

ZJEDNOCZENIE PRZEMYSŁU
AUTOMATYKI I APARATURY POMIAROWEJ
„M E R A”



ELEKTRONICZNA TECHNIKA OBLICZENIOWA



P. 3057 / 70

NOWOŚCI

2/1970

INSTYTUT MASZYN MATEMATYCZNYCH
DZIAŁOWY OŚRODEK INTE

ELEKTRONICZNA TECHNIKA OBLICZENIOWA

NOWOŚCI

Rok IX

Nr 2

1970



P. 3057 / 70

S p i s t r e ę c i

	str.
Mgr inż. Jan KLIMOWICZ; Samodiagnoza maszyn cyfrowych	3
Mgr inż. Eugeniusz NOWAK, dr inż. Zygmunt SAWICKI; Pamięci półprzewodnikowe	23
Mgr inż. Jerzy EKNER; Szkielety cyfrowych urządzeń elektronicznych. Część I	53
Mgr inż. Andrzej BILLING, mgr inż. Tadeusz DZIECHCIARZ; Zwalczenie zapylenia powietrza w pomieszczeniach technologicznych	89

Wydaje

INSTYTUT MASZYN MATEMATYCZNYCH

B r a n ż o w y O ś r o d e k I n f o r m a c j i
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. 431 lub 28-37-29

SAMODIAGNOZA MASZYN CYFROWYCH*

Artykuł zawiera ogólne ujęcie problemu diagnozy stanu i uszkodzeń w maszynach cyfrowych na drodze programowej, ze szczególnym uwzględnieniem jednostki centralnej. Omówione zostały metody testowania maszyny bez użycia testerów zewnętrznych i trudności, jakie sprawia rozwiązanie tego zagadnienia. Ponadto omówiono sposób rozwiązania problemu lokalizacji logicznych uszkodzeń jednokrotnego obwodu sekwencyjnego na drodze stworzenia systematycznej procedury testowej przy zastosowaniu sekwencyjnej lub kombinacyjnej metody testowania. Podano algorytm układania takiej procedury dla metody sekwencyjnej. Oceniono aparat programowy potrzebny do jego realizacji dla realnych sieci maszyny.

1. Wstęp

1.1. L o k a l i z a c j a i k o n t r o l a p r o g r a m o w a i u k ł a d o w a

Problem sprawdzania maszyn cyfrowych, który staje się coraz istotniejszy w miarę postępującej rozbudowy systemów cyfrowych sprowadza się do dwu zagadnień: kontroli, która ma na celu wykrycie ewentualnego uszkodzenia maszyny i lokalizacji, której zadaniem jest wskazanie miejsca tego uszkodzenia.

Celom tym mogą służyć zarówno środki programowe jak i układowe. W dotychczasowych realizacjach stwierdzić można przewagę środków ukła-

* Indeks terminów: błąd, detekcja, diagnoza, diagnoza stanu, diagnoza uszkodzenia, identyfikacja, kontrola, kompletność, lokalizacja, samodiagnoza, uszkodzenie, zlokalizowanie

dowych w zakresie kontroli i programowych w zakresie lokalizacji. Sytuacja taka wynika z naturalnej przewagi układowej detekcji błędu, która w przeciwieństwie do detekcji programowej działa bez przerwy i nie wymaga wydatkowania na cele kontrolne efektywnego czasu ewentualnie sprawnej maszyny. Natomiast lokalizacja jest prowadzona w czasie nieefektywnym, po stwierdzeniu istnienia w maszynie uszkodzenia. Środki programowe systematyzują proces podejmowania decyzji o miejscu uszkodzenia, skracając czas jego poszukiwania.

W niniejszym artykule zostaną omówione problemy kontroli i diagnostyki maszyn cyfrowych z punktu widzenia możliwości programowych.

1.2. P r ó b a s y s t e m a t y z a c j i p o j ę ć d i a g- n o s t y c z n y c h

Zdefiniujemy na wstępie podstawowe pojęcia z zakresu diagnostyki, używane dalej w artykule.

Def. 1. Diagnozą maszyny cyfrowej nazywać będziemy decyzje o stanie maszyny cyfrowej i miejscu jej ewentualnego uszkodzenia.

Def. 2. Diagnozą stanu maszyny nazywać będziemy decyzję o stanie maszyny cyfrowej. Decyzja ta może być dwojaka:

- struktura logiczna maszyny jest wolna od uszkodzeń,
- struktura logiczna maszyny jest uszkodzona.

Def. 4. Kontrolą nazywać będziemy proces służący wydaniu diagnozy stanu.

Def. 6. Detekcją nazywać będziemy stwierdzenie istnienia uszkodzenia w procesie kontroli.

Def. 3. Diagnozą uszkodzenia nazywać będziemy decyzję o miejscu i rodzaju uszkodzenia struktury logicznej maszyny. Decyzja ta może być wieloraka i ma postać następującą: wymienny element typu X posiada uszkodzenie typu Y.

Def. 5. Lokalizacją nazywać będziemy proces służący wydaniu diagnozy uszkodzenia.

Def. 7. Identyfikacją /zlokalizowaniem/ nazywać będziemy określenie rodzaju /a następnie miejsca/ uszkodzenia w procesie lokalizacji. Identyfikacja może być jedno-

znaczna lub też ograniczać się do pewnej klasy uszkodzeń.

Def. 8. Samodiagnozą nazywać będziemy diagnozę maszyny cyfrowej podejmowaną przez maszynę tej diagnozie podlegającą.

Zauważyć można, że pojęcie diagnozy stanu i diagnozy uszkodzenia pokrywają się w skrajnym przypadku, kiedy wymagania dotyczące dokładności lokalizacji uszkodzenia ograniczają się do całej maszyny. Odróżnić należy także pojęcie uszkodzenia odnoszące się do awarii struktury logicznej od pojęcia błędu, który jest programowym objawem uszkodzenia.

Wprowadzimy jeszcze pojęcie kompletności zbioru testów, podając jego definicję opisową. Ścisłejsza definicja podana zostanie w rozdziale 4 "Teoretyczne metody diagnozy".

Def. 9. Będziemy mówili, że zbiór testów danego urządzenia jest kompletny, jeśli daje on możliwość detekcji dowolnego jego uszkodzenia.

2. Techniki samodiagnozy

W procesie diagnozy niezbędne jest posiadanie urządzenia, zdolnego bezbłędnie analizować zachowanie się badanego obwodu. Urządzenie takie nazywać będziemy testerem. Jeśli jest ono niezależne od obwodu badanego, mamy do czynienia z diagnozą - jeśli stanowi część tego obwodu, mówimy o samodiagnozie. W praktycznych rozwiązaniach diagnostyki maszyn cyfrowych spotykamy się na ogół z samodiagnozą - stosowanie dodatkowych testerów lub też innej maszyny do testowania maszyny badanej jest rozwiązaniem rzadkim.

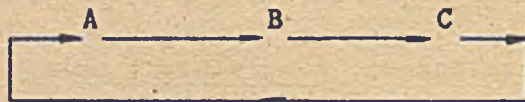
Zasadniczym zadaniem w procesach samodiagnozy jest zapewnienie sprawności testera. Waga tego problemu wzrasta w procesach lokalizacji, gdzie tester nie tylko musi decydować o prawidłowości wyniku testu, ale także w większości rozwiązań podejmować decyzje o wyborze następnego testu.

Można wyodrębnić trzy podstawowe metody rozwiązań samodiagnozy:

1. Technika niezawodnego rdzenia /The Hard-Core Tester/. Część maszyny biorąca udział w jej normalnych operacjach zbudowana jest na

elementach o zwiększonej niezawodności i w procesie samodiagnozy służy jako tester tj. podaje sygnały do pozostałych części maszyny i bada odpowiedzi. Główna niedogodność tej techniki polega na trudnościach realizacji wysokoniezawodnościowego testera.

2. Technika wieloblokowa /The Multi-Soft-Core Technique/. Sprawdzaną maszynę dzieli się na bloki A, B, C... Kolejno każdy z bloków spełnia rolę testera, sprawdzając blok następny. Pętla zamyka się sprawdzaniem pierwszego bloku przy pomocy bloku ostatniego.



Rys. 1. Metoda wieloblokowa

Wszystkie bloki są równoniezawodne. Wada tej metody polega na trudnościach ścisłego ustalenia podziału; na ogół istnieją elementy wspólne dla kilku bloków. Stąd wynika podstawowa komplikacja: uszkodzenie bloku sprawdzanego może psuć tester. Jednakże pozytywne przejście wszystkich testów gwarantuje pod warunkiem ich kompletności, sprawność maszyny - nawet w wypadku niezachowania warunku dokładnego podziału. Metoda ta nadaje się dobrze do realizacji procesów kontroli, szczególnie w przypadkach, gdy dysponujemy więcej niż jedną jednostką centralną.

3. Technika sznurowania /The Bootstrap Technique/. Technika ta, zwana także metodą rozszerzania kontroli, polega na wciąganiu do testera coraz to nowych, sprawdzonych elementów maszyny według zasady: każdy kolejny rozkaz lub operacja sprawdzana jest przy pomocy rozkazów lub operacji już sprawdzonych. Wstępną kontrolę "maszyny minimalnej" niezbędną do przeprowadzenia sensownych operacji programowych przeprowadza się ręcznie. Wadą tej techniki jest niedogodność ręcznej kontroli i ograniczenie szybkości sprawdzania, które wynika z dysponowania przez sprawdzającego ograniczoną listą rozkazów, szczególnie na początku sprawdzania.

Pierwsze opracowywane procedury testowe nie rozgraniczały zadań kontroli i lokalizacji. Procedury takie realizowane były przez programis-

tów nie znających logiki maszyny, kontrola przebiegała według listy rozkazów, tzn. polegała na kolejnym sprawdzeniu wszystkich rozkazów listy, uzupełnianym przez sprawdzenie poprawności wykonywania operacji, dotyczących urządzeń zewnętrznych. Przyjęta metoda kontroli polegała zazwyczaj na wykonaniu badanego rozkazu przy pewnych argumentach, a następnie symulacji tego rozkazu przy pomocy innych rozkazów dla tych samych argumentów i porównaniu wyników. Podstawową wadą tej metody z punktu widzenia diagnozy uszkodzeń była wieloznaczność wniosków o miejscu uszkodzenia. W przypadku niezgodności wyników błąd może równie dobrze tkwić w rozkazie badanym, jak i w rozkazach symulujących. Niedogodność tę eliminuje metoda szablonów polegająca na porównywaniu wyniku badanego rozkazu z przygotowanym uprzednio szablonem wyniku prawidłowego. Pracochłonność uprzedniego obliczania wyników i konieczna kontrola prawidłowości w przypadku ich przewidywania były główną wadą tej metody.

Obie wyżej opisane metody nie dawały praktycznej możliwości realizacji zasady kompletności testów, tj. nie dawały gwarancji wykrywania wszystkich możliwych błędów, ponieważ wybór przypadków sprawdzanych w pisanych "ręcznie" testach nie był narzucany jakąś systematyczną procedurą, lecz opierał się na intuicji realizatorów programów testujących. Drugą wspólną wadą był brak istotnej informacji diagnostycznej, która ograniczała się do rozkazu i często, dla różnych rozkazów, sprowadzała się do wskazania wspólnego dla nich hardware'u.

Wnioski wypływające z tych doświadczeń wskazały na konieczność podjęcia pracy nad samodiagnozą przez pracowników technicznych, dobrze znających strukturę logiczną maszyny.

Problem samodiagnozy maszyny cyfrowej występuje w dziedzinie programowej najostrzej w zakresie jej jednostki centralnej, bowiem zapewnienie układowej detekcji błędu jest tu najtrudniejsze. Pamięci operacyjne i zewnętrzne oraz urządzenia zewnętrzne są domeną układowych środków kontroli i nie będą omawiane w niniejszym artykule, chociaż stworzenie dla nich programowego aparatu lokalizacji mogłoby przynieść dodatkowe korzyści eksploatacyjne.

Ilustracją zastosowania wymienionych wyżej technik samodiagnozy w zakresie jednostki centralnej mogą być doświadczalne realizacje E. Manninga

[5] dla maszyny CSX-1 i system testów K-400 opracowany w Instytucie Maszyn Matematycznych dla maszyny ZAM 41. Opracowania te są systemami kontrolnymi o ograniczonych możliwościach lokalizacyjnych.

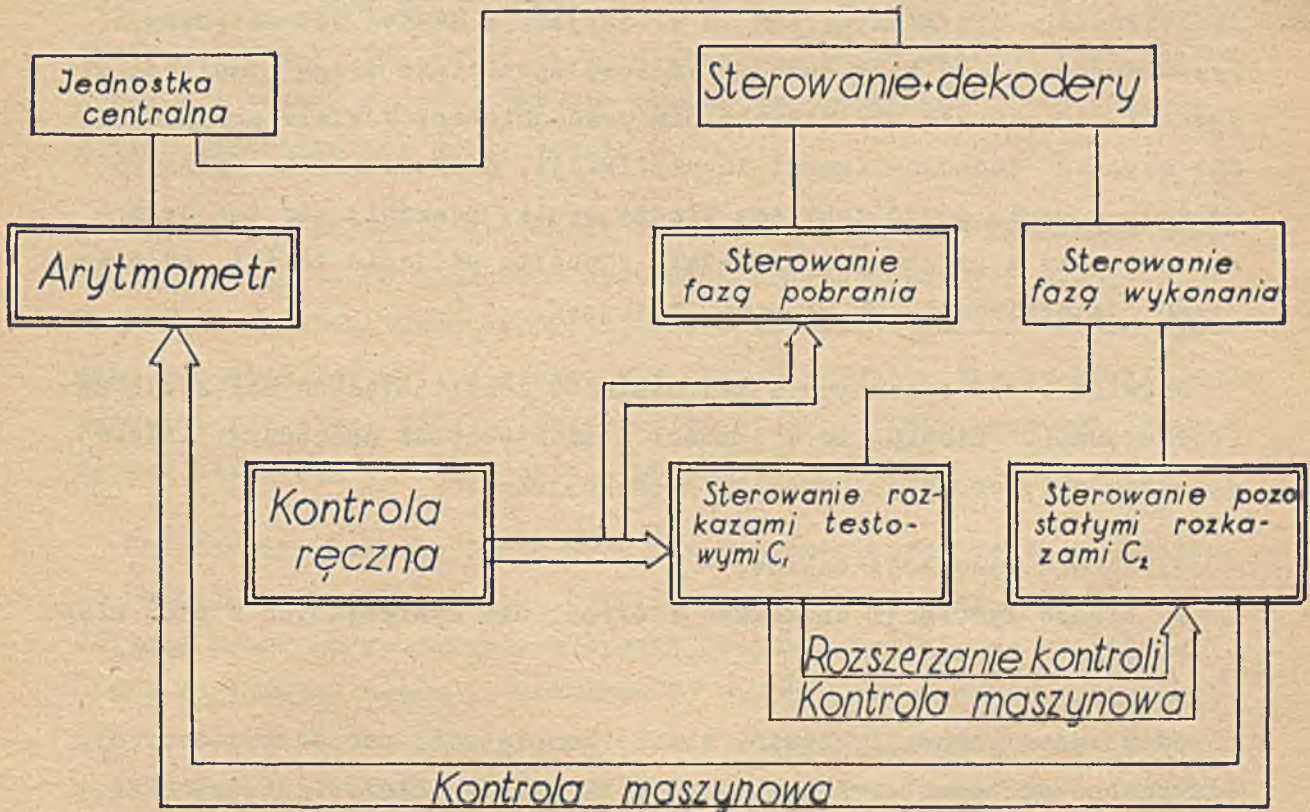
Pierwsze próby Manninga opierały się na technice "niezawodnego rdzenia" i zmierzały do sprawdzenia "hardware'u fazy wykonawczej" tzn. sieci rozkazowych. Wybrano trzy rozkazy maszyny pozwalające na wprowadzenie informacji, testowanie bitu i skok warunkowy. Układy realizujące te rozkazy sprawdzane były ręcznie przed przystąpieniem do kontroli maszynowej, następnie wprowadzano programowo sygnały przez rejestry "niezawodne" i sprawdzano odpowiedzi na nie w innych "niezawodnych" rejestrach". Próba ta nie zdała praktycznego egzaminu ze względu na konieczność wykonywania dużej liczby "ręcznych testów" i dużą liczbę wskaźników, które trzeba było dobudować.

Druga próba opierała się na kombinacji techniki rozszerzania kontroli /sznurowania/ i techniki wielu miękkich bloków^M. Po wstępnej kontroli ręcznej pewnego minimalnego zbioru rozkazów, zdolnego symulować wszystkie pozostałe operacje kontrola została rozszerzona maszynowo na cały zbiór rozkazów. Następnie zastosowano pewną modyfikację techniki wielu miękkich bloków według schematu pokazanego na rys. 2.

Zastosowana metoda miała trzy poważne wady:

1. Długotrwała kontrola ręczna C_1 oraz kontrola fazy, w której pobierany jest rozkaz. Poprawność działania rozkazów testowych wymaga sprawności sterowania fazą pobrania.
2. Wpływ błędów C_2 na C_1 . Wprawdzie Manning sprawdził doświadczalnie, że przy pewnym stanie początkowym C_2 - błędy C_2 nie psują testera C_1 , jednakże C_2 w trakcie kontroli zmienia stan i dlatego może być naruszone założenie o braku wpływu błędów.
3. Mała szybkość kontroli, wynikająca z ograniczenia listy rozkazów.

^M Podobną ideę zastosowano do realizacji systemu testów kontrolnych K-400, opracowanego w Instytucie Maszyn Matematycznych w roku 1967



Rys. 2. Schemat podziału na bloki /pódział ostateczny oznaczony podwójnymi blokami/ i kontroli jednostki centralnej w realizacji testów maszyny CSX-1 i systemie testów kontrolnych K-400

Przykładem realizacji prostej procedury lokalizującej może być system opracowany dla maszyny SPE w Strategic Air Command, opisany w 1962 r. przez Bashkova [1]. W tym przypadku testy pisano w oparciu o schematy logiczne i stosowano technikę rozszerzania kontroli. Sprawdzano poprawność wykonywania kolejnych mikrooperacji, przy czym kontrola rozszerzała się od rozkazów o najmniejszej liczbie mikrooperacji w kierunku rozkazów o większej ich liczbie. Idealem byłoby tutaj dobranie zbioru rozkazów, z których każdy różniłby się od następnego o jedną dodatkową mikrooperację. Ponadto zakładano uszkodzenia logiczne kolejnych elementów i przewidywano związane z tymi uszkodzeniami błędne wyniki. Przyporządkowanie uszkodzeń wynikom podawała tabela lokalizacyjna. Nie osiągnięto kompletności testów. Bashkow stwierdził, że programy diagnostyczne nigdy nie są naprawdę kompletne.

Taką samą metodę stosuje się w systemie testów lokalizujących L-141, zrealizowanym dla maszyny ZAM 41 w Instytucie Maszyn Matematycznych. Przewidywane błędy były tutaj częściowo sprawdzane drogą symulacji fizycznej, co okazało się niezmiernie pracochłonne. W wielu przypadkach nie uzyskano jednoznaczności identyfikacji, ponieważ kilka różnych uszkodzeń mogło dawać taki sam błędny wynik. Zdarzały się też uszkodzenia, przy których wynik zależał, z punktu widzenia logiki, od przypadku /determinowały go warunki fizyczne/.

Doświadczenia opisanych wyżej systemów lokalizujących pozwalają na sformułowanie wniosku, że o jakości i efektywności procedury testowej decydują dwie cechy jej procesu produkcyjnego:

1. sposób generacji testów,
2. sposób symulacji uszkodzeń i określania wynikających z nich błędów.

Od sposobu generacji testów zależy kompletność procedury testowej, zaś od sposobu symulacji uszkodzeń i określania błędów zależy czas produkcji i poprawność identyfikacji.

W najprostszych procedurach lokalizujących generuje się testy "ręcznie", a prawdopodobne błędy przewiduje się na podstawie schematów logicznych maszyny. Testy pisane "ręcznie" są jednak praktycznie zawsze niekompletne. Kompletność zapewnić może tylko automatyzacja procesu ich generacji. Automatyzacja taka jest możliwa pod warunkiem posiadania strukturalnego symulatora testowanych obwodów maszyny: obwodu maszyny sprawnej i wszystkich takich obwodów, w które mogą go przekształcić rozpatrywane uszkodzenia.

3. Diagnostyczny symulator struktury logicznej maszyny

Symulator logiki maszyny jest jej programowym modelem strukturalnym. Realizacja symulatora, którego flow-diagram odpowiadałby dokładnie połączeniom logicznych bloków maszyny nie jest jednak możliwa. Sieci maszyny wykonują bowiem obliczenia równoległe w czasie, natomiast sposób wykonywania programu narzuca sekwencyjny charakter symulacji.

Ta sekwencyjność symulacji dyktuje konieczność wprowadzania sztucznej synchronizacji programowej, co z kolei preferuje symulację sieci synchronicznych. Symulacja sieci asynchronicznych możliwa jest tylko przez aproksymację jej działania siecią synchroniczną o odpowiednio dużej częstotliwości programowej.

Uzyskanie fizycznej wierności symulatora jest więc problemem trudnym - rzutuje to na możliwość symulacji błędów zależnych od czasu. Aproksymacja sieci asynchronicznych w poważnym stopniu zwiększa wymaganą moc obliczeniową. Tak więc w praktyce prowadzi się symulację synchronicznych sieci maszyny drogą obliczeń wszystkich wartości logicznych w kolejnych jej węzłach i w kolejnych taktach.

Podstawowe bloki logiczne mogą być reprezentowane przez standardowe podprogramy zamknięte lub otwarte. Wektor wejściowy podawany na wejście programu reprezentuje sygnały pojawiające się na wejściach sieci logicznych maszyny, zależnie od wykonywanego rozkazu. Po zakończeniu obliczeń dla odpowiedniej ilości taktów otrzymuje się wektor wyjściowy odpowiadający sygnałom pojawiającym się w maszynie na wyjściach jej sieci logicznych. Postulat symulacji działania maszyny przy każdym możliwym uszkodzeniu logicznym, stwarza konieczność zapewnienia możliwości "wstrzykiwania" tych uszkodzeń do symulatora. Można to realizować przez nałożenie na wejście i wyjście każdego bloku logicznego filtrów dających możliwość "wygaszenia" lub dodania dowolnego bitu za pomocą operacji mnożenia i dodawania logicznego. Uszkodzenia mogą być wstrzykiwane na podstawie odpowiedniej ustalonej listy szablonów filtrujących.

Przy danych podprogramach symulacji podstawowych bloków logicznych, symulator może być generowany za pomocą odpowiedniego programu z tabeli połączeń maszyny. Koncepcja taka wymaga dużej mocy obliczeniowej do realizowania symulacji wszystkich możliwych błędów, i to tym większej, im bardziej strukturalny /zbliżony do fizycznej rzeczywistości/ jest model symulatora.

