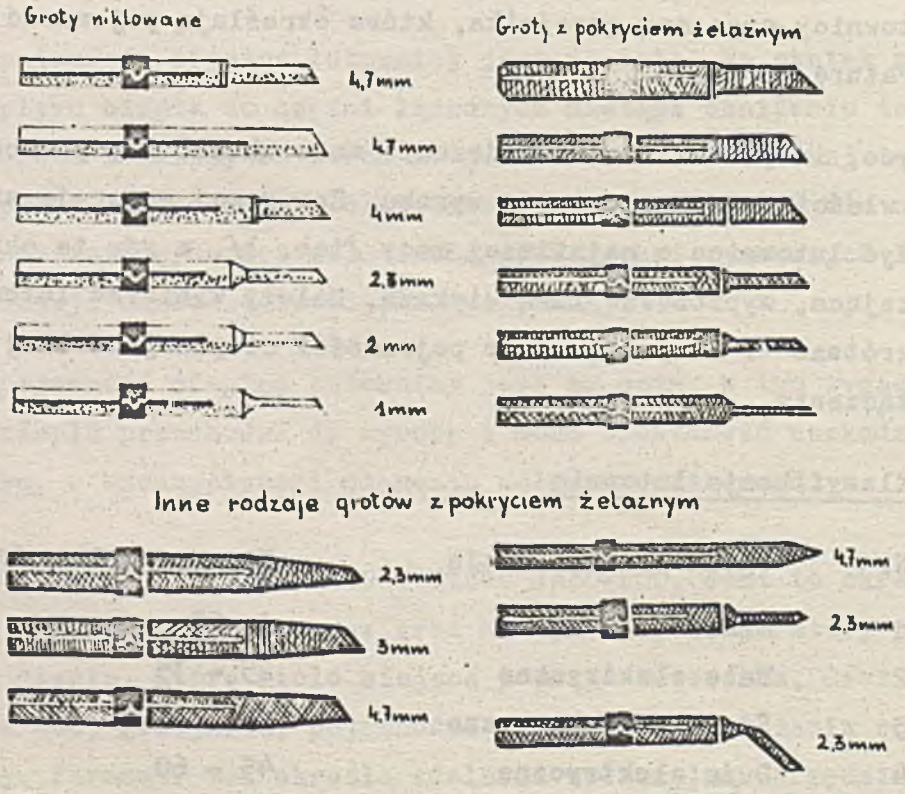
1. Grot z końcówką, która zapewnia maksymalny kontakt między jej powierzchnią a powierzchnią części łączonych zwiększa sprawność przekazywania ciepła.

2. Groty z końcówką prostą lub zakrzywioną ułatwiają w konkretnym przypadku dostęp do części łączonych.

3. Stożek grota powinien być możliwie najkrótszy. Długie stożki mają mały przekrój dla przepływu fali ciepła.

4. Dla zmniejszenia długości drogi przepływu ciepła i zwiększenia stabilności narzędzia /chybotanie przy pracy/ należy wybierać groty o krótkim zasięgu.

5. Nie zaleca się stosowania grotów o wyższej temperaturze i mniejszej pojemności cieplnej. Większe groty mają niższą temperaturę, ale większą pojemność cieplną /rys. 5/.