Istnieje jednak możliwość przyspieszenia pracy samego symulatora i skrócenia czasu obliczeń odpowiedzi sieci na sygnały wejściowe dla wszystkich możliwych jej uszkodzeń logicznych.

Pierwszą z nich daje obliczanie odpowiedzi poszczególnych bloków logicznych zanim zostaną poznane wszystkie sygnały na nie wchodzące, np. wynik iloczynu logicznego możemy podać już w chwili, gdy wiemy, że na jednym z jego wejść znajduje się "zero" logiczne, podobnie jedna jedynka na wejściu określa wynik sumy logicznej [7].

Drugą możliwość stwarza fakt, że dla reprezentacji sygnału w logice dwójkowej wystarcza jeden bit i że obliczenia logiczne są bezprzeniesieniowe. Można więc, stosując opisane wyżej "wstrzykiwanie uszkodzeń", prowadzić równoległe obliczenia dla różnych uszkodzeń na każdym bicie słowa maszynowego.

Dysponowanie symulatorem struktury logicznej maszyny pozwala na automatyzację obliczania błędnych wyników dla każdego zadanego uszkodzenia.

4. Teoretyczne metody diagnozy

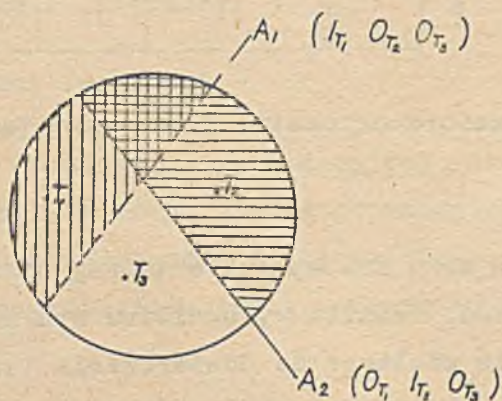
Automatyzację generacji testów, tj. automatyzację układania procedury testowej umożliwiły teoretyczne prace Eldred'a [4], który w 1959 roku nakreślił metodę testowania obwodu kombinacyjnego oraz prace Seshu i Freemana [9], którzy na podstawie prac Moore'a [6] podali procedurę testowania obwodu sekwencyjnego /1962/.

Dla automatu skończonego [6] ustalenie rodzaju uszkodzenia, któremu uległ, sprowadza się do rozpoznania, w jski element znanego z góry zbioru automatów przekształcił się automat pierwotny. Tak więc, jeśli w maszynie możliwych jest N uszkodzeń, rozpatrujemy zbiór $N+1$ automatów /wraz z maszyną dobrą/. Będziemy mówili o automatach w sensie Rabina-Scotta, tzn. o automatach decyzyjnych, które po przeczytaniu taśmy mogą ją akceptować /jeśli pozostają w stanie wyróżnionym/ lub nie /jeśli pozostają w którymś ze stanów pozostałych/.

Wprowadźmy relację równoważności taśm wejściowych względem automatu: Dwie taśmy są równoważne wtedy i tylko wtedy, jeśli albo obie są akceptowane, albo obie nieakceptowane przez dany automat. Jeśli dobierzemy taki zbiór taśm, że relacja taka przeprowadzi dla każdego z $N+1$ automatów inny podział tego zbioru i jeśli znamy wszystkie te podziały

/wiemy jakie taśmy każdy automat akceptuje/, to potrafimy przepuszczając tylko ten zbiór taśm i obserwując stany końcowe, określić, z którym spośród $N+1$ możliwych automatów mamy do czynienia.

Automaty decyzyjne narzucają podziały dychotomiczne. Możemy akceptację taśmy oznaczyć przez 1, nieakceptowanie przez 0. Konkatenacja wyników eksperymentu wyznaczać będzie numer identyfikowanego automatu /rys. 3/.

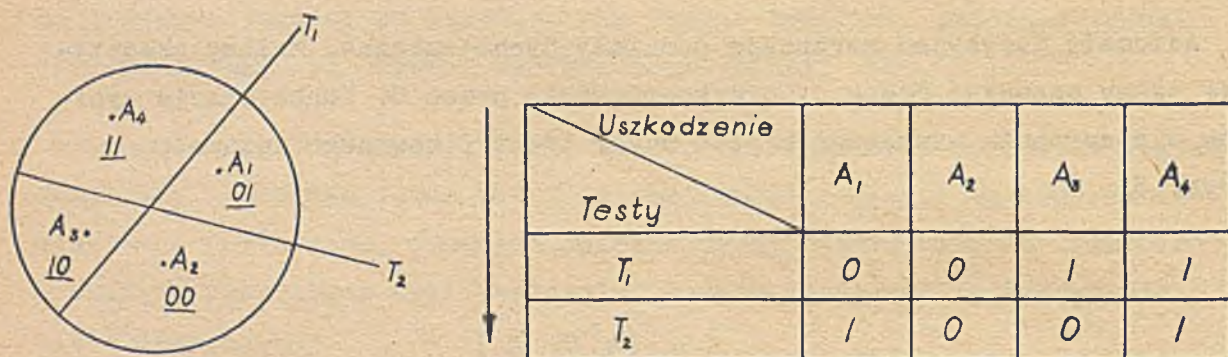


Rys. 3. Podziały zbioru taśm dla automatów A_1 i A_2 . T_k oznacza taśmę o numerze k , pola zakreskowane oznaczają akceptację taśm w tym polu. Przy symbolach automatów A_1 podano przyporządkowane im numery binarne

Z takiego podejścia wyrasta metoda tabeli diagnostycznej, którą zastosowano w realizacjach lokalizacji programowej dla maszyny radzieckiej M-2 [3] i amerykańskiego systemu No 1 ESS czyli No 1 Electronic Switching System [2]. Po uprzednim wypełnieniu tabeli diagnostycznej lokalizacja sprowadza się do przepuszczenia zbioru taśm /testów/ i określenia klasy równoważności, w której znajduje się badana maszyna /odszukania uszkodzenia w tabeli diagnostycznej/. Jeśli w każdej klasie jest tylko jeden element, potrafimy zlokalizować każde uszkodzenie /rys. 4/.

Metoda tabeli diagnostycznej jest nazywana również metodą kombinacyjną. Jej założenia odpowiadają dobrze wymaganiom samodiagnozy, ponieważ podejście takie nie wymaga testera, a zatem niepotrzebne są założenia co do początkowej sprawności badanej maszyny. Zbiór przepuszczanych

testów jest w tej metodzie zawsze stały, wnioski lokalizacyjne wyciąga się po zakończeniu procedury.



Rys. 4. Podział taśmami zbioru automatów i odpowiadająca mu tabela diagnostyczna

Praktyka doświadczeń z No 1 ESS wykazała szereg niedogodności przy realizowaniu takich założeń. Kwestia wydawnictwa wyników wymagała założenia sprawności aparatu zdolnego do dostarczenia tych wyników. Aparat ten musiał być coraz większy, gdyż wyniki procedury lokalizacyjnej stanowiły w postaci binarnej ciągi rzędu 5000 bitów, co praktycznie uniemożliwiało ich odszukanie w tabeli diagnostycznej i wymagało przetworzenia na ciąg liczb dziesiętnych. Na podstawie ciągów binarnych udało się doświadczalnie dobrać metodę generacji pseudolosowych dwunastocyfrowych liczb dziesiętnych i tymi liczbami posługiwano się w tabeli diagnostycznej.

No 1 ESS opracowany w Bell Telephone Laboratories stanowi elektryczny system przełączający, którego rdzeniem jest duża uniwersalna maszyna cyfrowa posiadająca kilka jednostek centralnych. Opracowana procedura diagnostyczna nie miała symulatora; testy pisane były "ręcznie", a symulacja uszkodzeń fizyczna. Z takiego rozwiązania wynikało kilka dodatkowych niedogodności, a mianowicie:

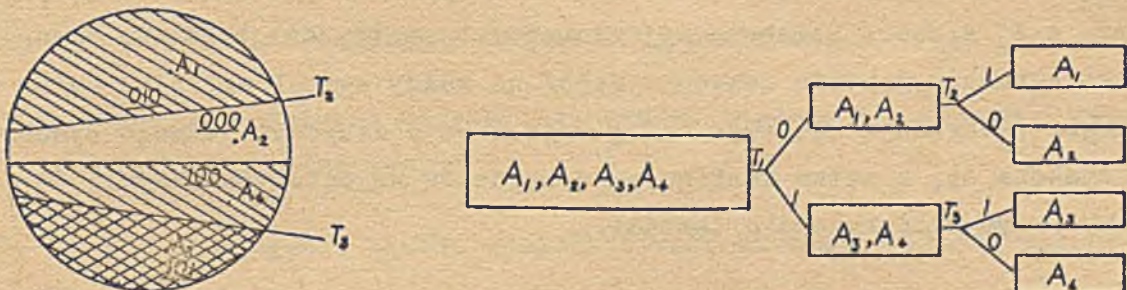
1. niekompletność testów,
2. trudność bieżącego ulepszania testów, ponieważ efektywność ich można było ocenić dopiero po zakończeniu całego procesu, kiedy wyciągało się wnioski lokalizacyjne,

3. realizacja procedury lokalizacyjnej następowała dopiero na zbudowanym systemie; nie można więc było dostosowywać jego organizacji do potrzeb diagnostycznych.

Poza wszystkimi wymienionymi niedogodnościami, realizacja ta napotykała na trudności wynikłe z niezachowania w praktyce wymagań, które z reguły przyjmuje się przy wszystkich procedurach diagnostycznych, a mianowicie:

1. trwałości uszkodzeń, a przynajmniej ich nieprzemijalności podczas stosowania procedury,
2. jednokrotności uszkodzeń.

Alternatywna w stosunku do kombinacyjnej metody testowania - sekwencyjna metoda testowania różni się od poprzedniej tym, że zbiór testów stosowanych do badania automatu nie jest stały, ale zmienia się w zależności od wyników kolejnych testów. Przykład metody sekwencyjnej podaje rys. 5.



Rys. 5. Podział zbioru automatów taśmami i "drzewko diagnostyczne" metody sekwencyjnej

W przypadku metody sekwencyjnej, zależnie od wyniku pierwszego testu można zastosować T_2 lub T_3 . Do identyfikacji automatu wystarczą dwa testy. Metoda kombinacyjna zawiera więc pewną redundancję, ponieważ wymaga stosowania np. T_2 , gdy mamy do czynienia z klasą A_3, A_4 , chociaż wynik T_2 nie wnosi w tym wypadku nowej informacji. Metoda sekwencyjna wymaga programu podejmującego decyzje wyboru kolejnych testów, a zatem wyodrębnienia w praktyce sprawnego testera.

Z punktu widzenia tak pojętej diagnozy możemy uściślić pojęcie kompletności zbioru testów.

Def. 10. Zbiór testów jest kompletny wtedy i tylko wtedy, gdy wyznacza taki podział zbioru rozróżnianych maszyn /zbioru uszkodzeń/, że liczność klasy tego podziału, zawierającej maszynę dobrą, równa jest 1.

Zauważmy, że diagnoza stanu jest szczególnym przypadkiem diagnozy uszkodzenia, kontrola jest procesem lokalizacji uszkodzenia trywialnego /braku uszkodzenia/.

Jeśli w rozpatrywanym zbiorze uszkodzeń znajduje się maszyna dobra, lokalizacja zawiera w sobie kontrolę. Stąd też określa się lokalizację ogólnym terminem "diagnoza" stosowanym wymienne z terminem "kontrola" używanym wyłącznie w tym przypadku, gdy chodzi o diagnozę stanu.

5. Diagnoza w obwodzie sekwencyjnym

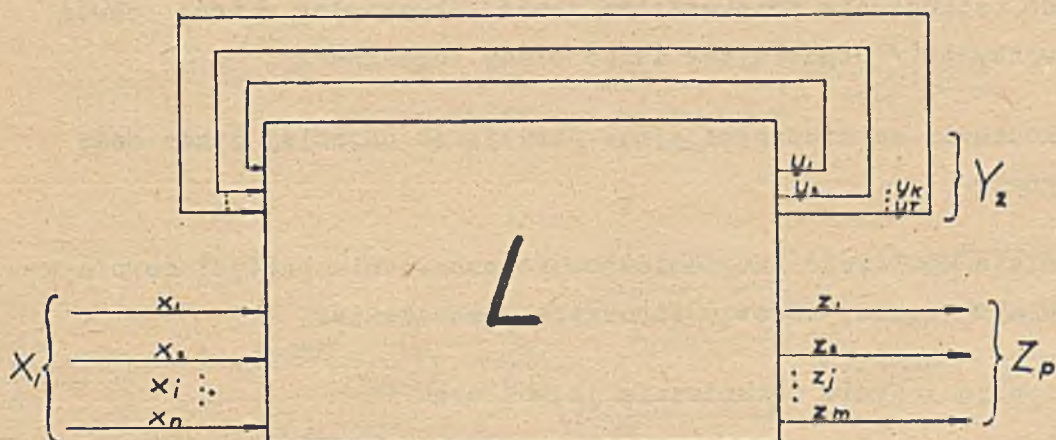
Obwód sekwencyjny uważamy za reprezentację jednotaśmowego automatu skończonego. Uporządkowane n -tki sygnałów wejściowych X kodują 2^n symboli alfabetu wejściowego, $l = 1 \dots 2^n$ /rys. 6/. Podobnie Y koduje stany, a Z_p symbole alfabetu wyjściowego. Rozpatrywać będziemy odpowiedzi automatu /obwodu sekwencyjnego/ na każdy symbol alfabetu wejściowego, interesują nas więc taśmy wejściowe o długości jednego symbolu. Symbole te, a zatem konfiguracje sygnałów wejściowych nazywać będziemy w tym eksperymencie testami.

Model eksperymentu jest synchroniczny, czego nie należy mylić z synchronicznym lub asynchronicznym modelem obwodu.

Rozpatrzmy teraz konkretny przykład doboru, według kryteriów podanych przez Seshu i Freemana [9], procedury testowania metodą sekwencyjną sekwencyjnego obwodu asynchronicznego.

Przygotowana uprzednio procedura posłuży do identyfikacji obwodu, w jaki przekształcił się skutek uszkodzenia obwód eksploatowany. Zakładamy, że w procesie testowania danego obwodu dysponujemy testerem, który może podawać sygnały na jego wejście, odbierać sygnały z wyjść i po-

dejmować decyzje co do następnych testów /sygnałów wejściowych/. Tester może również wypisywać wyniki kolejnych etapów.



Rys. 6. Obwód sekwencyjny

W tym przypadku zadanie polega na ustaleniu algorytmu przygotowania procedury testowej, tzn. wyznaczenia "drzewka diagnostycznego" i podania testów dokonujących podziału zbioru obwodów, w zakresie którego mamy przeprowadzić identyfikację.

Przyjmujemy asynchroniczny model obwodu, ponieważ:

1. Stwarza on możliwość użycia tego samego testera dla maszyn o różnych cyklach zegarowych.
2. Maszyny praktyczne rzadko spełniają warunki modelu synchronicznego.
3. Maszyna synchroniczna może w warunkach uszkodzenia stać się asynchroniczną.

Przyjęcie modelu asynchronicznego utrudnia jednak rozwiązanie problemu symulacji i narzuca dodatkowe ograniczenie w procesie układania procedury testowej. Dotyczy ono wariantu na kolejno stosowane testy /kombinacje wejściowe/: mogą one różnić się tylko na jednym bicie. Ograniczenie to nakłada się ze względu na problem wyścigów krytycznych, który jest związany z jednoczesną zmianą na wielu wejściach. Jest to problem natury fizycznej, a nie logicznej i wymaga specjalnego traktowania.

Zakładamy, że model nasz spełnia następujące założenia:

1. Klasa możliwych uszkodzeń jest znana i skończona.
2. Każde uszkodzenie przekształca obwód sekwencyjny w inny obwód sekwencyjny /rozpatrujemy tylko błędy logiczne/.
3. Uszkodzenia są nieprzemijające /trwają co najmniej przez czas diagnozy/.
4. Istnieje możliwość natychmiastowego ustawienia pamięci obwodu w dowolnym stanie, nawet w warunkach uszkodzenia.
5. Występują jedynie uszkodzenia jednokrotne.

Algorytm generacji procedury opiera się na następujących kryteriach:

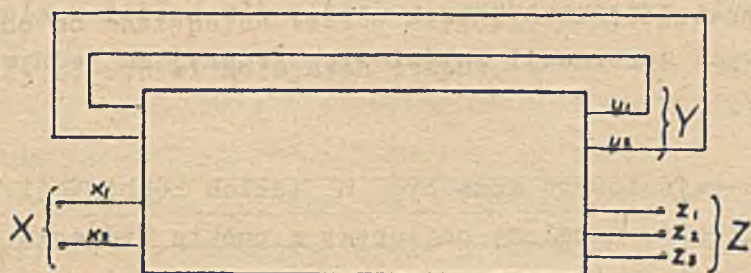
- a. Zmiana w kolejnych testach następuje tylko na jednym wejściu.
- b. Na każdym etapie procedury diagnozy wszystkie maszyny, do których dany test jest stosowany, muszą osiągać w odpowiedzi na ten test określony końcowy stan pamięci. /Testy nie powinny powodować wysigów/.
- c. Celem procedury jest detekcja lub identyfikacja.

Opierając się na podanych kryteriach rozpatrzmy przykład generacji testów dla obwodu sekwencyjnego o dwóch wejściach, trzech wyjściach i dwóch liniach sprzężenia zwrotnego /rys. 7/.

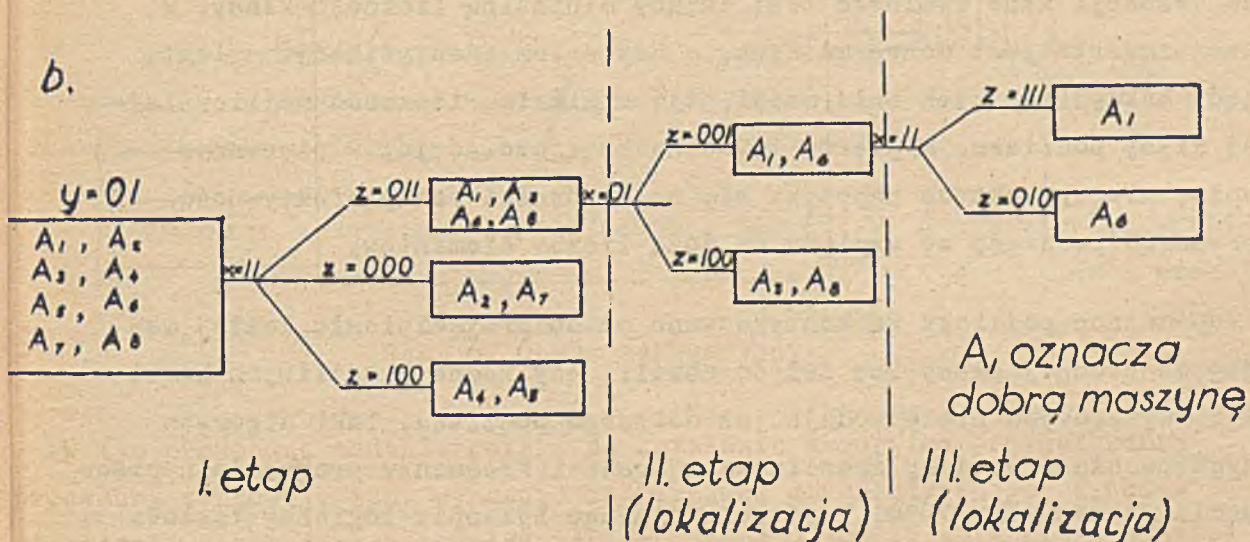
W tym przypadku pierwszym krokiem będzie wybór stanów początkowych obwodu i pierwszego testu. Optymalizacja tego problemu nie jest dotychczas teoretycznie opracowana i wyboru dokonuje się przypadkowo / $Y = 01$, $X = 11$ /.

Symulujemy kolejno wszystkie badane obwody /wszystkie uszkodzenia/ i badamy na ich wyjściach odpowiedzi na sygnał wejściowy 1 1 przy stanie pamięci 0 1. Zaliczamy do jednej klasy te maszyny, które dają w odpowiedzi taką samą wartość Z i Y.

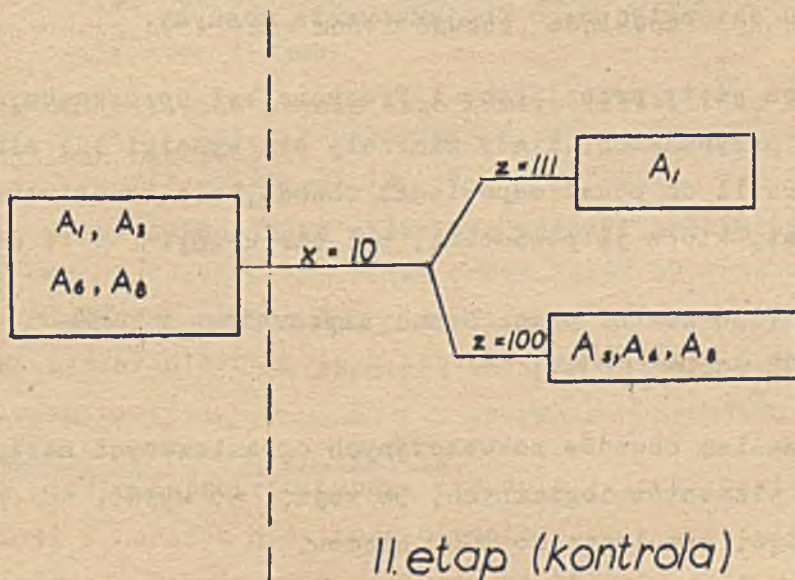
a.



b.



c.



Rys. 7. a. testowany obwód sekwencyjny, b. "drzewko diagnostyczne" przy zachowaniu kryterium identyfikacji, c. "drzewko diagnostyczne" przy zachowaniu kryterium detekcji

W drugim etapie przeprowadzamy podziały dla każdej z klas i dla każdej z możliwych kombinacji wejściowych /różnej na jednym wejściu od poprzedniej/.

Dla obwodu m -wejściowego może być m takich kombinacji. Wśród otrzymanych podziałów ustalamy najlepszy z punktu widzenia detekcji lub identyfikacji i wybieramy test wejściowy, który go narzuca. Kryterium detekcji każe wybierać test dający minimalną licznosc klasy, w której zawarta jest dobra maszyna, a kryterium identyfikacji - test, dający maksymalny zysk informacji, tj. minimalną licznosc najliczniejszej klasy podziału. Kryteria te można by stosować już w pierwszym etapie, ale w praktyce napotyka się na trudności oceny efektywności pierwszego podziału ze względu na dużą liczbę elementów.

Wspomniane podziały są kontynuowane aż do przydzielenia każdej maszyny do osobnej klasy lub też do chwili, gdy żadna z możliwych kombinacji wejściowych nie powoduje już dalszego podziału. Taki algorytm przygotowania procedury zrealizowali Seshu i Freeman w programie napisanym dla maszyny IBM 7090. Wejściem do niego był opis logiczny testowanej maszyny, wyjściem - procedura testowa. Opis logiczny sporządzał program Extractor 7090, posługując się danymi zawartymi na taśmach magnetycznych systemu automatycznego projektowania maszyny.

Model symulatora użyty przez Seshu i Freemana był uproszczonym modelem Huffmana. W przypadkach, kiedy zdarzały się wyścigi lub niestabilność - nie potrafił on podać odpowiedzi obwodu, ale komunikował o tej sytuacji i test, które je powodował, był odrzucany.

Program na IBM 7090 został przez Seshu usprawniony w 1964 r. i napisany na maszynę CDC -1604 [8].

Umożliwia on analizę obwodów sekwencyjnych ograniczonych następującymi danymi: 300 elementów logicznych, 96 wejść, 96 wyjść, 48 pętli sprzężenia zwrotnego, symulacja do 1000 błędów.

Program ten posiada wejście, wyjście i bibliotekę na taśmach magnetycznych i zajmuje około 10 000 rozkazów.

6. Zakończenie

Dotychczas nie opracowano systematycznych procedur samodiagnozy, odnotować można zaledwie pierwsze prace w tym zakresie. Wielu autorów, idąc za Seshu stwierdza, iż "stan samodiagnozy jest w obecnej chwili tak prymitywny, że nie rozumiemy nawet problemów, które stawia przed nami pragnienie uczynienia maszyny "samodiagnozowalną".

Dotychczasowe realizacje praktyczne wykazują wiele niedociągnięć, głównie ze względu na nierozwiązany problem błędów nietrwałych i konieczność wyodrębnienia testera w maszynie badanej.

Pierwszy z tych problemów obchodzi się dzięki przyspieszeniu przebiegu testów lokalizujących przez przechowywanie ich w pamięci stałej i włączania ich w akcję w razie potrzeby. Środki programowe wspomagają się środkami technicznymi, projektując sieci logiczne tak, aby istniała możliwość automatycznego ich przetestowania poza normalnym obiegiem sygnałów. Wejście i wyjście obwodów testujących umieszcza się przy tym tak, aby uzyskać maksymalnie proste /kombinacyjna/ obwody między nimi.

Przygotowanie procedury testowej wymaga jednak w każdym wypadku poważnego aparatu programowego, którego sedno stanowi symulator logiki maszyny i generator testów.

Podsumowując wnioski wypływające z omówionych wyżej zagadnień stwierdzić należy także, że tak jak diagnostyka wymaga do osiągnięcia efektywnej lokalizacji wsparcia przez środki układowe, tak efektywna kontrola musi być uzupełniona przez testy programowe. O ile bowiem układowa kontrola przesłań i pamięci może być zrealizowana /dla błędów jednokrotnych/ za pomocą prostych układów badania parzystości, to konieczna w zakresie sterowania i arytmometru rozbudowa układów kontrolnych może okazać się nieopłacalna.

Literatura

- [1] BASHKOW T.R., FRICKS J. and KARSON A.: A Programming System for Detection and Diagnosis of Machine Malfunctions, IEEE Trans. on EC, vol. EC-12, pp. 10-17, February 1963.

- [2] CHANG H.Y., THOMIS W.: Methods of Interpreting Diagnostic Data for Locating Faults in Digital Machines. The Bell Syst. Techn. Journal, No 2, February 1967, pp. 289-317.
- [3] Diagnostika nieisprawnostiej wycislitelnych masin. Praca zbiorowa, Izdatielstvo Nauka, Moskwa 1965.
- [4] ELDRED R.D.: Test Routines Based on Symbolic Logic Statements. J. ACM, vol. 6, pp. 33-36, January 1959.
- [5] MANNING E.G.: Self-Diagnosis of Electronic Computers. An Experimental Study. IEEE Trans. on EC, Dec. 1966.
- [6] MOORE E.F.: Gedanken Experiments on Sequential Machines. Automata Studies. Princeton, N.J.: Princeton University Press 1956, pp. 129-153.
- [7] ROMANIUK W.: Symulacja za pomocą maszyny cyfrowej synchronicznych obwodów sekwencyjnych i modelowanie uszkodzeń elementów logicznych w tych obwodach. Arch. Aut. i Tele. tom XIV, zeszyt 3, 1969.
- [8] SESHU S.: On an Improved Diagnostic Program. IEEE Trans. on EC, Febr. 1965, pp. 76-79.
- [9] SESHU S., FREEMAN D.N.: The Diagnosis of Asynchronous Sequential Switching Systems. IEEE Trans. on EC, pp. 459-465, Aug. 1962.

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

621.382.2/.3-181:681.327.6

PAMIĘCI PÓLPRZEWODNIKOWE

1. Wstęp

Jeszcze kilka lat temu tranzystory i oparty na nich układ bistabilny, zwany przerzutnikiem, nie stanowiły jako nośnik informacji przedmiotu szczególnego zainteresowania konstruktorów pamięci maszyn matematycznych. Mimo licznych zalet, jak na przykład niskie napięcie i mała moc zasilania, odporność na wstrząsy i duża trwałość, nie nadawały się one do budowy bloków pamięci o wielkich pojemnościach. Zapewniały wprawdzie uzyskanie dużych szybkości porównywalnych z szybkością układów logicznych maszyny, jednakże pociągały za sobą znaczne zwiększenie objętości pamięci, na skutek zbyt dużych wymiarów przerzutnika oraz wzrost kosztów pamięci w porównaniu z innymi rodzajami nośników.

Ogromny skok jakościowy w dziedzinie zmniejszania układów elektronicznych, spowodowany wprowadzeniem techniki układów scalonych, wpłynął na szersze zastosowanie techniki półprzewodnikowej w pamięciach EMC. Zwiększyła się znacznie gęstość upakowania półprzewodnikowych komórek w płacie, a fakt, że cały płat wraz z układami logicznymi jest wykonywany jako jednolita struktura, w której wszystkie elementy są związane konstrukcyjnie /w odróżnieniu od dyskretniej struktury tranzystorowej/, uczynił ten nośnik atrakcyjnym nie tylko do budowy pamięci małych /superszybkich/, lecz także pamięci o średniej pojemności, a nawet pamięci dużych. Zapowiedź szybkiego rozwoju tych konstrukcji niesie technika wielkiej integracji /large scale integration/.

2. Zarys technologii półprzewodnikowych układów scalonych

2.1. P r o c e s y c z ą s t k o w e

Technika półprzewodnikowych układów scalonych polega na wytwarzaniu w jednym cyklu produkcyjnym na monokrystalicznym podłożu krzemowym dużych układów elektronicznych, których składowymi są zarówno elementy czynne /tranzystory, diody/, jak i bierne /oporniki, kondensatory/. W cyklu tym można wyróżnić następujące procesy cząstkowe: przygotowanie podłoża krzemowego, epitaksja, utlenianie, przygotowanie fotomasek, fotolitografia, dyfuzja, metalizacja. Za wyjątkiem przygotowania podłoża, która to czynność występuje na początku każdego cyklu, kolejność i częstość stosowania pozostałych procesów zależne są od rodzaju powstającego układu. Procesy te przedstawimy tutaj w zarysie, odsyłając Czytelnika zainteresowanego szczegółami do obszernej literatury na ten temat, m.in. [2], [6],[10].

Przygotowanie podłoża rozpoczyna się od pocięcia monokrystalicznego pręta krzemowego na plasterki o grubości ok. 0,5 mm, których powierzchnię poddaje się następnie precyzyjnej obróbce gładkościowej, bądź to na drodze mechanicznego polerowania pastami diamentowymi, bądź też przez trawienie. W wyniku tych zabiegów uzyskuje się płytki o grubości 0,15 mm i chropowatości powierzchni ok. 200 Å.

Po dokładnym oczyszczeniu płytki osadza się na niej cienką monokrystaliczną warstwę krzemu o innym oporze właściwym niż opór podłoża. Proces ten nazywa się nakładaniem epitaksjalnym, a najbardziej powszechną metodą jego realizacji jest tzw. metoda chlorkowa. Polega ona na termicznym rozkładzie czterochlorku krzemu według wzoru



Efektom redukcji czterochlorku krzemu są atomy czystego krzemu osadzające się na podłożu umieszczonym w temperaturze 1200°C i kształtujące strukturę monokrystaliczną. Dla uniknięcia defektów proces epitaksjalny w tworzącej się strukturze musi przebiegać w warunkach nadzwyczajnej czystości i stałości parametrów, np. temperatury.

Z kolei następuje utlenianie powierzchni warstwy, otrzymanej powyższym sposobem. Odbywa się to w piecu o temperaturze 900-1200°C w atmo-

sferze suchego tlenu O_2 lub pary wodnej. Rodzaj atmosfery decyduje o szybkości narastania warstwy SiO_2 . Na przykład, w temperaturze $1000^\circ C$ warstwa ta w atmosferze tlenu osiągnie w ciągu 15 min. grubość ok. 350 \AA , natomiast w atmosferze pary wodnej dochodzi do 2200 \AA . Utlenianie przerywa się, gdy warstwa dwutlenku krzemu osiągnie grubość ok. $0,5 \mu m$, co w wystarczającym stopniu zabezpiecza znajdującą się pod nią monokrystaliczną warstwę krzemu przed niepożądaną dyfuzją domieszek.

Domieszki akceptorowe lub donorowe mogą dyfundować do wnętrza warstwy krzemu tylko w miejscach ściśle określonych przez projektanta układu. W tym celu, stosując technikę fotolitograficzną, wykonuje się otwory w zabezpieczającej warstwie SiO_2 . Można tutaj wyróżnić następujące operacje:

- . pokrycie utlenionej płytki krzemu emulsją światłoczułą,
- . nałożenie na płytkę fotomaski przedstawiającej obraz układu, który ma być tworzony poprzez dyfuzję domieszek,
- . naświetlenie emulsji światłem ultrafioletowym, wywołanie obrazu fotomaski, usunięcie emulsji z miejsc nie naświetlonych, utrwalenie emulsji pozostałej,
- . wytrawienie okienek w warstwie SiO_2 w miejscach pozbawionych emulsji,
- . usunięcie emulsji i oczyszczenie płytki.

Wykonanie złożonego układu elektronicznego na płycie krzemowej wymaga przeprowadzenia kilku dyfuzji. W trakcie każdej takiej dyfuzji należy wykonać okienka według innego wzoru, odpowiednio dokładnie usytuowanego w stosunku do wzorów poprzednich. Dopasowanie takie umożliwiają specjalne znaczniki znajdujące się na kolejnych fotomaskach.

Mimo znacznej prostoty i szerokiego rozpowszechnienia technika fotolitografii nie jest techniką perspektywiczną, ponieważ posiada zbyt małą zdolność rozdzielczą, uniemożliwiającą wykonywanie bardzo małych elementów. Pozwala ona na uzyskiwanie kilkumikronowych odległości są-

siednich krawędzi z dokładnością ok. $1 \mu\text{m}$, podczas gdy dla układów subminiaturowych wymaga się dokładności o rząd większej. Wydaje się, że w tej dziedzinie zastąpi ją strumień z działła elektronowego, którego zdolność rozdzielcza dochodzi do $0,1 \mu\text{m}$.

Dyfuzja pierwiastków domieszkowych do wnętrza warstwy krzemowej w miejscach odsłoniętych wyżej omówioną techniką ma na celu wytworzenie tam warstwy o określonym rodzaju przewodnictwa. I tak domieszki akceptorowe /np. atomy boru/ decydują o przewodnictwie dziurowym, a domieszki donorowe /np. atomy fosforu/ o przewodnictwie elektronowym. W pierwszym wypadku półprzewodnik nazywany jest półprzewodnikiem dziurowym lub typu p, w drugim wypadku półprzewodnikiem elektronowym lub typu n. Dyfuzja domieszek polega na doprowadzeniu par odpowiedniego pierwiastka lub związku tego pierwiastka do komory, w której znajduje się ogrzana do temperatury ok. 900°C płytką krzemową. Głębokość wnikania domieszek w warstwę krzemu zależy zarówno od temperatury, jak i czasu trwania dyfuzji. Po zakończeniu tego procesu płytkę powoli stygnie w atmosferze tlenu lub przegrzanej pary wodnej, co powoduje utlenianie się tych powierzchni, przez które odbywała się dyfuzja. Jest to przygotowanie płytki do wytrawienia w niej nowego wzoru i dokonania następnej dyfuzji.

Po zakończeniu wszystkich procesów mających na celu wytworzenie elementów układu wykonuje się metaliczne połączenia między poszczególnymi elementami. Są one naporowywane w próżni na powierzchni warstwy SiO_2 , zabezpieczającej układ, przy czym najczęściej używanym metalem jest aluminium. Metal ten pozwala na łatwe wykonanie nie prostujących stopowych złącz z krzemem, a ponadto ma dobre właściwości elektryczne i metalurgiczne. Miejsca na warstwie krzemowej, do których mają być doprowadzone ścieżki łączące, odsłania się za pomocą techniki fotolito-graficznej. Następnie na całą powierzchnię płytki, umieszczonej w temperaturze 400°C , naporowuje się warstwę aluminium o grubości ok. $0,5 \mu\text{m}$. Po ostudzeniu pokrywa się tę warstwę emulsją światłoczułą, którą naświetla się przez fotomaszkę, zawierającą wzór połączeń układu. Po wywołaniu i utrwaleniu emulsji wytrawia się aluminium z obszarów nie zabezpieczonych. Ostatnią czynnością jest podgrzanie płytki do temperatury 576°C , przy której powstaje eutektyczny stop aluminium i krzemu, dający połączenie wysokiej jakości.

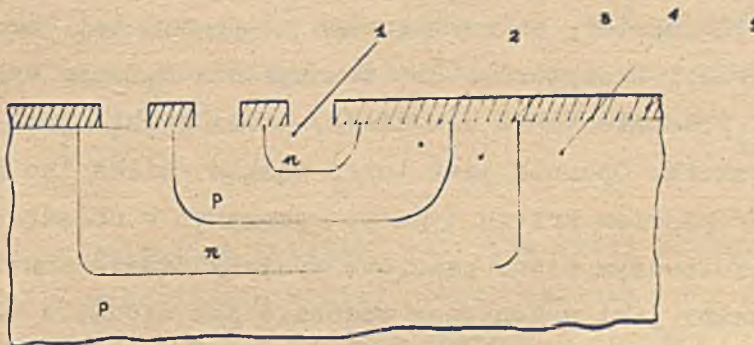
Omówione powyżej procesy cząstkowe składają się - wszystkie lub niektóre z nich - na technologii dwóch rodzajów układów monolitycznych:

- . z elementami typu p-n-p i n-p-n /tzw. układy bipolarne/,
- . z elementami z kanałem typu p lub n /tzw. układy unipolarne/.

2.2. Technologia wytwarzania elementów typu p-n-p i n-p-n

Jak wiemy technologia monolitycznych układów scalonych polega na równoczesnym wytwarzaniu dużej liczby /kilkaset/ jednakowych układów półprzewodnikowych na wspólnym podłożu krzemowym. Ponieważ podłoże to jest czynne elektrycznie i przewodzi prąd, wzajemne odizolowanie poszczególnych elementów układu półprzewodnikowego osiąga się m.in. na drodze elektrycznej przez wytworzenie złącza p-n spolaryzowanego zaporowo. Omówimy to na przykładzie tranzystora.

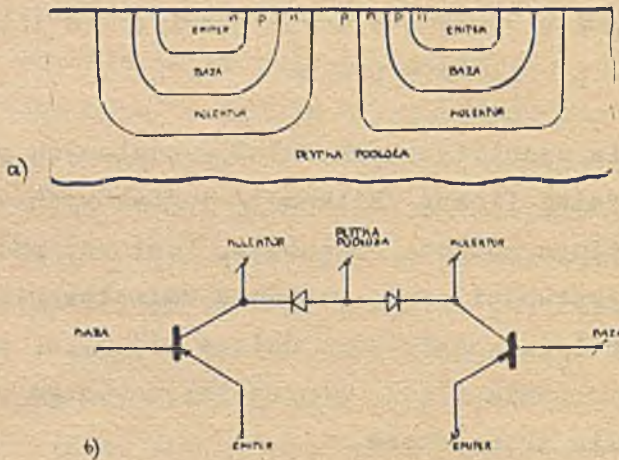
Tranzystor w układzie monolitycznym różni się od swego poprzednika wykonanego techniką konwencjonalną. Występują tutaj trzy złącza i cztery warstwy półprzewodnikowe, przy czym warstwa podłoża jest wspólna dla wszystkich elementów układu. Przekrój takiego tranzystora pokazano na rys. 1. Złącze p-n utworzone przez obszar kolektora tranzystora i podłoże przedstawia diodę, która znajdując się w stanie zaporowym, izoluje tranzystor od innych części układu. Izolację diodową w przypadku



Rys. 1. Przekrój tranzystora

1 - obszar emitera, 2 - obszar bazy, 3 - obszar kolektora, 4 - płytka podłoża, 5 - warstwa SiO₂

dwóch tranzystorów ilustruje rys. 2. Na rysunku /a/ pokazano przekrój układu monolitycznego, a na rysunku /b/ jego równoważny schemat elektryczny. Gdy potencjał podłoża jest niższy niż potencjały kolektorów tranzystorów, wówczas występują duże oporności wsteczne diod, które odizolowują tranzystory od siebie.

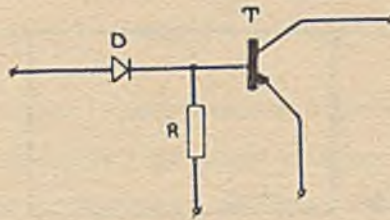


Rys. 2. Przekrój fragmentu układu monolitycznego ze złączową izolacją poszczególnych tranzystorów

Z tym rodzajem izolacji związane są znaczne pojemności złącza p-n, dlatego też, mimo jej powszechnego stosowania w układach monolitycznych, intensywnie rozwija się także inne techniki izolacji.

Wszystkie elementy układu scalonego, a więc tranzystory, diody, oporniki i kondensatory są realizowane za pomocą tej samej techniki dyfuzji donorów i akceptorów. Dla tranzystora dyfuzję wykonuje się trzykrotnie, podobnie jak i dla diody, która zwykle jest jednym ze złącz tranzystora. Opornik jest tutaj wąskim /kilka lub kilkudziesięciu mikronów/ paskiem krzemu typu p, wykonanym w obszarze n /lub przeciwnie/, odizolowanym przez zaporowe spolaryzowanie powstałego złącza p-n. Kondensator jest wykonywany podobnie jak dioda, a tworzy go pojemność spolaryzowanego zaporowo złącza p-n.

Na przykładzie prostego układu, składającego się z tranzystora T, diody D i opornika R /rys. 3/, prześledzimy proces powstawania układu scalonego. Kolejne fazy tego procesu przedstawiono na rys. 4a.

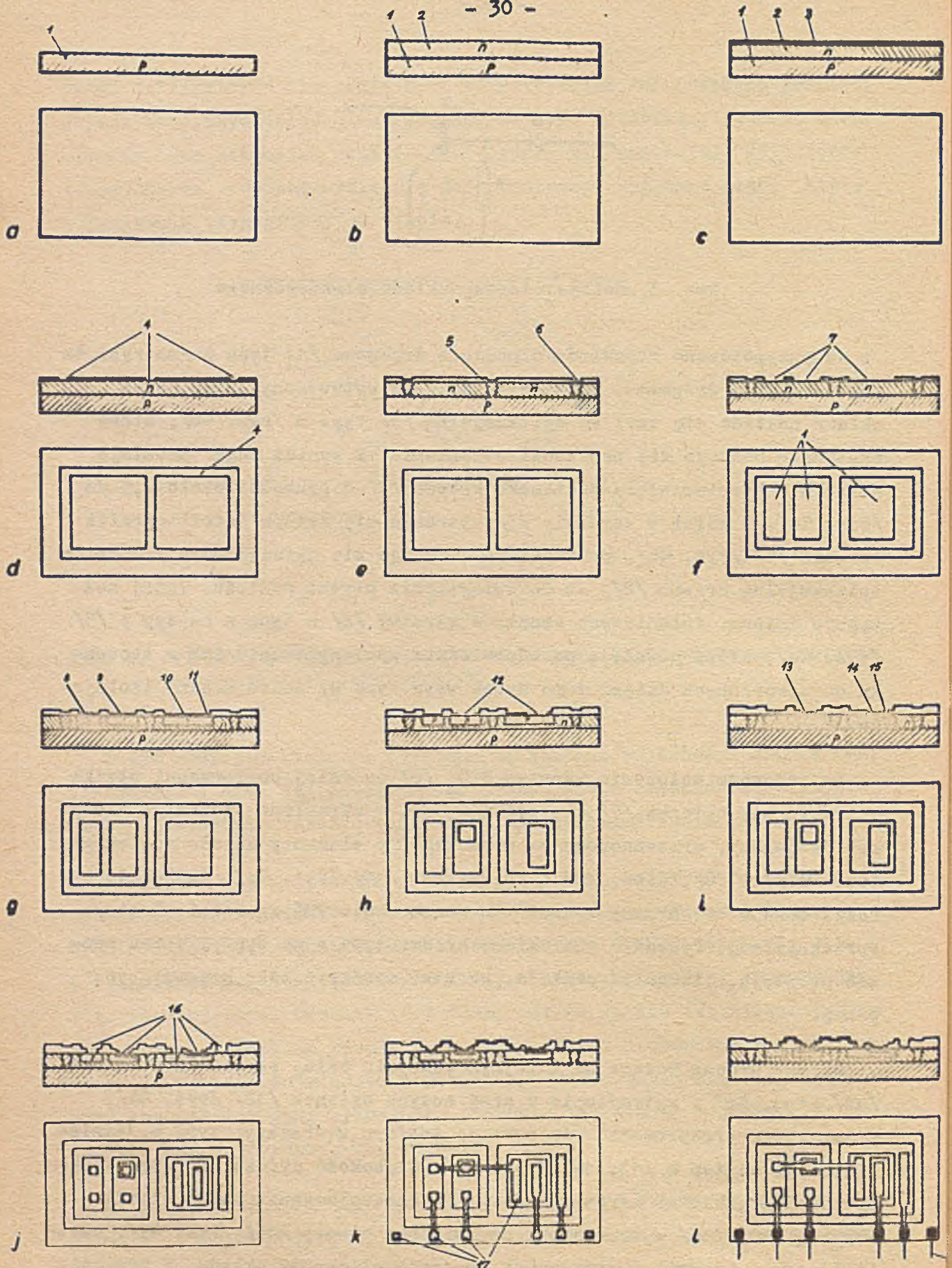


Rys. 3. Schemat ideowy układu elektrycznego

Na przygotowane odpowiednio podłoże krzemowe /1/ typu p /na rys. 4a pokazano jego fragment, na którym zostanie wytworzony tylko jeden układ/ nakłada się warstwę epitaksjalną /2/ typu n /rys. 4b/, którą następnie poddaje się procesowi utleniania. W wyniku tego powstaje warstwa zabezpieczająca dwutlenku krzemu /3/ o grubości około $0,5 \mu\text{m}$ /rys. 4c/. Z kolei w warstwie /3/ wytrawia się metodą fotolitografii okienka /4/ /rys. 4d/, przez które dokonuje się dyfuzji boru w warstwę epitaksjalną krzemu /2/, aż do osiągnięcia płytki podłoża. Tutaj następuje zmiana odsłoniętych obszarów warstwy /2/ z typu n na typ p /5/ /rys. 4e/, które później, po odpowiednim spolaryzowaniu ich w stosunku do utworzonych dzięki temu dwóch wysp typu n, dadzą złącze izolujące.