Rys. 5. Komplet grotów miniaturowej lutownicy do lutowania płytek drukowanych

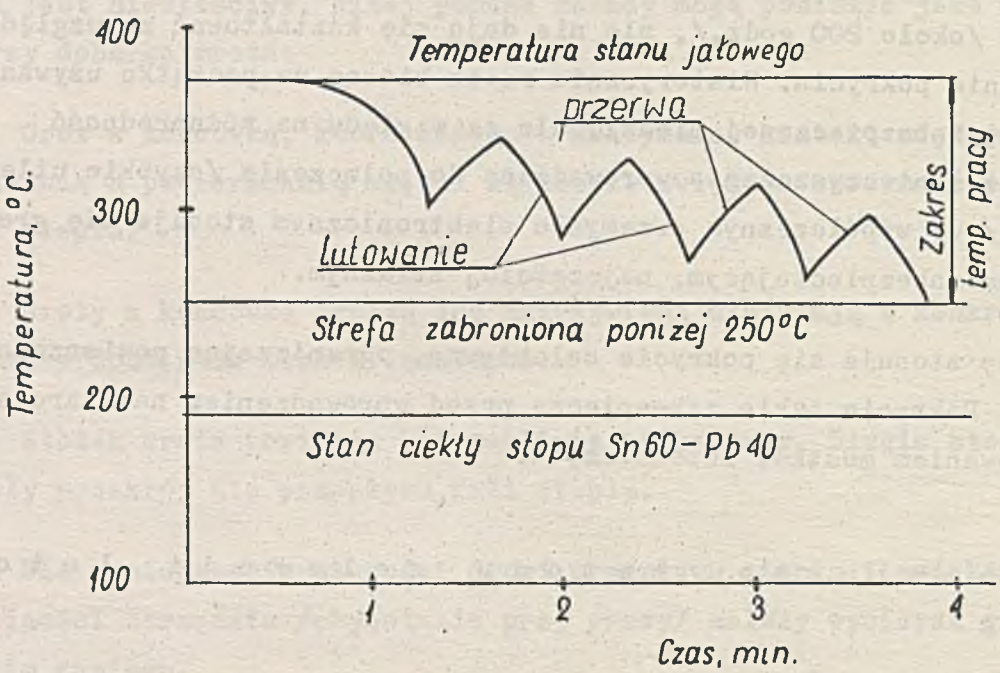
Czas życia nie zabezpieczonego grota jest krótki, a koszty przywrócenia pierwotnego kształtu wysokie. Groty pokrywane żelazem mają długi czas życia /około 200 godz./, ale nie dają się kształtować ze względu na niszczenie pokrycia. Historycznie rzecz biorąc na początku używano grotów z niezabezpieczonej miedzi, ale ze względu na różnorodność kształtów i zanieczyszczenia wprowadzane do połączenia /szybkie utlenianie miedzi/ we współczesnym przemyśle elektronicznym stosuje się groty z pokryciem zabezpieczającym, najczęściej żelaznym.

Niekiedy stosuje się pokrycie selektywne, ograniczając powierzchnię cynowania. Pokrycie takie zabezpiecza przed wprowadzeniem nadmiaru spoiwa i formowaniem mostków lutowniczych.

1.2. Dynamiczne metody selekcji lutownic

Temperatura końcówek grota używanego do elementów i konstrukcji mikroelektrycznych powinna być zarówno przed, jak podczas i po operacji lutowania dokładnie określona. Dopasowanie lutownicy do wyrobu powinno być wykonane przy użyciu specjalnego wyposażenia, które byłoby w stanie sprostać potrzebom związanym z szybkim rozwojem technologii. Istnieją specjalne analizatory parametrów lutowania, które stwarzają możliwości dokładnej selekcji narzędzia w oparciu o rzeczywiste warunki pracy [6]. Taki analizator sporządza wykres rozkładu temperatury grota /rys. 6/ począwszy od stanu jałowego poprzez stany kolejno wykonywanych połączeń aż do temperatur, w których powinno się unikać lutowania. Otrzymujemy graficzny obraz strat ciepła i czasu potrzebnego dla wykonania każdego połączenia. Krzywe temperatury mogą być szczegółowo studiowane. Można dokładnie poczynając od stanu jałowego, sprawdzić zmiany temperatury, wywołane przez pierwsze lutowanie, kilka następujących po sobie połączeń, a kończąc na wymiarach połączenia, średnicy spoiwa i tempie produkcji.

Uważając, że każde połączenie jest uwarunkowane dwoma czynnikami, czasem przerwy między połączeniami i temperaturą lutowania można np. za pomocą wspomnianego analizatora dobrać tak wąski zakres zmian temperatury odpowiadający dopasowaniu lutownicy do części łączonych, aby



Rys. 6. Charakterystyka dynamiczna temperatury grota lutownicy przy wykonywaniu kilku następujących po sobie połączeń lutowanych

zmienną był czas przerwy między kolejnymi połączeniami. Ułatwia to szkolenie pracowników i zapewnia wyższą jakość lutowania.

Pomiaru temperatury grota można dokonać przy pomocy termopary /np. żelazo-konstantan/, którą umieszczono w małym otworku nawierconym w grocie . Skręcone końce termopary są wgniatane do otworu położonego w odległości 5 ÷ 10 mm od końca grota za pomocą kawałków miedzi, co zapewnia bezpośrednie zetknięcie termoelementu z materiałem grota.

1.3. Różne sposoby wykorzystania ciepła lutownicy przy lutowaniu płytek drukowanych

W procesie lutowania lutownica powinna służyć wyłącznie tylko jako źródło ciepła. W związku z tym nie wolno przenosić topnika i spoiwa lutowniczego przy pomocy grota, lecz doprowadzać je bezpośrednio do powierzchni części lutowanych.

Dotychczas uważano, że należy przykładać koniec grota do części o większej masie, a topnik i spoiwo doprowadzać po przeciwnej stronie. W wy-

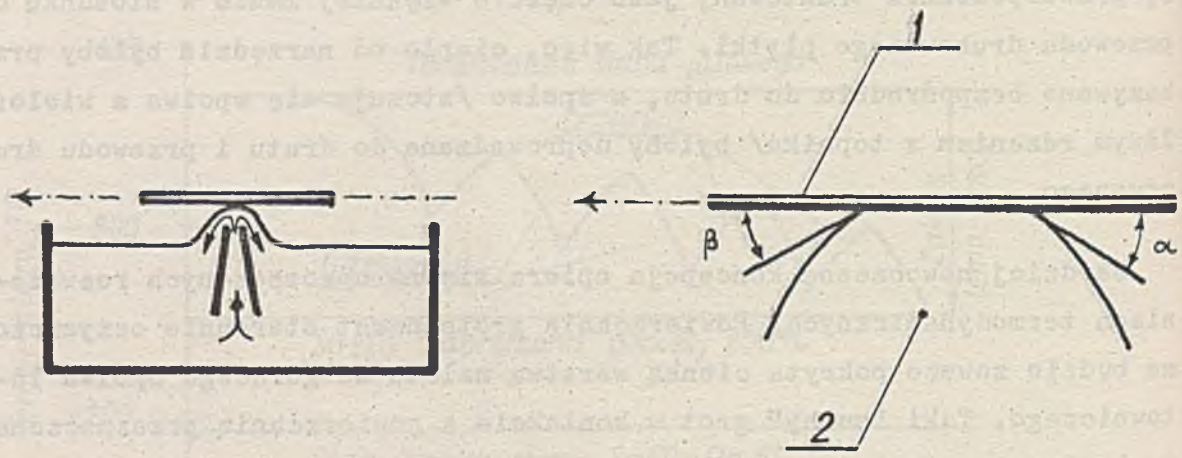
padku lutowania do płytek drukowanych, drut wyprowadzenia elementu byłby prawdopodobnie traktowany jako część o większej masie w stosunku do przewodu drukowanego płytki. Tak więc, ciepło od narzędzia byłoby przekazywane bezpośrednio do drutu, a spoiwo /stosuje się spoiwa z wielożyłowym rdzeniem z topnika/ byłoby doprowadzane do drutu i przewodu drukowanego.

Bardziej nowoczesna koncepcja opiera się na uproszczonych rozważaniach termodynamicznych. Powierzchnia grota nawet starannie oczyszczona będzie zawsze pokryta cienką warstwą nalotu od gorącego spoiwa lutowniczego. Taki "suchy" grot w kontakcie z powierzchnią przeznaczoną do lutowania nie będzie mógł szybko i skutecznie przekazywać ciepła do części łączonych, a przecież także i powierzchnie lutowane pozostające dłuższy czas w kontakcie z "suchym" grotem, pokryją się warstewką tlenków. Ciepło musiałoby przejść od metalu podstawowego grota przez nalot na grocie i nalot na metalu podstawowym części łączonych do tego metalu. Przedłużony okres ogrzewania nie tylko powiększy liczbę ewentualnych zanieczyszczeń, ale grozi niebezpieczeństwem uszkodzenia elementu i płytki.

Jeśli natomiast wprowadzimy mały kawałeczek spoiwa z topnikiem między "suchy" grot a wyprowadzenie elementu, wyżej opisana kolejność ulegnie zmianie. W tym wypadku nastąpi oczyszczenie z nalotu i pocynowanie powierzchni, a więc otworzy się bezpośrednie przejście od gorącego grota przez gorące spoiwo lutownicze do małej, zwilżonej powierzchni wyprowadzania elementu. Przekazywanie ciepła będzie teraz szybkie, a spoiwo z rdzeniem z topnika rozejdzie się wzdłuż drogi ciepła i pokryje powierzchnie części łączonych. Ta metoda jest dużo lepsza, szczególnie w przypadku płytek drukowanych, dzięki czemu znalazła szerokie zastosowanie.

2. Lutowanie na fali

Obecnie większość płytek drukowanych, w tym również dwu- i wielowarstwowych, lutowana jest tą metodą. Lutowanie na fali polega na wytworzeniu ciągłego strumienia ciekłego spoiwa lutowniczego pompowanego do góry przez wąską wydłużoną dyszę, tworząc grzbiet fali, przez który prowadzi się płytkę drukowaną z elementami /rys. 7/. Jak pokazano na rysunku, profil fali zapewnia odpowiedni kąt wejścia i wyjścia płytki.