Po ponownym nałożeniu warstwy SiO_2 /6/ na całej powierzchni płytki wytrawia się okienka /7/ dla dyfuzji boru w określone obszary warstwy epitaksjalnej, przeznaczone na poszczególne elementy układu scalonego, tzn. opornik /8/, diodę /9/ i tranzystor /10/ /rys. 4g/. Głębokość dyfuzji boru w te obszary wynosi tym razem około 70% grubości warstwy epitaksjalnej. Powoduje ona zmianę krzemu typu n na typ p. W ten sposób powstają, licząc od podłoża, warstwy monokryształu krzemu typu p-n-p.

Dalszy proces polega na kolejnym pokryciu całej płytki warstwą SiO_2 /11/ /rys. 4g/ i wytrawieniu w niej nowych okienek /12/ /rys. 4h/, przez które przeprowadza się dyfuzję fosforu w obszary typu p, zamieniając je na typ n /13, 14/ /rys. 4i/. Głębokość dyfuzji fosforu dochodzi do 50% grubości warstwy typu p. Po zabezpieczeniu całej płytki warstwą SiO_2 /15/ wytrawia się odpowiednie otwory /16/ /rys. 4j/, umożliwiające wykonanie metalicznych połączeń elementów układu. W tym celu



Rys. 4. Ilustracja poszczególnych operacji procesu technologicznego /Rysunek wykonano w ZEC IMM/

napyla się aluminium na całą powierzchnię płytki, a następnie wytrawia w nim obszary znajdujące się między połączeniami /17/ /rys. 4k/.

Kolejną czynnością jest sprawdzenie poprawności działania wszystkich wykonanych na płytce układów, po czym odbywa się cięcie płytki na małe fragmenty, zawierające pojedyncze układy. Układy te umieszcza się na podstawie i wykonuje się przewodowe połączenia zewnętrzne /18/ /rys. 4l/. Hermetyczne zamknięcie obudowy jest ostatnią fazą procesu wytwarzania układu scalonego.

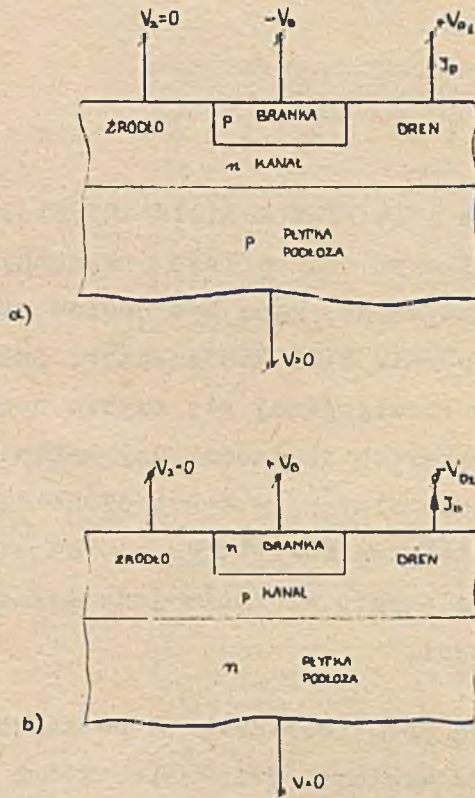
2.3. T e c h n o l o g i a u k ł a d ó w u n i p o l a r n y c h

Tranzystor z efektem pola /FET - field effect transistor/ okazał się przyrządem półprzewodnikowym szczególnie przydatnym do realizacji monolitycznych układów scalonych, może być bowiem stosowany jako element wzmacniający, dioda, opornik bądź kondensator. Znany od roku 1952, nie znalazł zastosowania w rozwijającej się szybko technice półprzewodnikowej z powodu daleko większych trudności uzyskania odpowiedniego rozkładu domieszek niż to miało miejsce w konwencjonalnych tranzystorach złączowych. Można powiedzieć, że odkryto go po raz wtóry w roku 1962, dostarczając jego cenne, z punktu widzenia jednorodności technologii układu scalonego, właściwości.

Tranzystor z efektem pola różni się od powszechnie stosowanych tranzystorów złączowych pod względem działania, które polega na przepływie nośników tylko jednej polarności. Stąd ma on również nazwę "tranzystora unipolarnego".

Wyróżnia się tranzystory unipolarne z kanałem typu p lub n, w zależności od tego, czy nośnikiem większościowym są tzw. "dziury", czy elektrony, co związane jest z kolejnością występowania odpowiednich warstw monokrystalicznych w strukturze tranzystora. Schematycznie przekroje tranzystorów obu typów przedstawiono na rys. 5. Na pierwszy rzut oka są one z wyglądu podobne do przekrojów tranzystorów bipolarnych. Różnią się jednak kierunkiem przepływu prądu, który w tranzystorach unipolarnych jest równoległy, natomiast w bipolarnych jest prostopadły do złącz. Natężenie prądu zależy tutaj od modulacji przewodności kana-

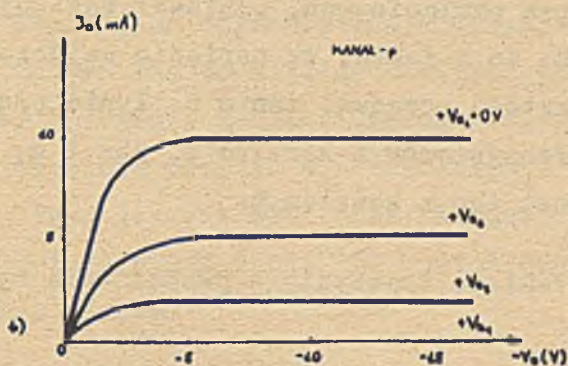
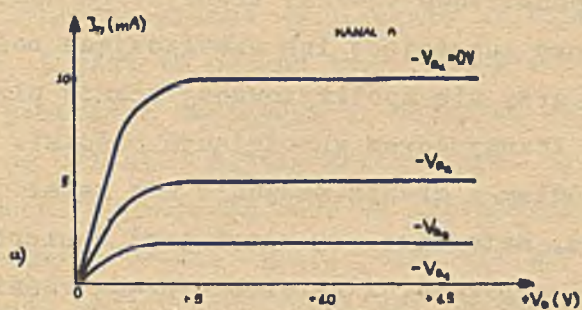
lu pomiędzy źródłem a drenem /nazywanym też odpływem/. Typowe charakterystyki prądu drenu dla obu typów tranzystora unipolarnego podano na rys. 6a, b. Maksymalny prąd drenu płynie wówczas, gdy bramka nie jest spolaryzowana, i maleje, gdy bezwzględna wartość napięcia przyłożonego do bramki rośnie. Jest to spowodowane zubożaniem nośników większościowych w obszarze kanału.



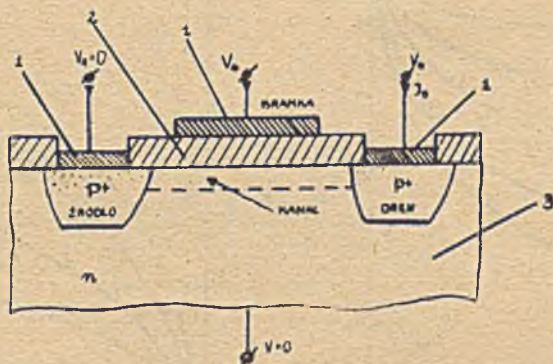
Rys. 5. Przekrój tranzystorów z wdyfundowaną bramką i pojedynczą warstwą epitaksjalną

a - z kanałem typu n, b - z kanałem typu p

W ostatnich latach coraz większego znaczenia w technologii monolitycznych układów scalonych nabiera tranzystor unipolarny z izolowaną bramką, zwany tranzystorem typu MOS /metal-oxide-semiconductor/. Pole elektryczne steruje tutaj przewodnością kanału nie poprzez złącze p-n, a przez warstwę izolacyjną, jak to przedstawiono na rys. 7, dlatego też oporność wejściowa tranzystora MOS jest bardzo duża /ok. $10^{18} \Omega$ /.



Rys. 6. Charakterystyki tranzystorów z wdyfundowaną branką
 a - z kanałem typu n, b - z kanałem typu p

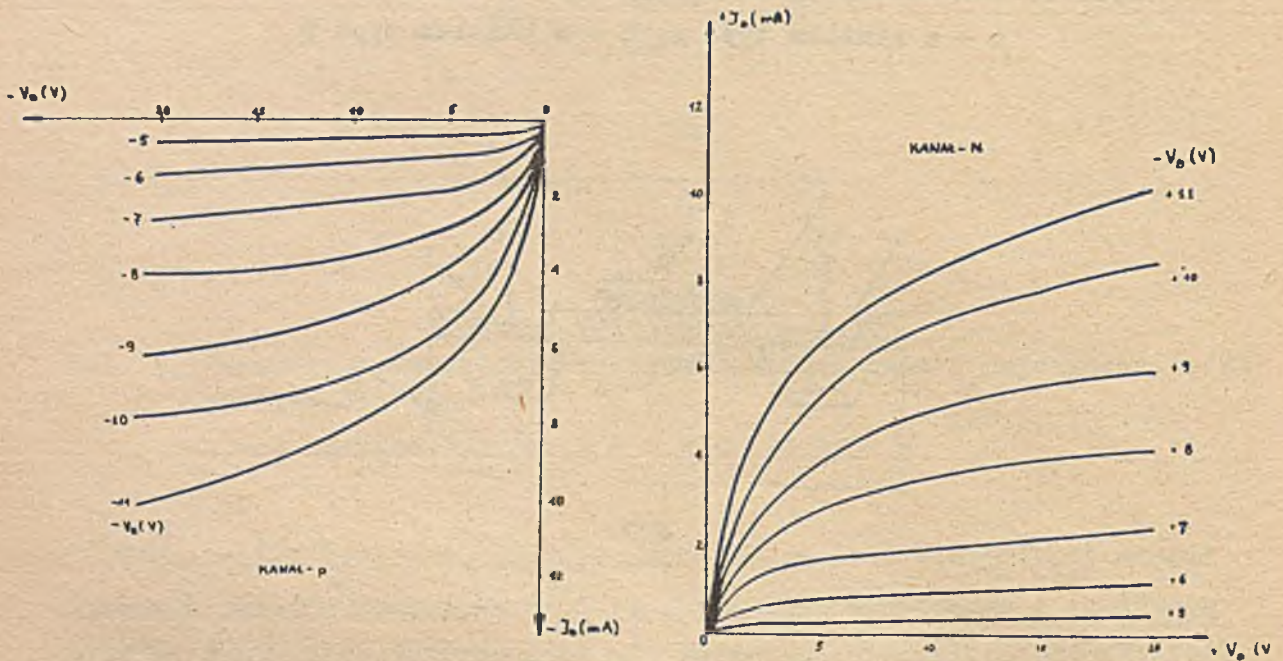


Rys. 7. Przekrój tranzystora z izolowaną branką

- 1 - metal /aluminium/, 2 - warstwa izolująca SiO_2 ,
- 3 - płytka podłoża

Istnieją cztery podstawowe odmiany tranzystora MOS: z kanałem typu p lub n oraz tranzystory zubożające lub wzbogacające nośniki większościowe w kanale. Jeżeli przy nie spolaryzowanej bramce płynie prąd w kanale, mamy do czynienia z tranzystorem zubożającym nośniki. Występuje to wówczas, gdy między źródłem a drenem znajduje się kanał dyfundowany lub nałożony epitaksjalnie. Natomiast gdy kanał jest dopiero formowany przez przyłożone do bramki napięcie, a natężenie prądu rośnie wraz ze wzrostem tego napięcia, mówimy, że tranzystor należy do typu wzbogacającego nośniki. Ten ostatni typ jest szczególnie atrakcyjny dla układów cyfrowych, a więc i komórek pamięciowych, ponieważ wykazuje dużą odporność na zakłócenia. Wynika to z faktu, że napięcie wejściowe bramki V_B musi przekroczyć pewną wartość progową, zanim popłynie prąd drenu I_D . Odnosi się to zarówno do tranzystorów z kanałem p, jak i n, jednakże bardziej rozpowszechnionym jest typ z kanałem p.

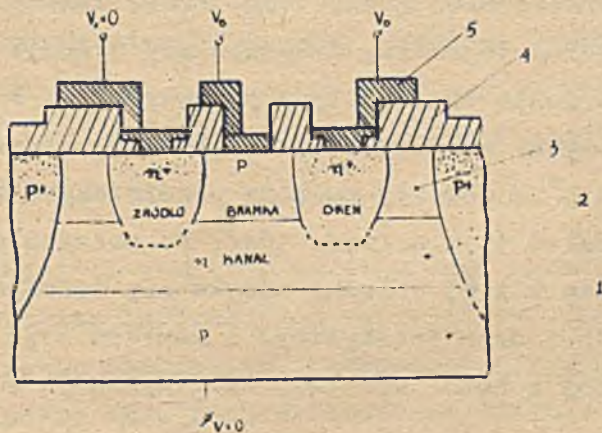
Charakterystyki takiego tranzystora przedstawia rys. 8a, b.



Rys. 8. Charakterystyki tranzystorów z izolowaną bramką
a - z kanałem typu p, b - z kanałem typu n

Omówimy teraz pokrótce proces wytwarzania układów unipolarnych. Dla tranzystora z rys. 5 jest to proces tzw. podwójnej dyfuzji, który przebiega następująco. Materiał wyjściowy, jakim w tym wypadku jest na przykład płytka krzemu typu n, zostaje pokryty na górnej powierzchni jednorodną warstwą izolacyjną dwutlenku krzemu. W warstwie tej techniką fotolitografii wykonuje się okienka /na rysunku pokazano fragment płytki odpowiadającej obszarowi jednego tranzystora/, przez które odbywa się dyfuzja boru na głębokość kilku mikronów. Po nałożeniu kolejnej warstwy izolacyjnej wykonuje się nowe okienka /według innego wzoru/, po czym następuje dyfuzja fosforu w celu utworzenia bramki. Odbywa się to metodą kolejnych przybliżeń, aż do uzyskania pożądanej oporności kanału. Oznacza to, że dyfuzję fosforu przerywa się dla dokonania pomiaru elektrycznego i wznowia się ją, gdy przewodność kanału jest jeszcze zbyt duża. Kończącym etapem tego procesu jest wykonanie metodą metalizacji pól kontaktowych oraz połączeń ze źródłem, drenem i bramką.

Oczywistym niedostatkim opisanego wyżej procesu podwójnej dyfuzji jest trudność dokładnego ustalenia parametrów kanału. Dlatego też częściej stosuje się proces, w którym występuje zarówno dyfuzja, jak i epitaksja. Z kolejnymi fazami procesu epitaksjalno-dyfuzyjnego zapoznamy się na przykładzie tranzystora przedstawionego na rys. 9. Na podłoże krzemowe - w tym wypadku typu p -



Rys. 9. Przekrój tranzystora z podwójną warstwą epitaksjalną

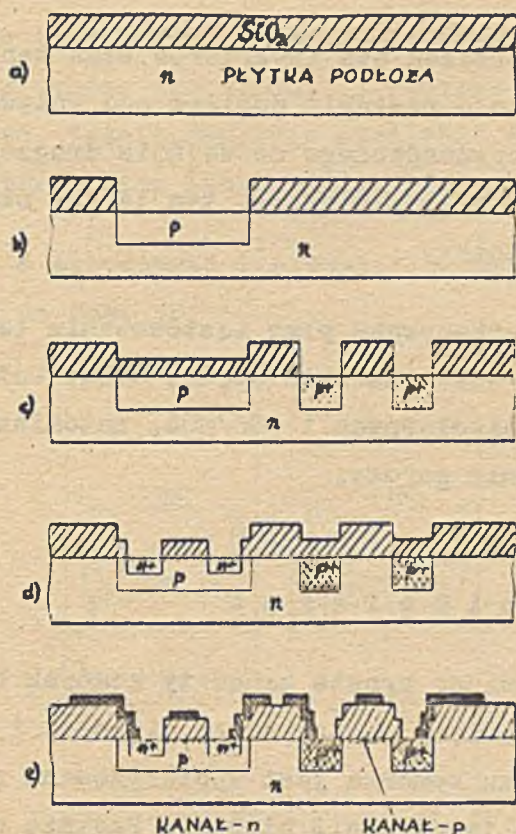
- 1 - płytka podłoża, 2 - warstwa epitaksjalna typu n,
- 3 - warstwa epitaksjalna typu p, 4 - warstwa izolująca SiO_2 , 5 - aluminium

nakłada się kolejno dwie 2-mikronowe warstwy epitaksjalne, typu n i typu p, o dokładnie określonych wartościach oporności, po czym izoluje się je warstwą dwutlenku krzemu. Za pomocą wykonanych w warstwie SiO_2 okienek dokonuje się głębokiej dyfuzji boru, celem wytworzenia złącza izolacyjnego p-n. Następnie przez nowe okienka wdyfundowuje się fosfor, na skutek czego powstają obszary źródła i drenu. Głębokość tej dyfuzji nie jest krytyczna, musi ona tylko przeniknąć przez górną warstwę typu p.

Wytwarzanie tranzystora z kanałem typu p odbywa się tak samo, jedynie podłoże i warstwy epitaksjalne są przeciwnego typu niż ukazane na rys. 9. Ponadto w kolejnych dyfuzjach stosuje się fosfor - dla wyodrębnienia kanału i bor - dla wykonania obszarów źródła i drenu.

Niezwykle prosta jest technologia tranzystora MOS w przypadku kanału indukowanego /rys. 7/. W płytkę podłoża typu p lub n wdyfundowuje się tylko obszary źródła i drenu, po czym na powierzchni warstwy SiO_2 wykonuje się techniką metalizacji elektrodę bramki, a w odpowiednich okienkach tej warstwy elektrody dla źródła i drenu.

Bardzo ważnym etapem w rozwoju technologii tranzystorów MOS było opanowanie procesu równoczesnego wykonywania na wspólnym podłożu tranzystorów z kanałem typu p i kanałem typu n, tzw. COS/MOS /complementary symmetry metal oxide semiconductors/. Podstawowe fazy tego procesu przedstawiono na rys. 10 [?]. Jako płytkę podłoża zastosowano tutaj krzem typu n pokryty warstwą SiO_2 /rys. 10a/. Przez okienko w tej warstwie, wykonane metodą fotolitografii, dokonuje się dyfuzji atomów boru w podłoże, celem wytworzenia obszaru typu p /rys. 10b/. Po ponownym nałożeniu na powierzchnię płytki warstwy SiO_2 i wykonaniu w niej nowych okienek następuje dyfuzja p^+ w obszary podłoża przeznaczone na źródło i dren tranzystora z kanałem typu n /rys. 10c/. Po nałożeniu trzeciej warstwy SiO_2 , przez otwarte w niej okienka odbywa się dyfuzja n^+ w obszary przeznaczone na źródło i dren tranzystora z kanałem typu p /rys. 10d/. Wreszcie w czwartej z kolei warstwie SiO_2 wykonuje się okienka dla elektrod /rys. 10e/.



Rys. 10. Ilustracja poszczególnych operacji procesu technologicznego tranzystorów COS/MOS

3. Schematy ideowe komórek pamięciowych i płytów

Pamiętanie informacji zerojedynkowych w technice półprzewodnikowej polega na wykorzystaniu pewnych właściwości układów, a nie właściwości fenomenologicznych materiałów, jak to ma miejsce w przypadku większości nośników informacji różnego rodzaju. Komórką pamięciową jest tutaj układ zwany przerzutnikiem /flip-flop, trigger/, w którym zamknięto w pętłę dwa tranzystory, tworzące dwa inwertery i pozostające w przeciwnych stanach stabilnych.

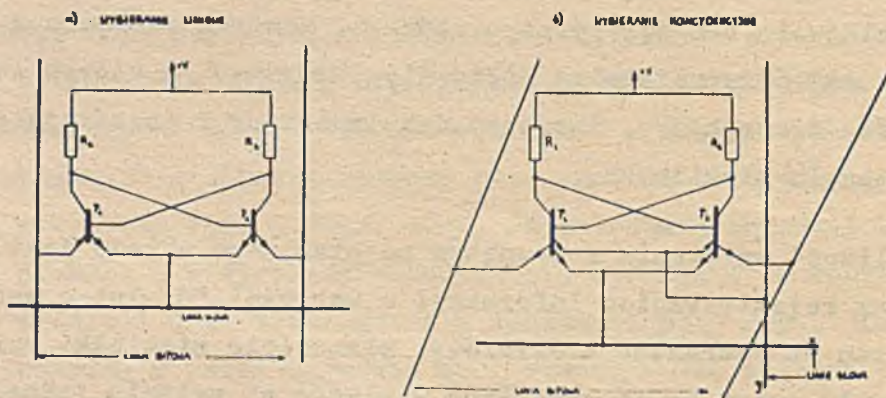
Możliwość wpływania z zewnątrz na stan tego układu jest niczym innym, jak rejestrowaniem informacji o wartości "1" lub o wartości "0". Wpływ ten ma charakter nieliniowy, mianowicie niewielki wzrost wartości sygnału ponad pewną określoną wielkość na wejściu jednego z inwerterów powoduje duży skok sygnału na jego wyjściu, a tym samym na wejściu drugiego inwertera, wprowadzając go w stan nasycenia. Na skutek

wzajemnych dodatnich sprzężeń obu inwerterów stan ten utrzymuje się trwale, a jego zmiana może nastąpić dopiero pod wpływem sygnału o odpowiedniej wartości, doprowadzonego do wejścia drugiego inwertera. Im nieliniowość tego procesu jest większa, tym lepsze właściwości pamięciowe ma układ przerzutnika.