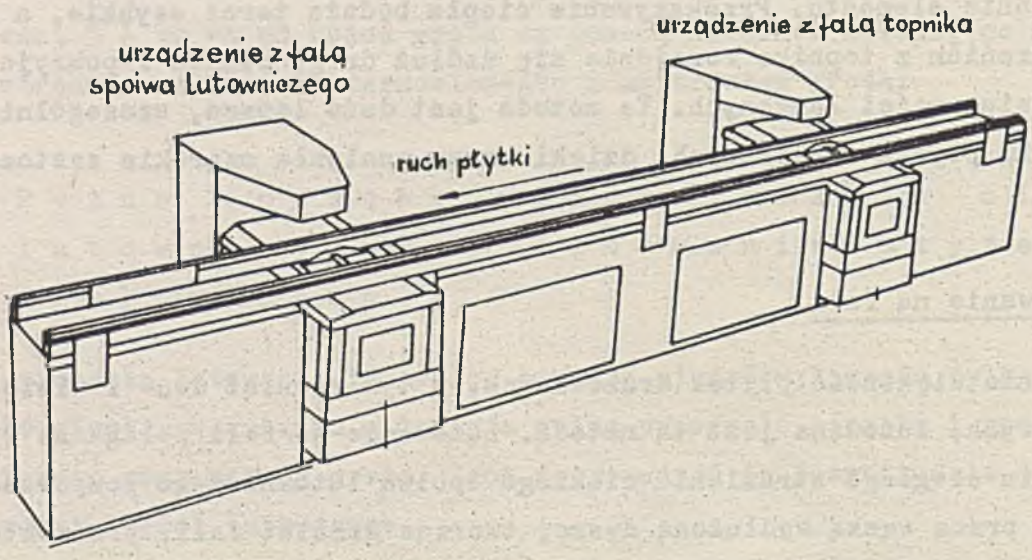


Rys. 7. Schemat urządzenia do lutowania na fali

1 - płytka drukowana,
2 - fala lutownicza,
α - kąt wejścia płytki,
β - kąt wyjścia płytki z fali

2.1. Charakterystyka urządzenia

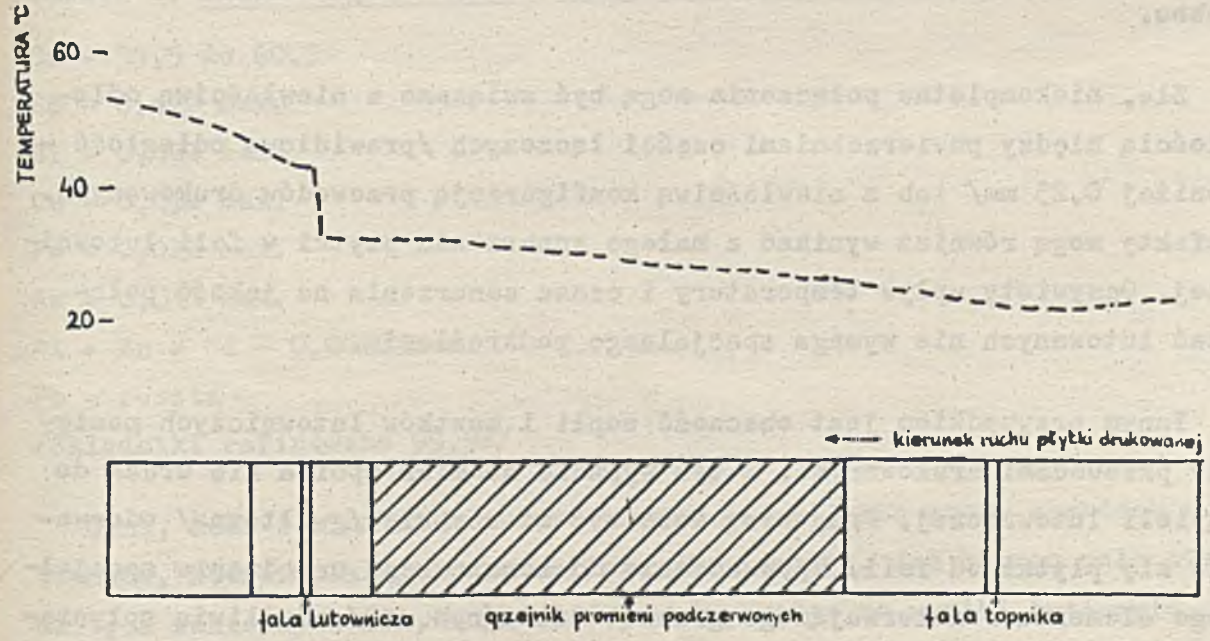
Kompletne urządzenie pokazano na rys. 8 [2, 5]. Płytki podtrzymywane w pojedynczych wózkach przesuwają się wzdłuż transportera z prawej strony ku lewej. Przechodzą one kolejno przez falę ciekłego topnika, nad grzejnikiem promieni podczerwonych i przez falę ciekłego spoiwa. Zbiornik o pojemności od kilkudziesięciu do kilkuset kG zależnie



Rys. 8. Kompletne wyposażenie do lutowania płytek drukowanych

od wielkości i przeznaczenia urządzenia jest wypełniony ciekłym spoiwem, podgrzewanym elektrycznie do stałej, regulowanej temperatury, która zazwyczaj wynosi 220-250°C /zakres regulacji 0-420°C ± 1°C/. Uzupełnianie zawartości zbiornika następuje automatycznie, tak aby zachować stały poziom spoiwa. Wysokość fali jest regulowana wydajnością pompy i po ustawieniu waha się względem wartości nominalnej w granicach ± 0,40 mm. Maksymalna wysokość fali wynosi około 20 mm. Największa szerokość płytki może wynosić ok. 350 mm /długość jest dowolna/. Szybkość transportera może się zmieniać od 0 do 280 cm/min. Do lutowania stosuje się spoiwo nadeutektyczne /65% Pb/ o bardzo małej zawartości zanieczyszczeń.

Doświadczenie wykazało, że metoda ta posiada bardzo wiele zalet. Ciągły ruch spoiwa po zwilżanej powierzchni zmniejsza czas lutowania. Krótki czas lutowania wynika zarówno z szybkiego przewodzenia ciepła na skutek poruszania się ciekłego spoiwa, jak i z mechanicznego ruchu spoiwa na powierzchni płytki drukowanej, który zwiększa nacisk termodynamiczny przy pokrywaniu powierzchni. W wyniku tego zmniejszenie temperatury spoiwa oraz wzrost temperatury płytki są niewielkie. Na ogół czas kontaktu płytki ze spoiwem jest mniejszy od 2 sekund, a temperatura elementów dochodzi do 70-80°C /rys. 9/.



Rys. 9. Wzrost temperatury złącza elementu półprzewodnikowego /tranzystor germanowy/ podczas lutowania płytki drukowanej

Ciągłe pompowanie zapobiega akumulowaniu osadu żużlowego na powierzchni kąpieli lutowniczej. Osad jest odprowadzany do specjalnego zbiornika, skąd usuwa się go na zewnątrz. Płytka porusza się po linii prostej, dzięki czemu upraszcza się transport i co ważniejsze, łatwiejsze się staje utrzymanie stałej głębokości zanurzenia płytki na całej jej długości.

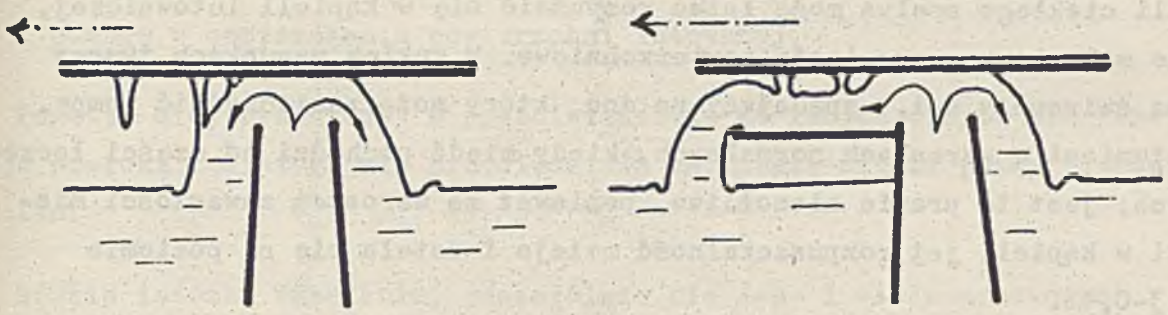
2.2. Czynniki oddziaływujące na jakość lutowania

W procesie lutowania występuje szereg czynników wpływających na jakość połączeń specyficznych dla danego procesu.