Komórki pamięciowe wykonywane przy zastosowaniu technologii opisanych w p. 2 różnią się dość znacznie między sobą. Duża nieliniowość występuje w komórkach bipolarnych i COS/MOS, natomiast układ MOS jest pod tym względem znacznie gorszy.

3.1. K o m ó r k i b i p o l a r n e

Na rys. 11 przedstawiono proste schematy komórek bipolarnych przeznaczonych do budowy pamięci o strukturze liniowej i koincydencyjnej [16]. W stanie spoczynku komórka jest spolaryzowana niskim napięciem linii słów, co izoluje ją od linii bitowej. Podanie odpowiednio dużego napięcia na wybraną linię słów powoduje odczyt informacji zawartej w komórce. Pojawi się ona w przewodach linii bitowej w postaci impulsów napięcia o zróżnicowanych amplitudach dla "1" i "0". W czasie zapisu napięcie wybranej linii słów musi działać w koincydencji z odpowiednim potencjałem na jednym z dwóch przewodów linii bitowej, gdy wpisuje się "1", lub na drugim, gdy wpisuje się "0".

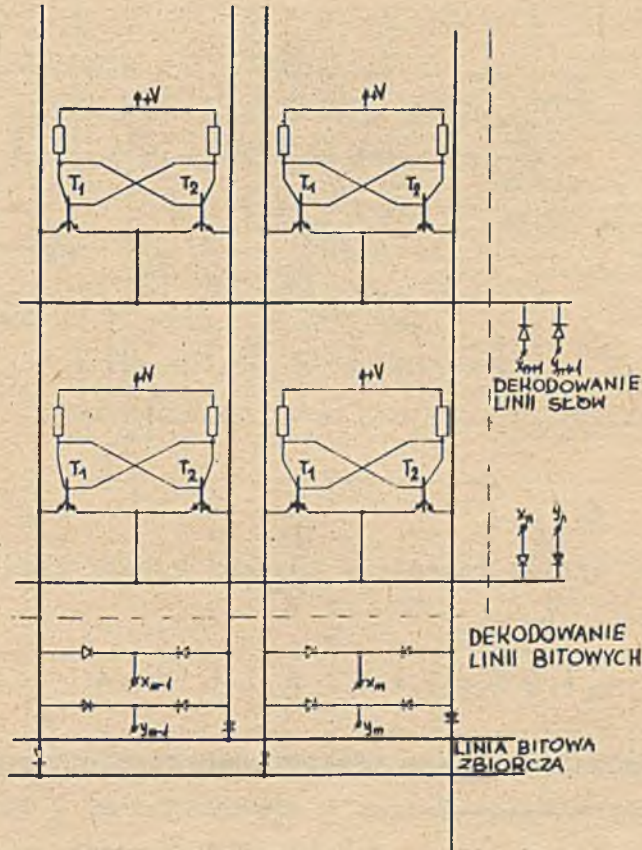


Rys. 11. Schematy ideowe komórek bipolarnych

a - wybieranie liniowe, b - wybieranie koincydencyjne

Zasadniczą wadą tych komórek jest pobieranie większej energii ze źródeł zasilania w czasie spoczynku niż podczas sterowania. Energię tę można zmniejszyć, jeżeli napięcie zasilania $+V$ będzie się zmieniać równocześnie ze sterowaniem linii słów.

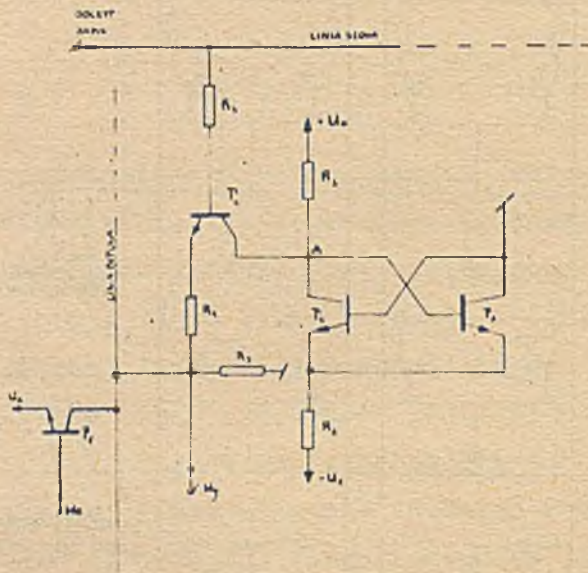
Fragmety płyty o strukturze liniowej, w którym zastosowano omówioną komórkę, pokazano na rys. 12.



Rys. 12. Schemat ideowy fragmentu płyty z komórkami bipolarnymi

Inne rozwiązanie komórki bipolarnej, przydatnej do budowy płyty o strukturze liniowej lub koincydencyjnej, pokazano na rys. 13 [15]. Przerzutnik tworzą tu tranzystory T_1 i T_2 oraz oporniki R_1 i R_2 . Na skutek uziemienia kolektora tranzystora T_2 można rozpatrywać zmianę napięcia w węzle A w odniesieniu do potencjału ziemi. Dodatniemu poziomowi tego napięcia przypisuje się wartość "1", ujemnemu "0". Zapis informacji odbywa się przez przyłożenie dodatniego impulsu do wybranej

linii słów i ujemnych lub dodatnich impulsów do linii bitowych, w zależności od wartości zapisywanej informacji. "1" zapisuje się, przykładając do wejścia "We" napięcie ujemne, co powoduje wzrost napięcia na linii bitowej i tym samym wzrost potencjału węzła A, który z kolei wymusza włączenie tranzystora T_2 i wyłączenie tranzystora T_1 . Podczas zapisu "0" dodatnie napięcie na wejściu "We" wywołuje sytuację przeciwną, zakończone wyłączeniem tranzystora T_2 i włączeniem tranzystora T_1 .

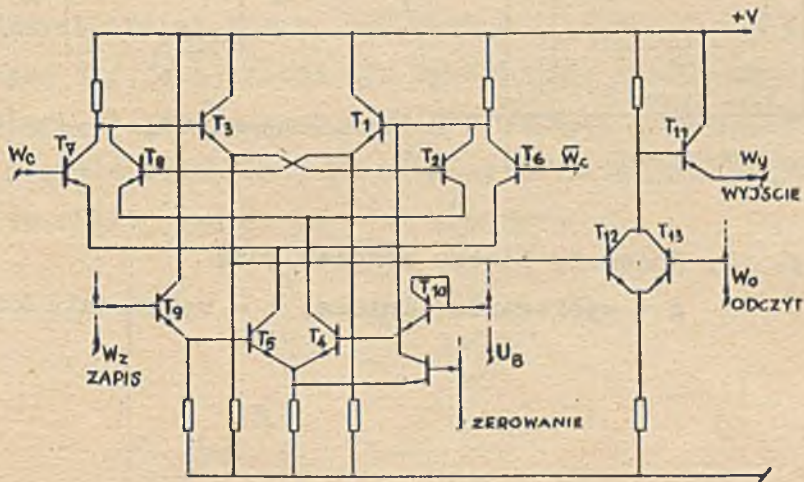


Rys. 13. Schemat ideowy komórki bipolarnej

Odczytu informacji dokonuje się przez podanie dodatniego impulsu tylko na wybraną linię słów. Wysterowany tranzystor T_3 otwiera drogę dla przepływu prądu od punktu A do "Wy", a wywołany tym sygnał napięciowy na wyjściu odpowiada informacji zapamiętanej w komórce. Amplituda tego sygnału jest w przybliżeniu równa $+\frac{1}{4} V_A$ dla "1" i $-\frac{1}{4} V_A$ dla "0". W praktyce wynosi ona kilkaset miliwoltów.

W porównaniu z omówionymi powyżej prostymi układami komórka bipolarna przeznaczona do budowy pamięci o strukturze rejestrowej jest - jak to widać z rys. 14 - bardzo skomplikowana [4]. Zasadniczą jej część stanowi przerzutnik, który tworzy tranzystory T_1 i T_2 , sprzężone przez wtórnik T_3 i T_4 . Punkt pracy komórki ustala się przez do-

bór napięcia odniesienia U_B . Zapis informacji odbywa się przez równoczesne podanie dodatnich impulsów na jedno z wejść W_e lub $\overline{W_e}$ /odpowiednio "1" lub "0" i wejście W_z . Odczyt informacji odbywa się z chwilą wyłączenia tranzystora T_B , sterowanego przez wejście W_o . Powoduje to przejście sygnału z komórki przez tranzystory T_{12} i T_{14} do wyjścia "Wy"

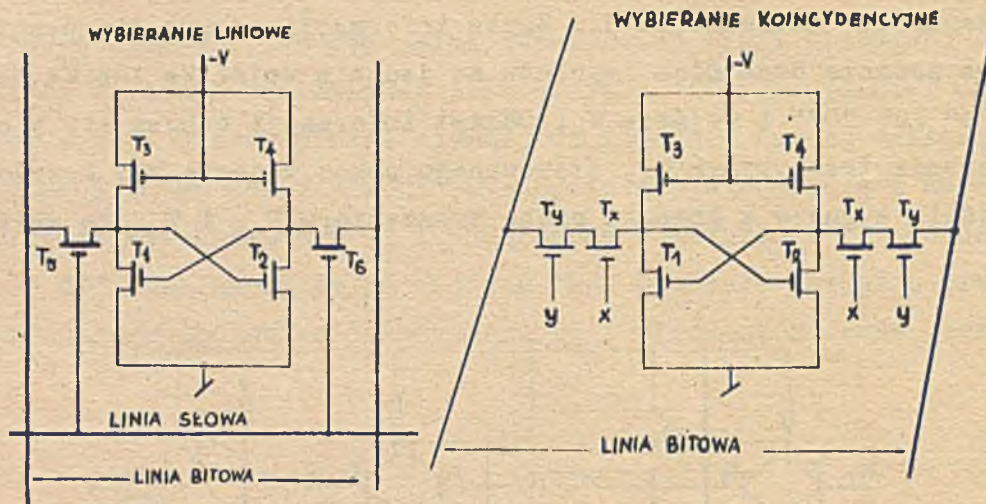


Rys. 14. Schemat ideowy komórki w postaci ogniwa rejestru

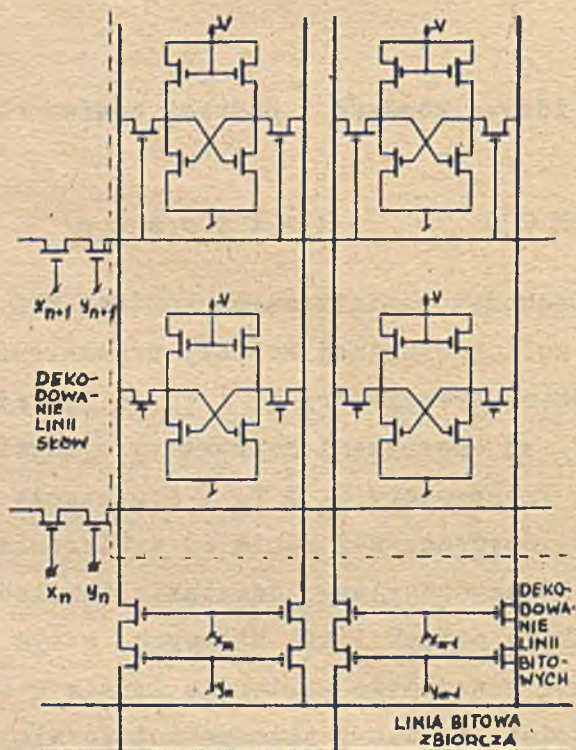
3.2. Komórki MOS - statyczne

Przykłady prostych schematów statycznych komórek MOS dla pamięci o strukturze liniowej i koincydencyjnej zostały przedstawione na rys. 15 [16]. W obydwu przypadkach tranzystory T_1 i T_2 są inwerterami przerzutnika, natomiast T_3 i T_4 są opornikami charakteryzującymi się stałymi wartościami oporności. Tranzystory T_5 i T_6 w strukturze liniowej oraz T_x i T_y w strukturze koincydencyjnej służą do wybierania komórki. Zapis informacji wymaga koincydencyjnego działania impulsów w wybranej linii słów i we wszystkich parach linii bitowych, z tym jednak, że w tych ostatnich na jednym przewodzie występuje impuls o wyższym potencjale, na drugim przewodzie impuls o niższym potencjale, zależnie od tego, czy do komórki wpisywana jest informacja "1" czy "0". Dla odczytania zawartości komórkiysterowuje się tylko linię słów.

Na rys. 16 pokazano fragment płyty o strukturze liniowej, w którym zastosowano omówioną komórkę.



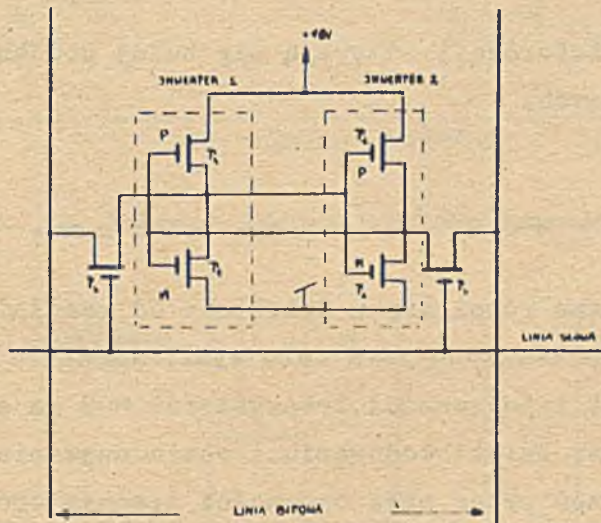
Rys. 15. Schematy ideowe komórek MOS:
 a - wybieranie liniowe, b - wybieranie koincydencyjne



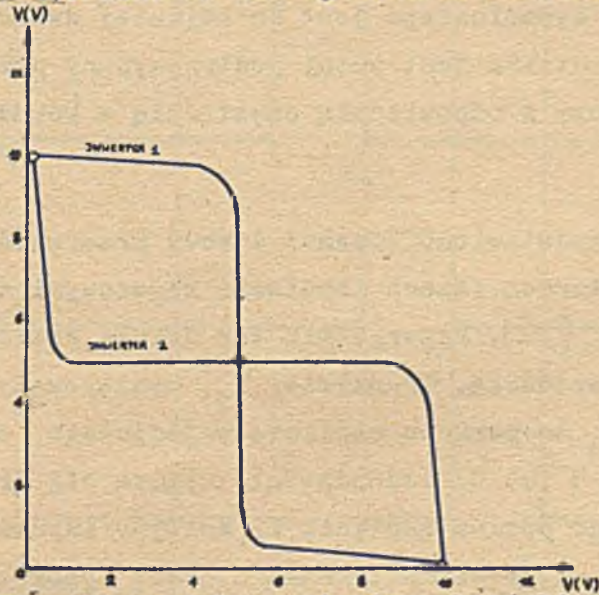
Rys. 16. Schemat ideowy płatu o strukturze liniowej

3.3. K o m ó r k i C O S / M O S

Na rys. 17 przedstawiono schemat przerzutnika wykonanego w technice COS/MOS [7]. Jest to wprawdzie najprostsza wersja komórki pamięciowej tego typu, niemniej jednak można ją uważać za reprezentatywną także dla innych rozwiązań. Bardzo mała moc strat w czasie spoczynku /rzędu $10^{-7}W$ / oraz wysoka stabilność pracy przy stosunkowo dużych poziomach zakłóceń i dużych obciążeniach, wynikająca z bardzo dużej nieliniowości układu /rys. 18/, oto zalety nie występujące równocześnie ani w komórkach bipolarnych, ani w komórkach MOS. Ciągłe doskonalenie technologii COS/MOS pozwala oczekiwać, że również pod względem szybkości działania komórki te zbliżą się do komórek bipolarnych.



Rys. 17. Schemat ideowy komórki COS/MOS



Rys. 18. Charakterystyka napięciowa komórki z rys. 17

Przerzutnik COS/MOS zbudowany jest z dwóch par tranzystorów komplementarnych, stanowiących dwa inwertery wzajemnie się sterujące. Ponieważ w każdej gałęzi przerzutnika jeden z tranzystorów jest zawsze włączony, a drugi wyłączony, dzięki temu w czasie sterowania linii słów droga od linii bitowej do źródła zasilającego komórkę lub ziemi /w zależności od stanu inwertera/ zawsze wykazuje małą impedancję. To zaś nie tylko zmniejsza zakłócenia pojemnościowe, ale przede wszystkim pozwala na znacznie większy pobór prądu z układu niż w przypadku przerzutników bipolarnych. Równocześnie nie przewodzący tranzystor blokuje przepływ prądu między źródłem i ziemią, zmniejszając tym samym straty mocy przerzutnika w stanie spoczynku do wartości określonej prądami upływności tranzystorów.

Zapis i odczyt informacji odbywają się tutaj podobnie jak w przypadku komórek bipolarnych.

3.4. K o m ó r k i M O S - d y n a m i c z n e

Komórka dynamiczna różni się w działaniu od wcześniej opisanych komórek statycznych. Wprowadzono je w celu wyeliminowania szkodliwego wpływu dużych oporności i pojemności tranzystorów MOS na szybkość przełączania przerzutnika. Dzięki ładowaniu i rozładowywaniu pojemności złącz i pojemności połączeń przez małe oporności tranzystorów sterowanych impulsami zegarowymi działającymi w określonych chwilach, czas przełączania przerzutnika dynamicznego jest co najmniej dwukrotnie krótszy. Stabilny stan przerzutnika jest tutaj podtrzymywany przez ładunek elektryczny uzupełniany z odpowiednią częstością w kondensatorze pamiętającym.

Na rys. 19 przedstawiono schemat ideowy przerzutnika dynamicznego, sterowanego w czterech fazach impulsami zegarowymi zgodnie z harmonogramem z rys. 20 [24]. Przerzutnik ten działa analogicznie jak rejestr z przesuwaną zawartością. Tranzystor T_1 , wystawiany w fazie φ_3 , ładuje kondensator C_1 do poziomu napięcia wejściowego, odpowiadającego wartości informacji 1 lub 0. Jednocześnie włącza się tranzystor T_2 , a kondensator C_2 osiąga poziom napięcia V . Kolejny impuls zegarowy φ_4 włącza tranzystor T_4 i jeżeli potencjał C_1 jest wysoki, co odpowiada "1" na

Tak samo działa układ sterowany impulsami zegarowymi φ_1 i φ_2 . Łącząc obydwie te układy w pętlę, otrzymamy przerzutnik, w którym stan określony wartością informacji wejściowej, wprowadzonej w fazie φ_3 będzie się utrzymywał w sposób trwały.

3.4.1. DYNAMICZNA PAMIĘĆ PRZERZUTNIKOWA Z DOWOLNYM DOSTĘPEM

Opisany wyżej układ przerzutnika dynamicznego charakteryzuje się nadmiarem informacji o wprowadzonym bicie /1 lub 0/, bowiem wyraża ją nie tylko ładunek kondensatora C_1 , ale także - chociaż w postaci zane-gowanej - ładunek kondensatora C_3 . Kondensator C_3 i druga połowa prze-rzutnika /rys. 19/, regenerują ładunek w C_1 , w przeciwnym razie zanikł-by on w ciągu kilku milisekund. Dla rejestrów z przesuwaniem i innych obecnie produkowanych układów dynamicznych przyjmuje się, że maksymalny czas zachowania ładunku wynosi około 100 μ s, wobec czego minimalna częstotliwość impulsów zegarowych regenerujących ten ładunek wynosi 10 kHz.

Powyższe właściwości przerzutnika dynamicznego pozwoliły na wprowa-dzenie znacznych uproszczeń układowych w wypadku budowy płatu pamięcio-wego, w którym zastosowano ten rodzaj komórek. Wyeliminowano w każdym przerzutniku część regenerującą ładunek, zastępując ją podobnym ukła-dem, wspólnym dla pewnej grupy komórek. Układ ten w kolejnych czterofa-zowych cyklach regeneruje ładunek w kondensatorze pamiętającym coraz to innej komórki. W ten sposób w czasie około 100 μ s może on uzupełnić ładunki na przykład w 32 przerzutnikach, tworzących jedną z kolumn płatu pamięci [24].

Dla przykładu na rys. 21 przedstawiono działanie takiego układu w od-niesieniu do czterech komórek pamięciowych. Pętla sprzężenia zwrotnego regeneruje ładunek w kondensatorach pamiętających C_0 , C_1 , C_2 , C_3 w ko-lejności określanej przez bramki odczytu wysterowywane w danym wier-szu równocześnie we wszystkich kolumnach płatu. Sterowania dokonuje układ dekodujący adres wiersza.

Prześledzimy przebieg procesu regeneracji informacji w jednej z ko-mórek. Niech na przykład kondensator C_0 będzie naładowany do potencja-łu V . Pod wpływem impulsu zegarowego φ_4 , rozpoczynającego cykl regene-

racji oraz wysterowanym w tym czasie wierszu 0 /odczyt/ następuje rozładowanie kondensatora C_5 , naładowanego w chwili φ_3 do potencjału V . W chwili φ_1 taki sam potencjał jak na kondensatorze C_5 uzyska kondensator C_6 . W omawianym przypadku jest to równoznaczne z niedopuszczeniem do rozładowania kondensatora C_7 w chwili φ_2 . W chwili φ_3 następuje wysterowanie wiersza 0 /zapis/, a ładunek kondensatora C_7 zregeneruje zanikający ładunek kondensatora C_0 do jego pierwotnego poziomu. To kończy cykl regeneracji informacji w komórce 0, po czym w czasie nowej sekwencji czterech impulsów zegarowych proces powtarza się, lecz już w odniesieniu do kolejnej komórki, znajdującej się w wierszu 1.

Wyeliminowanie stopnia sprzężenia zwrotnego w każdej komórce i zastąpienie go stopniem wspólnym dla wielu komórek pozwoliło na uzyskanie bardzo zwartego płatu pamięciowego. Płat o pojemności 1024 bity, zawierający ponadto układy dekodujące, bramki wybierające i układy zapisu-odczytu, co w sumie odpowiada 4500 tranzystorom, mieści się na płytce krzemowej o wymiarach zaledwie około 4x4 mm [24]. Stanowi to o 20% mniej niż w przypadku konwencjonalnego przesuwanego rejestru dynamicznego o takiej samej pojemności i aż cztery razy mniej niż dla scalonego płatu statycznego. Komórki płatu podzielone są na 32 kolumny i 32 wiersze. W układzie koincydencyjnym jest więc adresowana każda komórka, co oznacza, że płat zawiera 1024 słowa 1-bitowe. W celu wydłużenia słowa zestawia się razem większą liczbę płytów. Na rynku znajduje się już pamięć składająca się z 24 takich płytów. Wraz z generatorem ciągów zegarowych, układami sterującymi i rejestrami buforowymi mieści się ona na płytce drukowanej o wymiarach 280x200 mm.

3.4.2. DYNAMICZNA PAMIĘĆ PRZERZUTNIKOWA SEKWENCYJNA

Pamięć sekwencyjną tworzą przerzutniki dynamiczne /z rys. 19/, połączone w długie rejestry. Zawartość rejestrów jest przesuwana szeregowo i cyklicznie z częstotliwością około 1 MHz. Dzięki synchronicznej pracy wielu takich rejestrów wielobitowe informacje mogą być dostarczane z dużą szybkością /ok. 1 μ s/.

Firma amerykańska Advanced Memory Systems Inc. przewiduje wykorzystanie tej koncepcji do budowy pamięci dużej pojemności [25]. W najmniej-

szym modelu takiej pamięci zostanie zastosowanych ponad 16.000 rejestrów o długości 1024 bitów każdy, podzielonych na bloki po 128 rejestrów. Łączna pojemność pamięci wyniesie więc ponad 16 milionów bitów. Każdy blok ma własny generator impulsów zegarowych, działających w czterech fazach z częstotliwością 10 kHz lub 1 MHz. W czasie operacji zapisu lub odczytu generator przesuwają informacje w pętli każdego rejestru z szybkością 1 MHz, a z chwilą zakończenia tej operacji, przełączają się na częstotliwość przesuwania 10 kHz.

Górna wartość częstotliwości generatora określona jest technicznymi możliwościami przełączania przerzutników tego typu /aktualnie produkowanych/, dolna natomiast jest minimalna ze względu na potrzebę regeneracji ładunków elektrycznych w kondensatorach pamiętających poszczególnych przerzutników.

Czas oczekiwania w tej pamięci wynosi około 0,5 ms.

Ten typ pamięci, ze względu na cykliczność obiegu informacji w rejestrach, nazywany jest także półprzewodnikową pamięcią bębnową.

4. Osiągnięcia konstrukcyjne i technologiczne

Aktualne osiągnięcia w konstrukcji i technologii pamięci półprzewodnikowych zilustrujemy kilkoma przykładami [7], [12], [18], [13].

Największą jak dotąd pamięć, opartą na komórkach bipolarnych, zastosowała firma IBM w najnowszej swojej maszynie 360/195. Pojemność bloku wynosi tutaj ok. 300 tys. bitów, a jego podstawowym elementem jest 64-bitowa płytka o powierzchni 8 mm^2 . Cykl pracy pamięci wynosi 54 ns.

Firma IBM opracowała również eksperymentalną pamięć w technice MOS, osiągając pojemność 8 tys. bitów i cykl pracy 60 ns.

Niewielką lecz szybką pamięć z komórkami bipolarnymi stosuje firma Honeywell w maszynach 4200 i 8200. Podstawowy element pamięci zawiera 16 bitów, a pojemność całkowita wynosi 384 bity. Czas odczytu nie przekracza 20 ns, a zapisu 35 ns.

Średniej wielkości pamięci superszybkie /do 16 tys. bitów/ posiada maszyna Sigma 7 firmy Scientific Data Systems. Są one zbudowane z 8-bitowych płytek, zawierających również układy dekodujące i sterujące. Czasy odczytu i zapisu wynoszą odpowiednio 60 ns i 90 ns.

Firma RCA produkuje pamięci z komórkami COS/MOS. Podstawowy element zawiera tutaj 16 bitów i pozwala na budowę pamięci o pojemności 4096 bitów i czasie cyklu 100 ns. Firma opracowała również płytki zawierające 72 komórki, jednakże na razie w eksperymentalnej produkcji nie osiąga się uzysku większego niż 10%.

W chwili obecnej scalonymi pamięciami półprzewodnikowymi zajmuje się - oprócz wyżej wymienionych - około 15 firm w USA i kilka firm w Europie. Produkują one przede wszystkim małe pamięci w postaci rejestrów lub matryc na pojedynczych płytkach, głównie jako układy statyczne w technice MOS. Wspomniana już w p. 3.4.2. firma Advanced Memory Systems Inc. produkuje rejestry dynamiczne o pojemności 1024 bity, wiążąc duże nadzieje z tą techniką, mającą umożliwić budowę rejestrowych pamięci o dużych pojemnościach /powyżej 10^7 bitów/ i małym koszcie /poniżej 1 centa za bit/.

Oczekuje się, iż w latach 1974-75 zostanie osiągnięty tak wysoki poziom technologii scalonych pamięci półprzewodnikowych, że małe i szybkie pamięci maszyn matematycznych będą wykonywane wyłącznie w tej technice. Prawdopodobnie również w niektórych zastosowaniach zaczną one skutecznie konkurować z innymi technikami w dziedzinie pamięci średniej wielkości, a nawet pamięci dużych.

Literatura

- [1] BARNEY M.: Nitride Passivation Links TTL, MOS. Electronics, March 31. 1969, p. 117.
- [2] BAUM J.R. i in.: Integrated Circuits. McGraw-Hill Book Company, New York 1965.
- [3] BEELITZ H.H., LEVY S.Y., LINHARDT R.J. i MULLER H.S.: System Architecture for Large-Scale Integration, AFIPS Conf. Proc., Vol. 31, FJCC, November 1967, pp. 185-200.
- [4] CATT I., GARTH E.C., MURRAY D.E.: A High-Speed Integrated Circuit Scratchpad Memory. AFIPS Conf. Proc. Vol. 28, pt 1, FJCC, 1966, p. 315.

- [5] DUNN R.S.: The Case Bipolar Semiconductor Memories. AFIPS Conf. Proc., Vol. 31, November 1967, pp. 596-598.
- [6] FILIPKOWSKI A.: Mikroelektroniczne układy scalone. Wydawnictwa Naukowo-Techniczne. Warszawa 1966.
- [7] HERZOG G.B.: COS-MOS the Best of Both Worlds. Electronics, February 17. 1969, pp. 109-113.
- [8] HODGES D.A.: Large-Capacity Semiconductor Memory. Proceeding of the IEEE, Vol. 56, No 7, July 1968.
- [9] IGARASHI R., YAITO T.: An Integrated MOS Transistor Associative System Memory with 100 ns Cycle Time. AFIPS Conf. Proc., Vol.30, SJCC, April 1967, pp. 499-506.
- [10] IGNATOWICZ S.A. red.: Elektronika Półprzewodników. II Krajowe Sympozjum. ITE-PAN Warszawa 1967.
- [11] LEPSELT M.P.: Beam-Lead Technology. Bell Sys. Tech. J., Vol.45, February 1966, pp. 233-253.
- [12] McLAUGHLIN R.A.: The IBM 360/195. Datamation, Oct. 1969.
- [13] MOS Future Hinges on Processing. Electronic Design, Vol. 8, April 12. 1969, p. 67.
- [14] PASQUALINI R.: Design Considerations for a Parallel Bit-Organized MOS Memory, IEEE Trans. on Electronic Computers. Vol. EC-15, October 1967, pp. 551-557.
- [15] PERKINS H.A., SCHMIDT J.D.: An Integrated Semiconductor Memory System. AFIPS Conf. Proc., Vol. 27, pt 1, FJCC, 1965, p. 1053.
- [16] SANDER W.B.: Semiconductor Memory Circuits and Technology. AFIPS Conf. Proc., Vol. 33, pt 2, FJCC, 1968, p. 1205.
- [17] SHIVELY R.: A Silicon Monolithic Memory Utilizing a New Storage Element. AFIPS Conf. Proc., Vol. 27, FJCC, November 1965.
- [18] The Diebold Research Program. Technology Series. Document No E56, February 1969.
- [19] TUNZI B.R.: MOS Random-access-arrays. Electronics. January 20. 1969, pp. 102-105.
- [20] OHANIAN M.: Bonding Techniques for Microelectronics. SCP and Solid State Technology. August 1967. p. 45.
- [21] EKNER J.: O technologii montażu modułów i podzespołów mikroelektronicznych. IMM Nowości, Nr 1, 1968.
- [22] MIKA M.: Lutowanie dwu- i wielowarstwowych płytek drukowanych. IMM Nowości, Nr 2, 1969.
- [23] EKNER J.: Połączenia owijane w maszynach cyfrowych. IMM Nowości, Nr 2, 1969.
- [24] BOYSEL L. i in.: Random-access MOS Memory Packs More Bits to the Ship. Electronics, February 16. 1970, p. 109.
- [25] U.S. Reports: Memory Hopes One Step Past Mainframe. Electronics, February 16. 1970, p. 43.
- [26] KVAMME F.: Standard Read-only Memories Simplify Complex Logic Design. Electronics, January 5. 1970, p. 88.
- [27] LUISI J.A.: SOS Brings New Life to Read-only Units. Electronics, February 17. 1969, p. 114

SZKIELETY CYFROWYCH URZĄDZEŃ ELEKTRONICZNYCH

C z ę ść I

SZKIELETY MODUŁÓW PODSTAWOWYCH EMC

1. Wstęp

Szkieleciami nazywamy mechaniczne konstrukcje nośne, na których montowane są mikroukłady lub elementy dyskretne oraz elementy łączące /złącza, przewody/. W dzisiejszych konstrukcjach trudno rozgraniczyć elementy nośne od elementów połączeń elektrycznych. Zazwyczaj elementy konstrukcyjne szkieletów spełniają dwie i więcej funkcji jak np.: dwustronna płytka drukowana jest jednocześnie mechaniczną konstrukcją nośną i zespołem elementów realizujących połączenia elektryczne.

Ogólnie biorąc wszystkie szkielety winna charakteryzować:

- możliwość rozbudowy urządzenia przez łatwe dostawianie i łączenie dodatkowych zespołów funkcjonalnych, co jest równoznaczne z ustaleniem modułów konstrukcyjnych, z których zestawia się całe urządzenie,
- łatwy dostęp do modułów niższego rzędu w celu przeprowadzenia montażu elektrycznego ewentualnie naprawy czy wymiany niesprawnych elementów,
- możliwie krótkie elementy przewodzące¹,
- poprawna praca w warunkach działających na urządzenie drgań i udarów ew. tylko wytrzymałość na drgania i udary występujące podczas transportu,

¹ Należy zauważyć, że sygnał elektryczny przebywa drogę 0,3 m w czasie około 10^{-9} s. Takie opóźnienia są istotne w bardzo szybkich systemach cyfrowych.

SZKIELETY CYFROWYCH URZĄDZEŃ ELEKTRONICZNYCH

C z ę ś ć I

SZKIELETY MODUŁÓW PODSTAWOWYCH EMC

1. Wstęp

Szkieletami nazywamy mechaniczne konstrukcje nośne, na których montowane są mikroukłady lub elementy dyskretne oraz elementy łączące /złącza, przewody/. W dzisiejszych konstrukcjach trudno rozgraniczyć elementy nośne od elementów połączeń elektrycznych. Zazwyczaj elementy konstrukcyjne szkieletów spełniają dwie i więcej funkcji jak np.: dwustronna płytka drukowana jest jednocześnie mechaniczną konstrukcją nośną i zespołem elementów realizujących połączenia elektryczne.

Ogólnie biorąc wszystkie szkielety winna charakteryzować:

- możliwość rozbudowy urządzenia przez łatwe dostawianie i łączenie dodatkowych zespołów funkcjonalnych, co jest równoznaczne z ustawieniem modułów konstrukcyjnych, z których zestawia się całe urządzenie,
- łatwy dostęp do modułów niższego rzędu w celu przeprowadzenia montażu elektrycznego ewentualnie naprawy czy wymiany niesprawnych elementów,
- możliwie krótkie elementy przewodzące¹,
- poprawna praca w warunkach działających na urządzenie drgań i udarów ew. tylko wytrzymałość na drgania i udary występujące podczas transportu,

¹ Należy zauważyć, że sygnał elektryczny przebywa drogę 0,3 m w czasie około 10^{-9} s. Takie opóźnienia są istotne w bardzo szybkich systemach cyfrowych.

- poprawna praca w warunkach działających na urządzenie dodatkowych specjalnych czynników środowiska /np. wpływ klimatu tropikalnego wilgotnego/,
- dobre odprowadzanie ciepła wydzielanego przez pracujące elementy i podzespoły elektryczne.

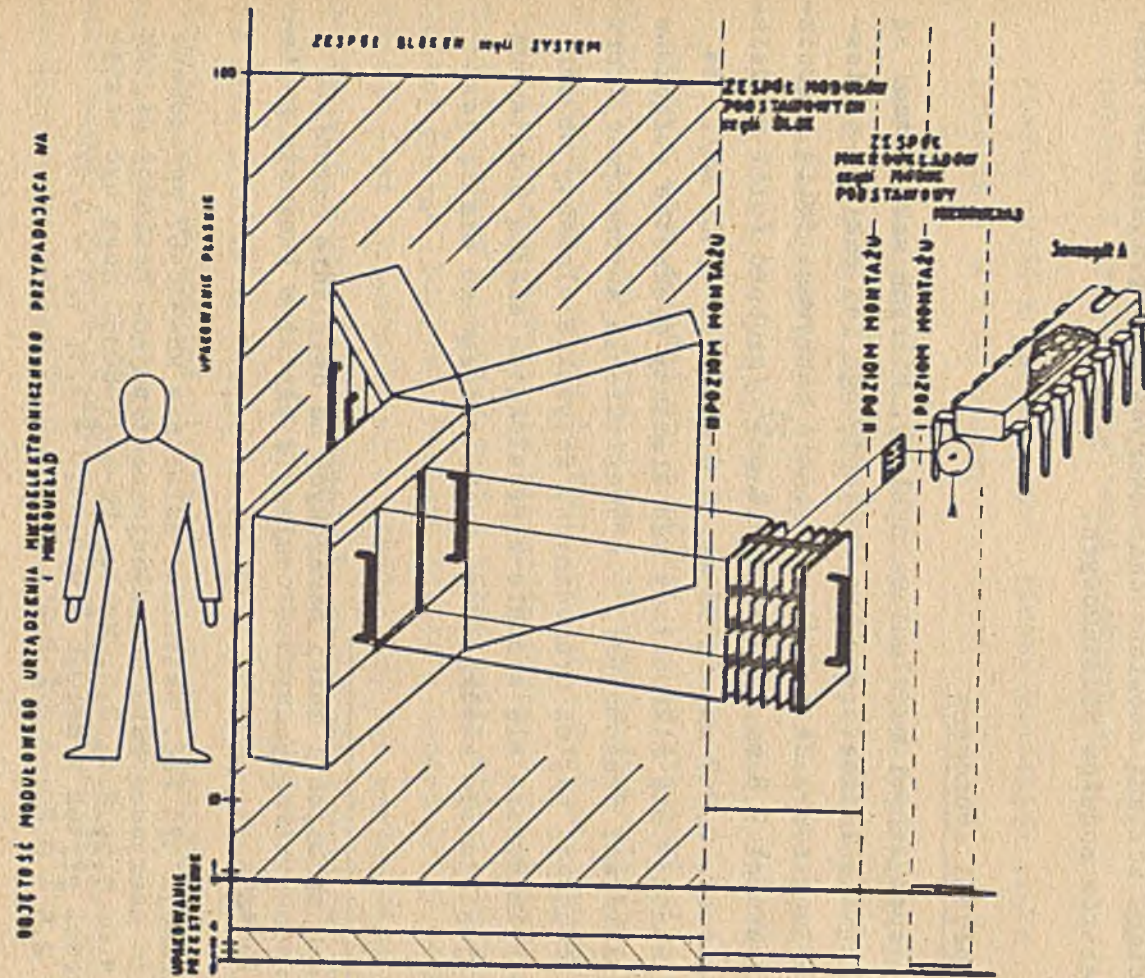
Z uwagi na wymagania stawiane konstruktorom szkieletów przez użytkowników urządzeń elektronicznych, jak również ze względu na technologie wytwarzania tych urządzeń, przyjęto następujący podział konstrukcyjny urządzeń:

- zespół funkcjonalny utworzony z połączonych ze sobą mikroukładów, ew. elementów dyskretnych /np. pakiet/ stanowiący tzw. moduł podstawowy,
- blok czyli zespół modułów podstawowych połączonych między sobą /inaczej nazywany panelem/,
- system składający się z zespołu bloków /np. rama zawierająca kilka paneli/ .

Ilustracją objaśniającą wyżej podany podział i pojęcia użyte do jego opisu jest rys. 1.

Wszystkie możliwe rozwiązania konstrukcyjne modułów, spełniających powyższe wymagania, posiadają pewne cechy wspólne. Dla sklasyfikowania różnych rozwiązań konstrukcyjnych modułów zestawiono cechy wspólne możliwych rozwiązań /tabela 1/.

Określone, szczególne rozwiązania konstrukcyjne opisane w tabeli można oznaczyć symbolem składającym się z numeru wiersza i litery kolumny. Na przykład płytka dwustronnie drukowana z metalizowanymi otworami o wymiarach będących wielokrotnością przyjętego oczka siatki podstawowej, z mikroukładami typu pajak wlutowanymi w metalizowane otwory, przystosowana do złącz krawędziowych bezpośrednich, z gniazdkami kontrolnymi, z otworami do klucza za pomocą którego jest wyciągana, ma następujące oznaczenie: 1B2A3A4A6A7C9D.



Rys. 1. Podział modułowego urządzenia mikroelektronicznego. Wymiary modułów są odwzorowane proporcjonalnie do wymiarów człowieka, którego sylwetka została narysowana obok. Wykres objętości modułu podstawowego, bloku i systemu przypadających na 1 mikroukład. Współrzędne 0, 1, 2, 4 - odnoszą się do upakowania przestrzennego. Współrzędne 0, 1, 10, 100 - odnoszą się do upakowania płaskiego

Zestawiając w podobny sposób oznaczenia wierszy i kolumn, można krótko opisać symbolami dowolne rozwiązanie konstrukcyjne modułów podstawowych, posiadających wymienione w tabeli cechy wspólne. Należy podkreślić, że tabela nie jest zakończona. W miarę powstawania nowych konstrukcji będzie powiększała się liczba możliwych rozwiązań.

W dalszym ciągu zostaną omówione charakterystyczne przykładowe konstrukcje szkieletów modułów podstawowych.

2. Dwustronne płytki drukowane

Najczęściej spotykanymi modułami są pakiety, których szkieletami są prostokątne płytki z laminatu szklano-epoksydowego lub szklano-poliestrowego¹⁾ /tabela 1 rozw. 2A i 2B/ dwustronnie pokrywane folią miedzianą o łącznej grubości 0,8 mm, 1,6 mm i 2,4 mm²⁾ /grubość folii miedzianej może wynosić ok. 0,017 mm, 0,035 mm, 0,070 mm lub 0,105 mm/. Na płytce takiej montuje się mikroukłady lub elementy dyskretne połączone między sobą przewodami drukowanymi. Dla umożliwienia automatyzacji projektowania i produkcji płytek drukowanych, wszystkie elementy obwodu elektrycznego rozmieszcza się zgodnie z prostokątną siatką podstawową. Wymiar boku najmniejszego kwadratowego oczka tworzącego siatkę jest równy 2,5 mm³⁾.

1) W urządzeniach tańszych i mniej narażonych na działanie czynników temperaturowych i klimatycznych stosuje się płytki z laminatu papierowo-bakelitowego.

2) Według publikacji 171 IEC. Natomiast zalecenie RS-916-67 opracowane przez Komisję Maszynową RWPG przewiduje następujące grubości płytek w mm: 0,8; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5. Według PN-64/T-80150 mogą być następujące grubości płytek w mm: $0,8 \pm 0,1$; $1,0 \pm 0,1$; $1,5 \pm 0,14$; $2,0 \pm 0,18$; $2,5 \pm 0,20$; $3,0 \pm 0,25$.

3) Należy w tym miejscu przypomnieć, że dla umożliwienia produkcji podzespołów elektronicznych /mikroukładów, gniazdek kontrolnych, złącz, czynnych i biernych elementów dyskretnych/ na zasadzie pełnej zamienności przyjęto jednostkę miary M, według której ustala się wymiary obwodów elementów, wymiary wyprowadzeń, ich rozstawienia itp. Stany Zjednoczone AP i kraje Europy zachodniej przyjmują jednostkę M - 2,54 mm /nawet Francja, która od końca XVIII w. wprowadziła system metryczny/. Polskie normy ustalają jednostki M - 2,5 mm. Niektóre kraje europejskie w zależności od możliwości zakupu podzespołów przyjmują M - 2,54 mm i M - 2,5 mm /np. NRF/.

2.1. Wymiary płytek

Najbardziej ważną decyzję jaką musi podjąć konstruktor pakietu jest ustalenie wymiarów płytki. Wymiary płytki zależą przede wszystkim od następujących czynników:

- liczby mikroukładów ew. elementów dyskretnych wchodzących w skład pakietu i wymaganej gęstości upakowania,
- liczby wyjść z pakietu, tzn. liczby kontaktów złącz /w przypadku rozwiązań 4A i 4B podanych w tabeli 1/,
- częstotliwości drgań mechanicznych jakim poddawana jest płytka pakietu podczas pracy, które muszą być różne od częstotliwości drgań własnych płytki /częstotliwość drgań własnych płytki zależy głównie od jej wymiarów i sztywności na zginanie/.

Pakiety mogą składać się z różnej liczby mikroukładów: od pięciu do kilkuset /ew. odpowiedniej liczby elementów dyskretnych/. Większa liczba mikroukładów w jednym pakiecie zwiększa jego niezawodność. Jednocześnie jednak zwiększa się niewspółmiernie do osiągniętej korzyści koszt ewentualnej naprawy całego urządzenia, której dokonuje się przez wymianę całego pakietu. Ponadto pakiet o bardzo dużej liczbie mikroukładów jest niepowtarzalny w urządzeniu, lub powtarzalny w bardzo małym stopniu. Utrudnia to gospodarce remontową z uwagi na konieczność posiadania wielu typów pakietów do wymiany. Wreszcie przy dużej liczbie mikroukładów wzrastają trudności z rozmieszczeniem przewodów drukowanych na powierzchni płytki, a tym samym wzrastają koszty projektowania. Podjęcie właściwej decyzji przy ustaleniu liczby mikroukładów montowanych w jednym pakiecie jest możliwe po przeprowadzeniu analizy techniczno-ekonomicznej określonego urządzenia.

Gęstość upakowania elementów w pakiecie zależy od wielkości obudów układów scalonych lub elementów dyskretnych oraz od możliwości technologicznych produkcji i montażu pakietów. Większa gęstość upakowania powoduje większe skupienie energii cieplnej w jednostce objętości szkieletu.