Pierwszy z nich polega na tym, że spoiwo nie może się dostać w ogóle lub nie pozostaje między częściami łączonymi. Może to wynikać z wielu powodów. Wyprowadzenia elementów mogą być częściowo albo całkowicie nielutowalne ze względu na nieodpowiednie cynowanie lub zanieczyszczenie powierzchni. Jednakże nielutowalne wyprowadzenia elementów należą do rzadkości. Może się też zdarzyć, że przewody na płytce drukowanej są częściowo lub całkowicie nielutowalne ze względu na niewłaściwe oczyszczenie powierzchni folii miedzianej i to jest bardziej prawdopodobne.

Złe, niekompletne połączenia mogą być związane z niewłaściwą odległością między powierzchniami części łączonych /prawidłowa odległość - poniżej 0,25 mm/ lub z niewłaściwą konfiguracją przewodów drukowanych. Defekty mogą również wynikać z małego zanurzenia płytki w fali lutowniczej. Oczywisty wpływ temperatury i czasu zanurzenia na jakość połączeń lutowanych nie wymaga specjalnego podkreślenia.

Innym przypadkiem jest obecność sopli i mostków lutowniczych pomiędzy przewodami drukowanymi. W tym wypadku nadmiar spoiwa nie wraca do kąpieli lutowniczej. Przyczyną może być za szybkie /gwałtowne/ oderwanie się płytki od fali. Wprowadzenie do konstrukcji urządzenia specjalnego elementu rozszerzającego grzbiet fali /rys. 10/ umożliwia spłynięcie jeszcze nie zastygniętych sopli do kąpieli lutowniczej. Można również podnieść lekko do góry tor transportera w punkcie, gdzie płytka przechodzi nad falą oraz zwiększyć szybkość przesuwania się płytki.



Rys. 10. Wpływ elementu kształtującego falę na formowanie sopli lutowniczych

Przypadki tworzenia się sopli i mostków lutowniczych są ściśle związane z napięciem powierzchniowym kąpieli. Napięcie to powinno być odpowiednio duże tak, by wyraźnie występowała skłonność do tworzenia się małych kropli lub też zamykających się obszarów pokryć powierzchniowych. Niskie napięcie powierzchniowe ciekłego spoiwa jest związane z zanieczyszczeniami /tab. 2/.

Tabela 2. Skład stopu lutowniczego do lutowania na fali

Sn - 59,5 do 60,5%
Sb - 0,12% max.
Bi - 0,10% max.
Cu - 0,05% max.
Fe - 0,02% max.
As - 0,01% max.
Al + Zn + Cd - 0,002% max.
Pb - reszta
/Składniki rafinowane 99,9%/

Cynk, kadm i aluminium tworzą bardzo cienki, ale mocny naskórek z tlenków, które działają jako bariera dla topnika. Już bardzo małe ilości tych zanieczyszczeń, mogą mieć poważny wpływ na wyniki lutowania. Należy przestrzegać, aby zanieczyszczenia cynku i aluminium nie przekroczyły stosunku $1:10^5$, natomiast kadmu może być pięciokrotnie więcej. Oznacza to również, że wyprowadzenia elementów nie mogą być cynkowane lub kadmowane.

Podobne niebezpieczeństwa stwarza mosiądz jako stop miedzi i cynku. Miedź, która w warunkach podwyższonej temperatury i poruszającej się fali ciekłego spoiwa może łatwo rozpuścić się w kąpieli lutowniczej, nie ma wpływu na napięcie powierzchniowe. W takich warunkach tworzy ona żwirowaty muł, spadający na dno, który może zanieczyścić pompę. Natomiast w warunkach normalnych, kiedy miedź pochodzi od części łączonych, jest to prawie niemożliwe, ponieważ ze wzrostem zawartości miedzi w kąpieli jej rozpuszczalność maleje i ustala się na poziomie 0,3-0,4%.

Doskonałym sposobem, który zapobiega rozpuszczaniu się miedzi jest cynowanie płytki drukowanej przed lutowaniem. Warstwa stopu SnPb stanowi barierę między łatwo rozpuszczającą się miedzią i cyną.

Kożuch żużlowy, który początkowo formuje cienką powłokę na powierzchni kąpieli lutowniczej, uniemożliwia przedostanie się części spoiwa do środka kąpieli. Cząsteczki spoiwa wypadające z fali są zamykane w suchym żużlu przy powierzchni i tu pozostają, tworząc srebrzystą, papkowatą masę o zawartości ok. 99,5% czystego metalu. Dla zlikwidowania tego zjawiska należy użyć niewielkiej ilości łagodnie działającego topnika, który zwiększa napięcie powierzchniowe spoiwa i rozdziela /"tnie" na kawałki/ warstwę żużlu. Nieprzestrzeganie tej zasady prowadzi do przedostania się nalotu do wlotu pompy i stamtąd do płytki, tworząc na jej powierzchni grudkowate połączenia nieodpowiedniej jakości.