Liczba wyjść z pakietu, z uwagi na żadaną dużą niezawodność całego urządzenia, powinna być mała. W przeciwnym przypadku połączenia między

Tabela 1. Zestawienie cech wspólnych modułów podstawowych i ich możliwych rozwiązań

Nr kolejny	Cechy wspólne	Możliwe rozwiązanie				
		A	B	C	D	E
1	Wymiary gabarytowe	wymiary wybrane z ciągu liczb normalnych	wymiary obliczane jako wielokrotności przyjętego modułu jednostkowego $M=2,5 \text{ mm}$ lub $2,54 \text{ mm}$	wymiary dowolne		
2	Elementy przewodzące pomiędzy wyprowadzeniami mikroukładów /ew. elementów dyskretnych/	przewody drukowane wytrawiane w folii metalowej pokrywającej płytkę z materiału izolacyjnego i otwory metalizowane jako połączenia międzywarstwowe	i drutowe połączenia międzywarstwowe	druty w izolacji /np. igielitowej/ i specjalne kontakty pomiędzy drutem a wyprowadzeniem mikroukładu	jeden drut w izolacji nie utrudniającej lutowania	pasek wykrawany z folii metalowej
3	Połączenia elementów przewodzących z wyprowadzeniami mikroukładów /ew. elementów dyskretnych	wlutowywanie w metalizowane otwory	zaginanie wyprowadzeń i przylutowywanie ich do pól wytrawianych w folii	zgrzewanie wyprowadzeń do folii metalowej /niklowej/	owijanie odizolowanych końców drutów na specjalnych wyprowadzeniach	przylutowywanie do wyprowadzeń drutu w izolacji nie utrudniającej lutowania
4	Połączenia modułów z innymi modułami podstawowymi	za pomocą złącz płaskich bezpośrednich	pośrednich	za pomocą wiązki giętkich przewodów o przekroju okrągłym /rys. 2/	za pomocą płaskich giętkich kabli	za pomocą płaskich złącz o kontaktach w kształcie stożkowych szpilek

Nr kolejny	Cechy wspólne	Możliwe rozwiązanie				
		A	B	C	D	E
5	Elementy usztywniające moduł mechanicznie	ramki metalowe, rys. 2	obudowy wtyków złącz pośrednich montowanych na płytce			
6	Gniazdka kontrolne pozwalające na wykonanie parametrów elektrycznych podczas pracy modułu w większym zespole	gniazdka kontrolne, jak na rys. 12	pola kontaktowe na krawędzi płytki przystosowane do współpracy z odpowiednio zakończonym przewodem, rys. 3	specjalne złącza, jak na rys. 13		
7	Elementy pozwalające na wyjęcie modułu z bloku	uchwyt pakietu, rys. 14.1	dźwigienki, rys. 14.2	klucze, rys. 14.3		
8	Elementy zabezpieczające przed włożeniem modułu w niewłaściwe miejsce w urządzeniu /bloku/	elementy polaryzacyjne w złączach płaskich	znaki literowe cyfrowe lub kolorowe znaki na widocznych powierzchniach modułu, np. na uchwycie	kolorowe geometryczne znaki na uchwytach modułów umieszczonych w bloku, rys. 14		
9	Rodzaj obudowy elementu wchodzącego w skład obwodu elektrycznego	obudowy elementów dyskretnych	obudowa tradycyjna /transystorowa/ mikroukładu	obudowa mikroukładu typu Krab /Flat-Pack/	obudowa mikroukładu typu Pająk /DIL/	obudowa mikroukładu typu Apack

pakietami będą stanowiły większość w liczbie wszystkich połączeń elektrycznych całego urządzenia, co jest niekorzystne z uwagi na ogólną niezawodność urządzenia. Analiza liczby wyjść z pakietu przypadającej na 1 mikroukład wchodzący w jego skład wykazała, że przy budowaniu węzłów funkcjonalnych mieszczących się na przyjętej płytce, liczba ta nie jest wysoka. Przeciętnie potrzeba około 0,9 - 3,8 wyjść z pakietu na 1 mikroukład /tabela 2/.

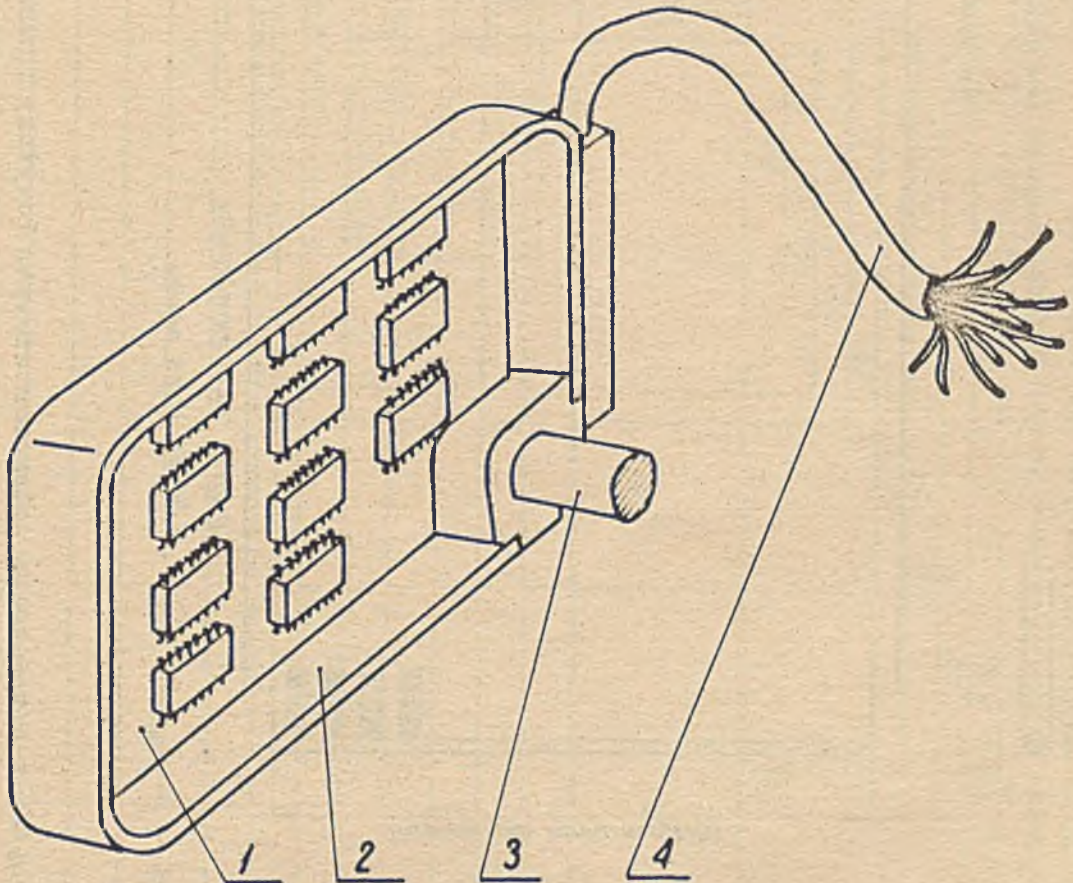
Tabela 2. Zestawienie danych o płytkach do obwodów złożonych z mikroukładów

Nazwa producenta	Liczba mikroukładów	Liczba wyjść z modułu	Wymiary płytki mm	Liczba wyjść z modułu przypadająca na jeden mikroukład
Raythen Computer's M-Series	3 szeregi po 3 razem 9	20	76x93	2,2
Canoga Electronics Corporation	2 szeregi po 5 razem 10	31	-	3,1
Cambion Cambridge Thermionic Corp.	2 szeregi po 4 razem 8	31	114x114	3,6
Honeywell Computer Control Division	w pierwszym szeregu 5, w drugim szeregu 3, razem 8	17	-	1,2
Vitro Electronics	2 szeregi po 9, razem 18	22	-	1,2
Ferranti	3 szeregi po 13, razem 39	35	-	0,9

Jeżeli wyjście z pakietu wykonane jest za pomocą złącz /tabela 1, rozw. 4A i 4B/, należy dążyć do tego, aby długość jednego z boków płytki była równa w przybliżeniu długości złącza. Warunek ten wynika z ana-

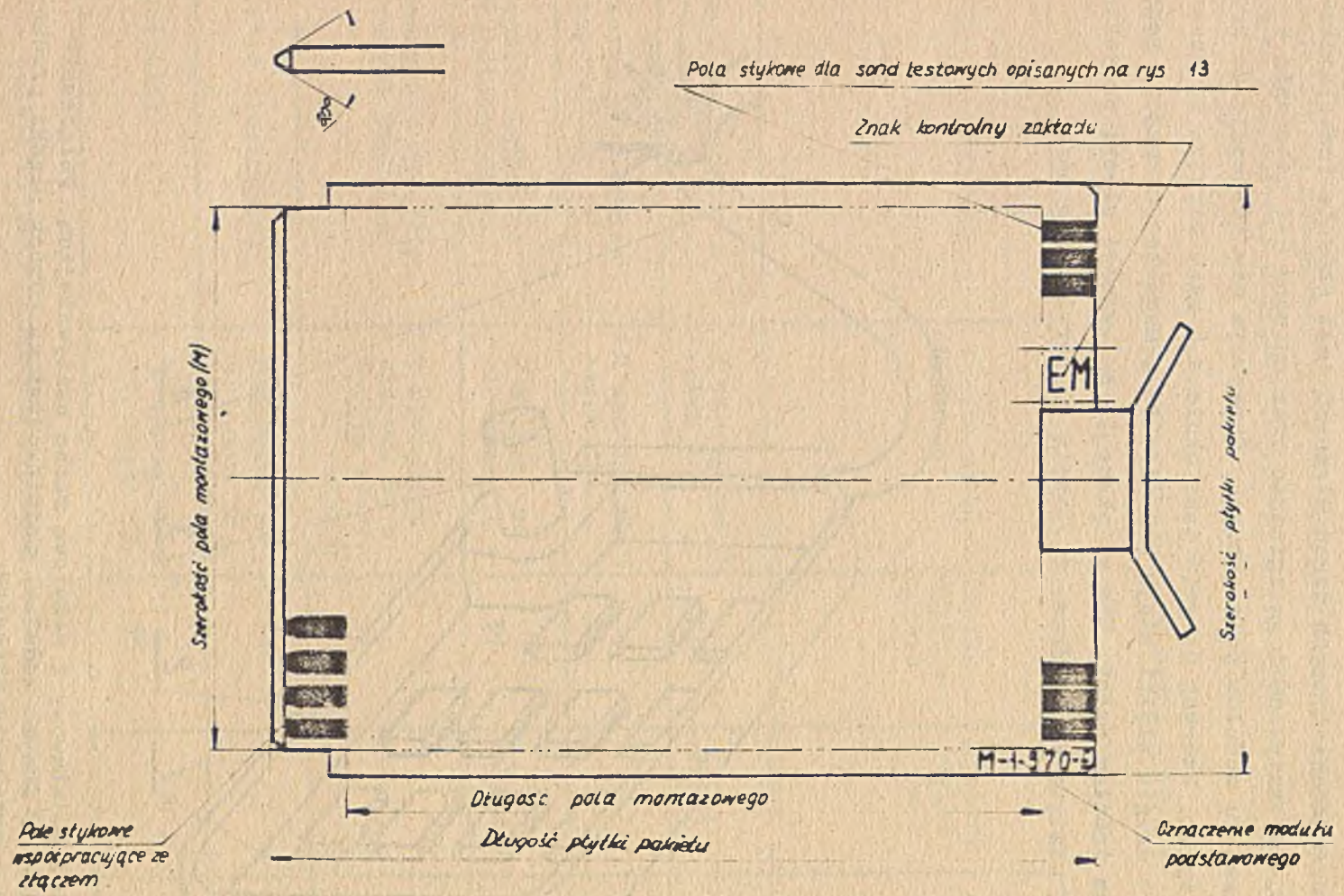
lizej wyzyskania powierzchni płytki przy prowadzeniu ścieżek wzdłuż linii siatki podstawowej. Na skutek tego długość jednego z boków płytki jest iloczynem liczby wyjść i wielkości podziałki kontaktów złącza.

Częstotliwość mechanicznych drgań własnych jest głównie funkcją długości płytki, jej sztywności na zginanie oraz sposobu jej ustalenia w szkielecie zespołu modułów podstawowych. Obserwuje się tendencję do projektowania płytek, których długość jest około 1,4 razy większa od szerokości. Zbyt długie płytki stają się wiotkie i mogą łatwo wpaść w rezonans z innym źródłem drgań. Dla zwiększenia sztywności płytki projektuje się ramki usztywniające /rys. 2, tabela 1, rozwiązanie 5A/.



Rys. 2. Moduł podstawowy z metalową ramką usztywniającą. Połączenie modułu z innymi modułami podstawowymi za pomocą wiązki przewodów o przekroju okrągłym

1 - płytka, 2 - ramka usztywniająca, 3 - oś obrotu związana ze szkieletem bloku, 4 - wiązka przewodów



Rys. 3. Rysunek płytki z zaznaczonym polem montażowym. Powyższy rysunek jest podstawą do projektu modułu podstawowego

Na podstawie doświadczeń produkcyjnych ustalono ciąg wymiarów płytek podany w tabeli 3¹. W tabeli zaznaczono wymiary płytek odpowiednie dla kaset dwu-, cztero- i sześciobelkowych.

2. 2. Przewody drukowane, pola lutownicze, pola kontaktowe

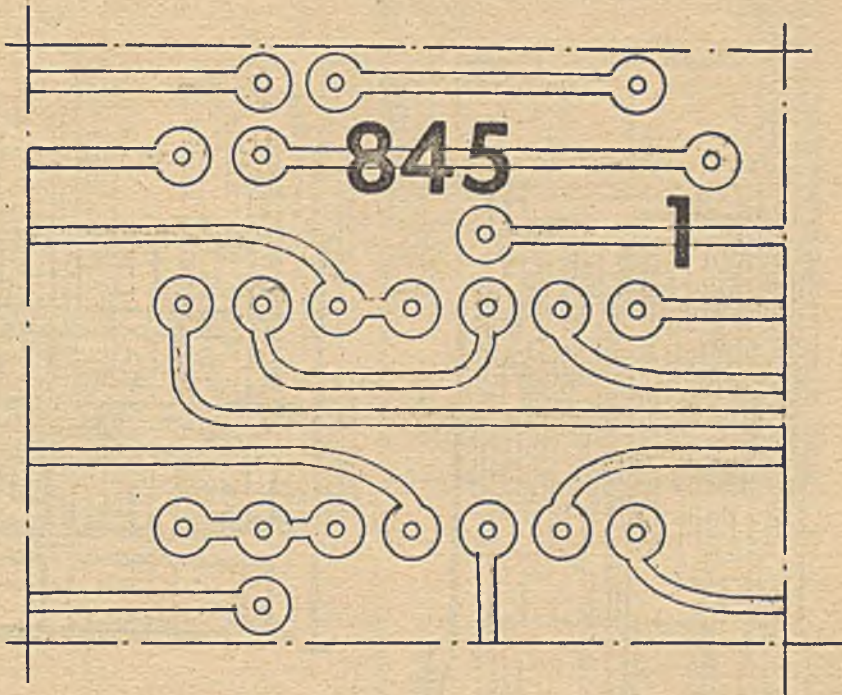
Po ustaleniu wymiarów płytki i wyborze złącza, następnym etapem w procesie projektowania jest rozmieszczenie na powierzchni płytki przewodów drukowanych, pól lutowniczych i pól kontaktowych współpracujących ze złączem. Ustalenie wymiarów płytki i rodzaju złącza pozwala na wykonanie rysunku, na którym określa się tzw. pole montażowe /rys. 3/.

Pole montażowe jest to powierzchnia płytki, na której mogą być rozmieszczane elementy obwodu elektronicznego. Ze względów konstrukcyjnych przewody drukowane prowadzone są wzdłuż linii siatki podstawowej, przy czym po jednej stronie płytki wszystkie przewody są do siebie równoległe. Ze względu na technologię wykonywania rysunków-matryc istnieją drobne różnice w sposobie projektowania przewodów drukowanych. W przypadku, gdy rysunki-matryce wyklejane są na przezroczystej folii poliestrowej - dopuszcza się prowadzenie przewodów również po łukach /rys. 4/. Natomiast w wypadku wykonywania rysunków-matryc na zautomatyzowanym fotokoordynatografie przewody mogą być prowadzone tylko wzdłuż linii prostych prostopadłych do siebie /rys. 5a/.

Mikroukłady rozmieszcza się w szeregach i rzędach równoległych do boków płytki tak, żeby pola lutownicze znajdowały się w węzłach siatki. Odległości między szeregami, jak również odległości między rzędami zależą od liczby przewodów drukowanych umieszczonych na tych polach.

Przewody drukowane dla napięć 0 V umieszcza się na liniach ograniczających pole montażowe. Dzięki temu nawet w wypadku zetknięcia przewodów drukowanych np. z przewodnikami płytki w szkielecie bloku nie nastąpi zwarcie. W wypadkach uzasadnionych stosuje się dodatkowe przewody drukowane 0 V w środku pola montażowego.

¹ Według publikacji IEC

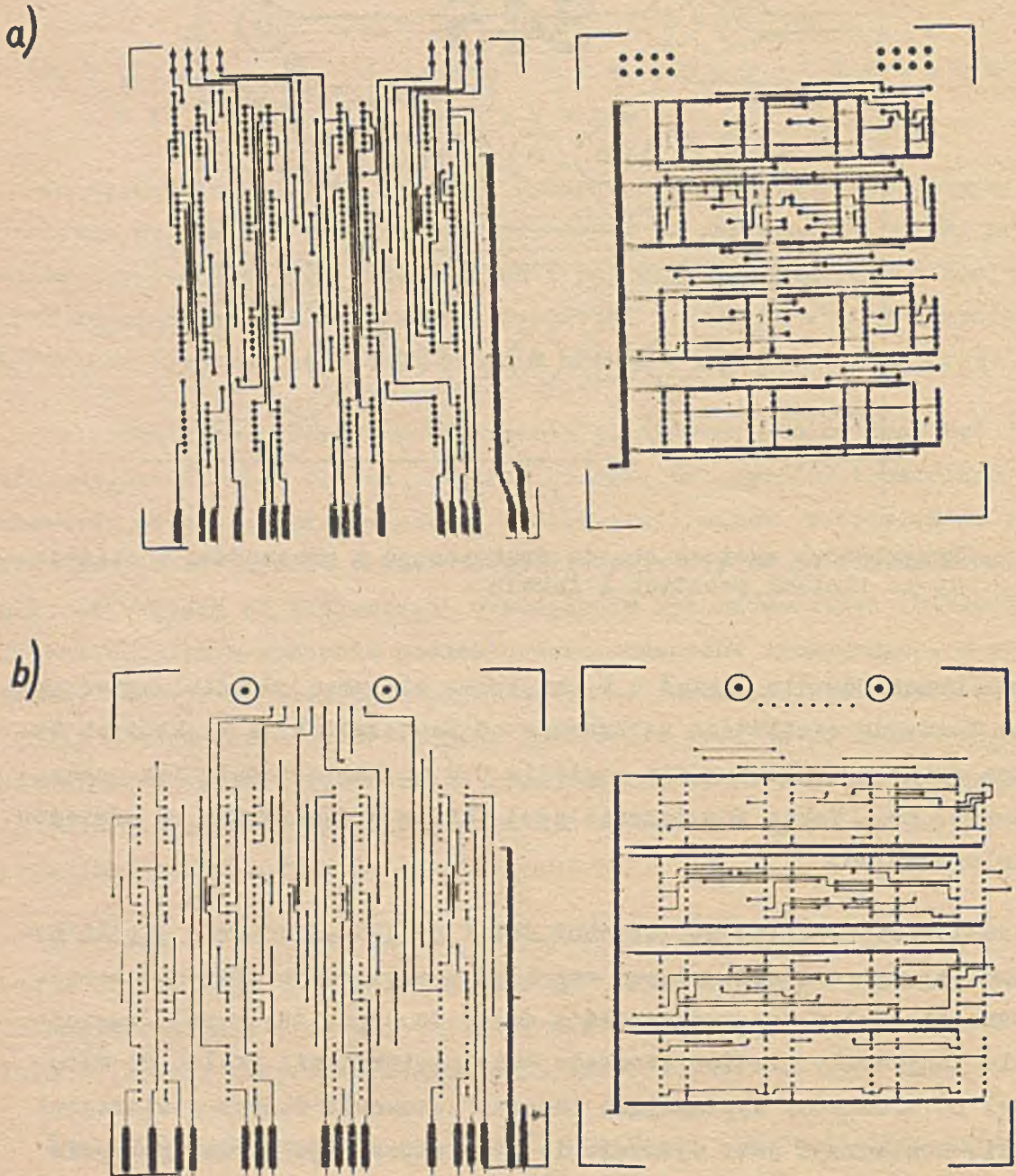


Rys. 4. Przykładowy wycinek obwodu drukowanego z przewodami prowadzonymi po liniach prostych i łukach

Obok przewodów dla napięć 0 V umieszcza się przewody dla napięć wyższych. Przewody zasilające są szersze od pozostałych. W niektórych wypadkach przewód drukowany dla napięcia 0 V ma kształt pola jak pokazano na rys. 6a. Takie rozwiązanie jest jednak niekorzystne ze względów technologicznych.

Pozostawienie dużych powierzchni folii po jednej stronie płytki powiększa jej ugięcia pod wpływem naprężeń wewnętrznych nierównomiernie rozłożonych. W tym przypadku należy dążyć do tego, aby i po drugiej stronie znajdowały się dostatecznie duże powierzchnie folii. Ponadto, z uwagi na trudności występujące podczas lutowania dużych powierzchni na fali, koniecznym jest wydzielenie pól lutowniczych przez pokrycie pozostałej powierzchni folii tuszem zabezpieczającym przed zwilżaniem przez lutowie.