2.3. Lutowanie mikroukładów

W konstrukcjach płytek drukowanych, gdzie odległości między przewodami drukowanymi są znacznie mniejsze i niekiedy dochodzą do kilku dziesiątych milimetra, a gęstość połączeń jest bardzo duża, występowanie mostków lutowniczych przy lutowaniu na fali byłoby nie do uniknięcia. Dlatego wprowadza się pewne zmiany celem rozszerzenia zakresu zastosowania tej metody [1]. Dodatkowa precyzja wiąże się głównie z wprowadzeniem oleju arachidowego do kąpieli lutowniczej pompowanego do góry razem ze spoiwem. W tym wypadku olej arachidowy spełnia trzy funkcje:

- zwiększa napięcie powierzchniowe spoiwa, zapobiegając tworzeniu się sopli i mostków lutowniczych,

. hamuje proces utleniania poprzez tworzenia dodatkowej bariery pomiędzy atmosferą i spoiwem,

. pomaga w oczyszczeniu powierzchni lutowanej.

Ponadto olej arachidowy w przeciwieństwie do innych olejów nie formuje powłoki i dlatego nie przeciwdziała zwilżaniu miedzi przez ciekłe spoiwo.

Równie istotne znaczenie, szczególnie dla dwu- i wielowarstwowych płytek drukowanych z mikroukładami typu pająk /w tym przypadku górne i dolne połączenie jest wykonywane jednocześnie/, ma właściwe ustawienie wysokości i kąta pochylenia fali lutowniczej, która powinna przedostać się do środka metalizowanego otworu /rys. 1/. Te dwa parametry są nastawiane przy pomocy specjalnego próbnika wykonanego ze szkła hartowanego, który umożliwia nie tylko obserwacje, lecz i właściwą adiustację urządzenia. Dodatkową precyzję ustawienia wysokości fali uzyskuje się dzięki specjalnie przygotowanej powierzchni płytki szklanej, która po odpowiedniej obróbce odwzorowuje nierówności powierzchni faktycznej płytki drukowanej /honowanie na sucho przy pomocy szklanych perełek Ø ok. 0,08 mm/ oraz dzięki zwiększeniu dokładności regulacji wysokości fali przez wmontowanie odpowiednich mechanizmów regulujących.

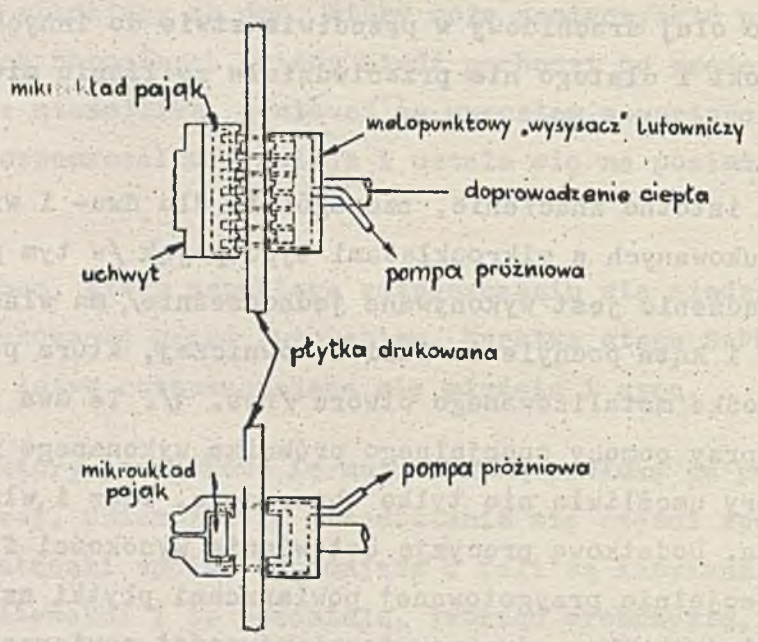
Ponadto specjalny transporter zapewnia stałe położenie płytki w stosunku do fali lutowniczej z dokładnością do kilku setnych mm.

3. Wylutowanie uszkodzonych mikroukładów

Chociaż elementy mikroelektroniczne są już małe i niezawodne, są wciąż jeszcze dość drogie. Ponadto istnieje potrzeba opracowania takich narzędzi i metod, które by umożliwiały wymontowywanie uszkodzonego mikroukładu bez uszkodzenia sąsiednich elementów oraz płytki drukowanej /szczególnie płytki wielowarstwowej/.

W wielu wypadkach wprowadza się lekkie dogięcie niektórych wyprowadzeń mikroukładu dla podtrzymania go w płytce drukowanej. W tym przypadku przed wyciągnięciem mikroukładu należy usunąć spoiwo oraz ostrożnie wyprostować zagięte wyprowadzenie.

Ostateczne usunięcie mikroukładu można przeprowadzić za pomocą specjalnego narzędzia /rys. 11/. Narzędzie to składa się z lutownicy o mocy ok. 40 W zakończonej wielootworową głowicą i ze szczypiec ze szczękami podobnymi do klipsa krokodylkowego [4].



Rys. 11. Narzędzie do wylutowywania mikroukładów pająk. /Wielopunktowy "wysysacz" lutowniczy/

Szczęki szczypiec zapewniają odprowadzanie ciepła i są wykonane z aluminium lub innych materiałów nie zwilżanych w spoiwie lutowniczym. Zęby szczęk wchodzą między wyprowadzenia mikroukładu. Głowica zapewnia jednoczesny kontakt rozgrzanego metalu z każdym wyprowadzeniem. Garby u podstawy głowicy posiadają otwory połączone wspólnym kanałem z pompą próżniową. Jest to właściwie wielopunktowy "wysysacz lutowniczy" będący odmianą stosowanego dla elementów dyskretnych wysysacza pojedynczego /rys. 12/.

Rys. 12. Narzędzie do wylutowywania elementów dyskretnych

Literatura

[1] CHETLAN R.: Machine Soldering Gets IC's into Tighter Spots. Electronics, 1966, Vol. 39, No. 8, pp. 116-117.

[2] Fry's Metals Ltd., Tandem Works, Merton Abbey, London S.W. 19, England: Flowsolder Equipment for Soldering Printed Circuit Boards. Prospekt.

[3] MANKO H.H.: Solders and Soldering. McGraw - Hill Book Company, New York 1964.

[4] MATZINGER R.: Repairability of Printed Wiring Boards Containing Microelectronic Devices. Solid State Technology, 1968, Vol. 11, No. 9, pp. 39-41.

[5] STRAUSS R.R.: The Soldering of Printed Circuits. Bulletin of Fry's Metal Foundries Ltd., Tandem Works, Merton Abbey, London S.W. 19, England.

[6] SYLVESTER I.A.: Matching the Iron to the Job. Electronic Packaging and Production, 1968, Vol. 8, No. 3, pp. 168-171.

CYFROWA TECHNIKA KRZEMOWA S-50

Instytut Maszyn Matematycznych przygotowuje do wydania publikację pt.: CYFROWA TECHNIKA KRZEMOWA S-50 /objętość ok. 10 ark. wyd., format A4/, która ukaże się drukiem w końcu IV kwartału 1969 r.

Publikacja zawierać będzie opis techniczny elementów logicznych nanosekundowej techniki cyfrowej S-50, znajdującej zastosowanie w maszynach cyfrowych, urządzeniach automatyki i aparaturze kontrolno-pomiarowej.

Podstawowym układem techniki S-50 jest inwerter typu NAND o typowym czasie propagacji 30 ns, zrealizowany na epiplanarnym tranzystorze krzemowym. Układy montowane są na standardowych płytkach, tzw. pakietach. Dzięki zastosowaniu elementów konstrukcyjnych wysokiej jakości, pakiety techniki S-50 odznaczają się dużą niezawodnością i odpornością na oddziaływanie zewnętrzne. Przewidziano specjalne wykonanie pakietów, przystosowanych do pracy w warunkach morskich i tropikalnych.

W publikacji podano parametry techniczno-eksploatacyjne układów, omówiono zestaw pakietów wraz z wyposażeniem dodatkowym, określono zasady kablowania i przytoczono przykłady typowych zastosowań układów.

Wydawnictwo CYFROWA TECHNIKA KRZEMOWA S-50 znajdzie się w sprzedaży w I kwartale 1970 r. Cena jednego egzemplarza - ok. 130 zł. Zainteresowane instytucje mogą składać zamówienia /z podpisem Głównego Księgowego/ do Działowego Ośrodka INTE Instytutu Maszyn Matematycznych, Warszawa, ul. Krzywickiego 34.

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.