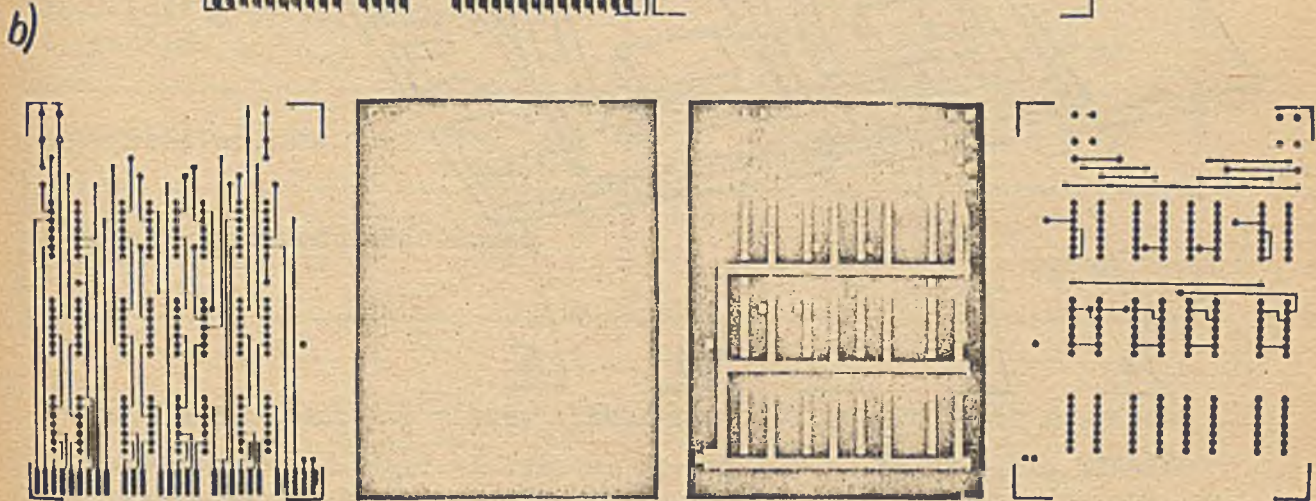
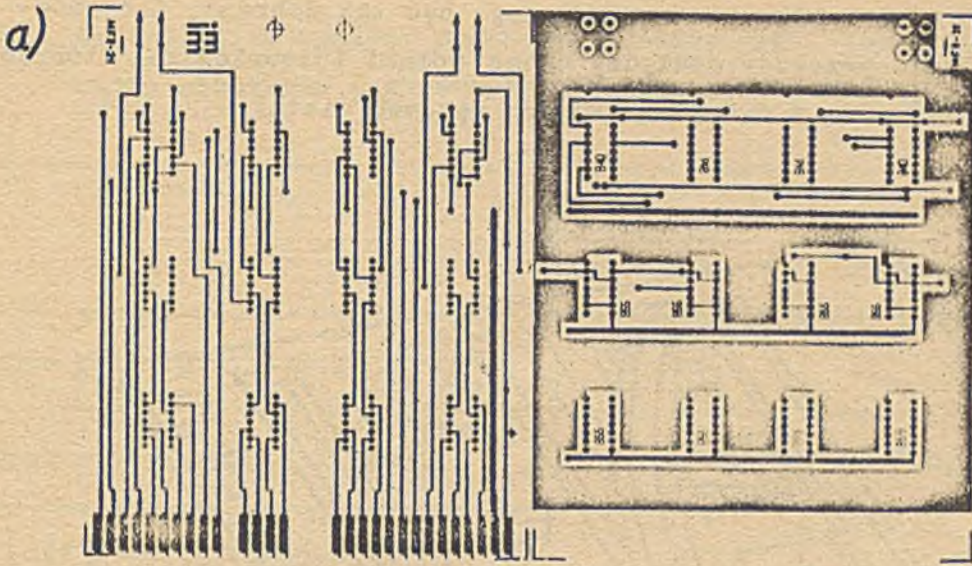
Dla zwiększenia gęstości upakowania, zamiast drukowanych przewodów zasilających stosowane są płaskie przewody zasilające wykrawane z folii miedzianej [3]. Przewody o odpowiednim kształcie mają języczki do wlutowania w otwory metalizowane lub do przylutowania do odpowiednich pól.



Rys. 5. Matryce obwodów drukowanych dwustronnych płytek

a. szerokość przewodów drukowanych 0,6 mm, średnica pól lutowniczych 2 mm,

b. szerokość przewodów drukowanych 0,4 mm, średnica pól lutowniczych 1,3 mm



Rys. 6. Matryce obwodów drukowanych:

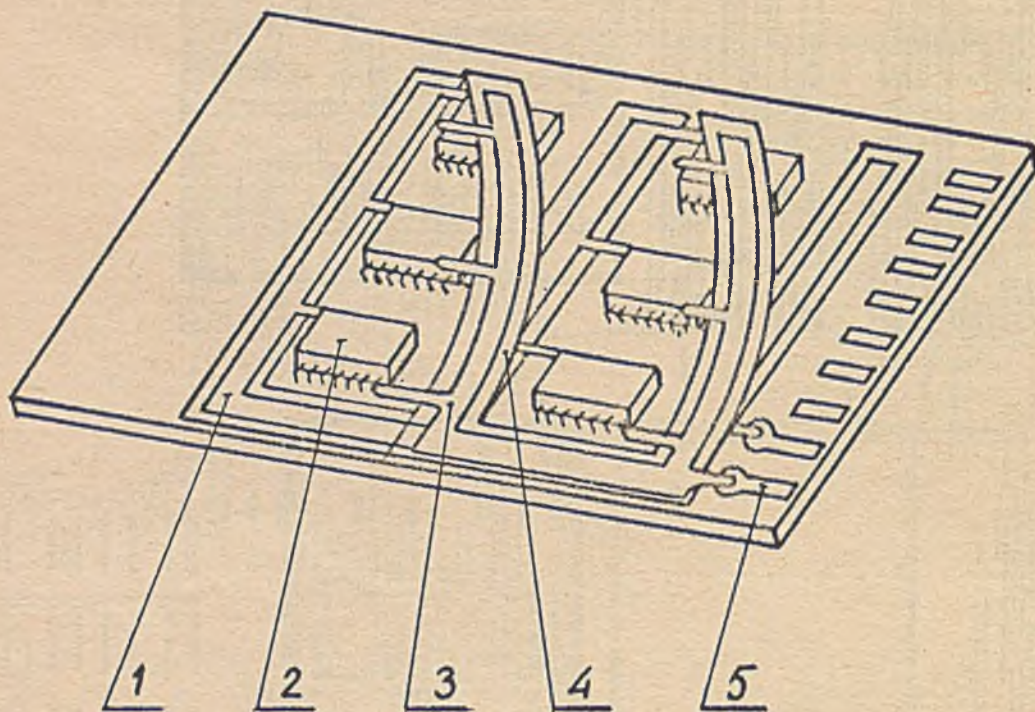
- a. dwustronna płytka drukowana. Przewód dla napięcia 0 V wykonany jest w kształcie pola o dużej powierzchni,
- b. matryce wielowarstwowej płytki drukowanej. Obwód elektryczny realizowany przez 4 warstwy jest powtórzeniem obwodu upakowanego na płytce przedstawionej na rys. 6a

Montaż przewodów na płytce polega na wlotowaniu języczków w otwory metalizowane pól stykowych płytki i otwory metalizowane przewidziane dla odpowiednich wyprowadzeń np. mikroukładów /rys. 7/.

Dalszym krokiem, który znacznie zwiększa możliwości upakowanie przewodów tzw. logicznych, jest płytka wielowarstwowa.

Zależnie od żądanej gęstości upakowania i wartości prądów przepływających przez przewody drukowane, przyjmuje się odpowiednie szerokości

przewodów i średnice pól lutowniczych mogą być tak dobrane, żeby można było prowadzić przewody pomiędzy dwoma polami lutowniczymi, których środki umieszczone są w dwóch sąsiednich węzłach siatki.



Rys. 7. Płytką z przewodami zasilającymi wykrawanymi z folii miedzianej

- 1 - przewód 0 V w płaszczu izolacyjnym, 2 - mikroukład,
- 3 - przewód zasilający, 4 - płaszcz izolacyjny, 5 - pole stykowe

Inaczej mówiąc, dopuszcza się wtedy prowadzenie przewodów drukowanych wzdłuż linii równoległych do siatki podstawowej i odległych od węzłów siatki o $\frac{1}{2}$ M. Przykładowe wielkości spotykanych przewodów i pól lutowniczych podano w tabeli 4. Na rys. 5a pokazano przykładową płytkę z polami lutowniczymi o średnicy 2 mm. Ten sam obwód elektryczny został zrealizowany na płytce mniejszej /rys. 5b/ przy zaprojektowaniu pól lutowniczych o średnicy 1,3 mm¹.

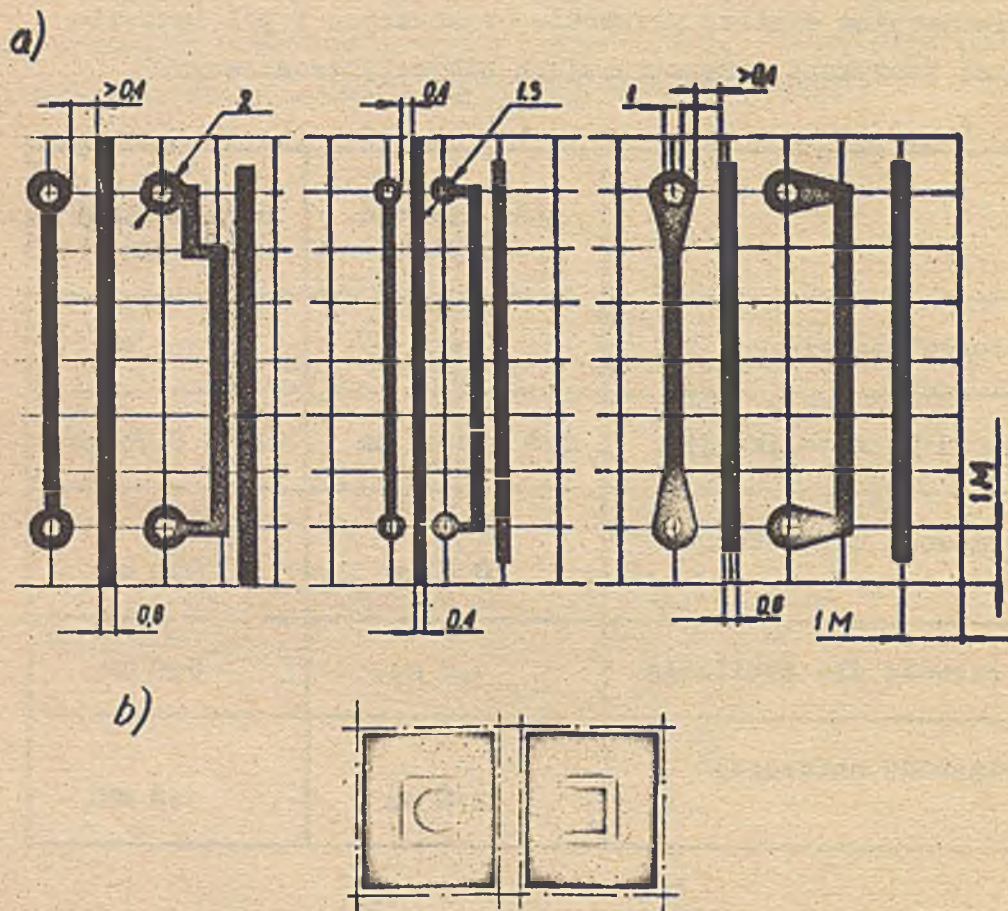
¹ Stopień trudności wykonania otworów metalizowanych w płytce z polami o średnicy 1,3 mm jest kilka razy wyższy niż dla płytki z polami lutowniczymi o średnicy 2 mm.

Tabela 4. Orientacyjne wymiary przewodów drukowanych i pól lutowniczych spotykane w konstrukcjach mikroelektronicznych

	mała gęstość upakowania	duża gęstość upakowania
Średnica pola lutowniczego	2 mm	1,3 mm
Średnica otworu po metalizacji	0,8 - 0,85 mm	0,7 - 0,75 mm
Szerokość przewodu dla połączeń logicznych	0,6 mm	0,4 mm
Szerokość przewodu dla zasilania	1,2 mm	0,9 mm
Szerokość przewodu zbiorczego 0 V	1,6 mm	1,6 mm

Przykłady odległości między krawędziami pól lutowniczych i przewodów drukowanych pokazano na rys. 8. Ze względu na technologię trawienia folii odległość ta nie może być mniejsza niż 0,4 mm.

Rozstawienie pól lutowniczych dla wyprowadzeń mikroukładów, a zwłaszcza dla elementów dyskretnych, powinno być dobrane z uwzględnieniem danych katalogowych odległości między wyprowadzeniami. Ponadto ustalając rozstawienie pól lutowniczych należy brać pod uwagę wymiary obudów. Odległość między polami lutowniczymi dla wyprowadzeń sąsiadujących ze sobą elementów powinna zapewniać odstęp 1 mm między ich obudowami. Należy również zwracać uwagę, żeby obudowy nie wystawały poza granice pola montażowego. Pola lutownicze dla kondensatorów blokujących umieszcza się przeważnie na przewodach dla napięć zasilających, jak najbliżej pól kontaktowych współpracujących ze złączem /rys. 5/. W przypadku dużych powierzchni ścieżek /rys. 6a/ ze względu na wymagania technologiczne pola lutownicze powinny być ukształtowane, jak na rys. 8b.



Rys. 8. Kształty przewodów drukowanych i pól lutowniczych

- a. Charakterystyczne przykłady prowadzenia przewodów drukowanych obok pól lutowniczych
- b. Kształty pól lutowniczych wykonanych w dużych powierzchniach folii. Dzięki takiemu ukształtowaniu pole lutownicze szybciej się nagrzewa i jednocześnie utrudnia rozplýwanie się spoiwa

Wymiary i kształt pól kontaktowych współpracujących ze złączem są podawane przez producenta złącz. Z tego względu należy zawsze przy zakupie złącz żądać rysunków pól kontaktowych na płytce.

2.3. Połączenie między dwoma stronami płytki

Najstarszą metodą połączeń między stronami płytki są połączenia za pomocą nitów rurkowych, których kołnierze są przylutowywane do odpowiednich pól będących zakończeniami ścieżek. Praktyka wykazała, że po-

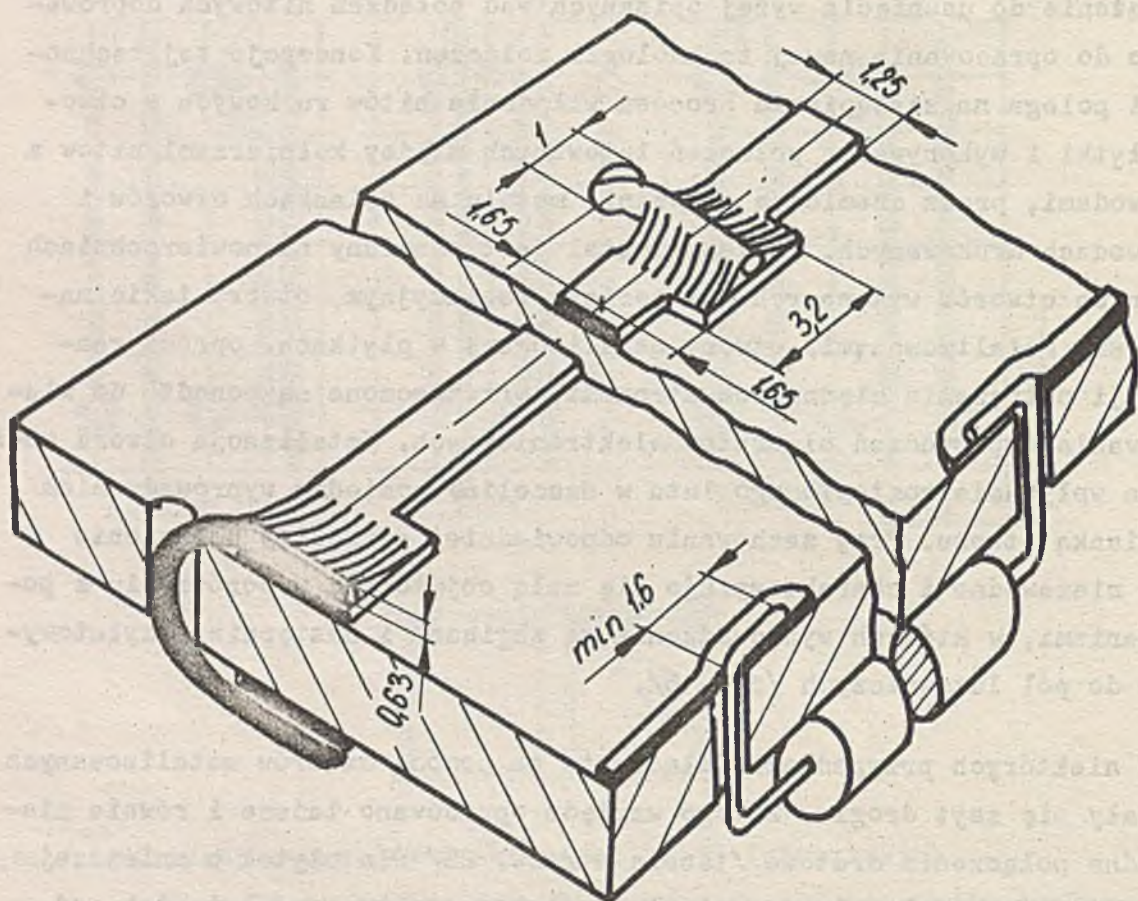
łączenia nitowe w miejscach lutowania są zawodne /zwłaszcza przy płytkach z laminatu papierowo-bakelitowego "puchnącego" przy nagrzewaniu/ i nie pozwalają uzyskać dużej gęstości upakowania.

Dążenie do usunięcia wyżej opisanych wad połączeń nitowych doprowadziło do opracowania nowej technologii połączeń. Koncepcja tej technologii polega na zastąpieniu procesu wkładania nitów rurkowych w otwory płytki i wykonywania połączeń lutowanych między kołnierzami nitów a przewodami, przez chemiczne osadzanie metalu na ściankach otworów i przewodach drukowanych. Ponieważ metal jest osadzany na powierzchniach bocznych otworów wykonanych w materiale izolacyjnym, otwory takie nazywa się metalizowanymi. Otwory metalizowane w płytkach, oprócz realizacji połączenia między ich stronami, przeznaczone są ponadto do wlutowywania wyprowadzeń elementów elektronicznych. Metalizacja otworu umożliwia wpływanie roztopionego lutu w szczelinę pomiędzy wyprowadzeniem a ścianką otworu. Przy zachowaniu odpowiedniej szczeliny połączenie jest niezawodne i charakteryzuje się małą objętością w porównaniu z połączeniami, w których wyprowadzenia są zaginane i następnie przylutowywane do pól lutowniczych /rys. 6/.

W niektórych przypadkach połączenia za pomocą otworów metalizowanych okazały się zbyt drogie. Z tego względu opracowano tańsze i równie niezawodne połączenia drutowe /tabela 1 rozw. 2B/ dla płytek o mniejszej gęstości upakowania. Połączenia te spełniają takie wymagania jak odporność na zmiany grubości płytki oraz możliwość zautomatyzowania produkcji połączeń. Jedno z rozwiązań pokazano na rys. 9.

Drut miedziany posrebrzany w kształcie litery U przechodzi przez otwór umieszczony obok ścieżek przewodzących. Ramiona drutu w kształcie U leżą na polach lutowniczych ścieżek po obu stronach płytki. Podczas przesuwania płytki nad falą ciekłego spoiwa /tzw. lutowanie na fali/ nastąpi przylutowanie wszystkich drutów do przewodów drukowanych po jednej stronie płytki. Powtarzając operację lutowania dla drugiej strony płytki wykona się połączenia drutów ze ścieżkami na drugiej stronie. Ukształtowanie drutu w formie litery U o dostatecznie długich ramionach, zabezpiecza przed uszkodzeniem połączenia lutowanego na jednej stronie płytki przy podgrzewaniu drugiej podczas przesuwania

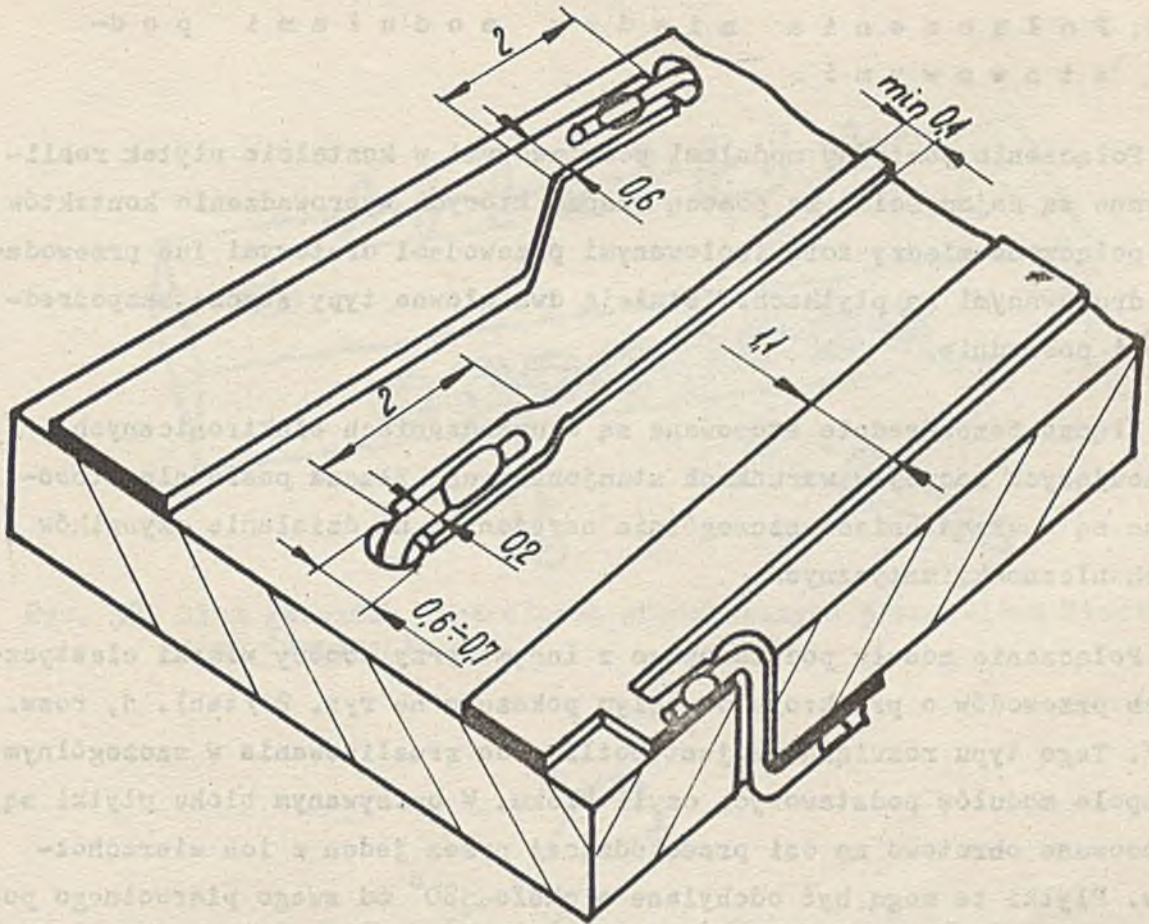
nia nad falą ciekłego spoiwa. Ciepłne wydłużenie drutu powoduje jedynie zmianę krzywizny łuku drutu w otworze, którego średnica jest około 2 razy większa od średnicy drutu.



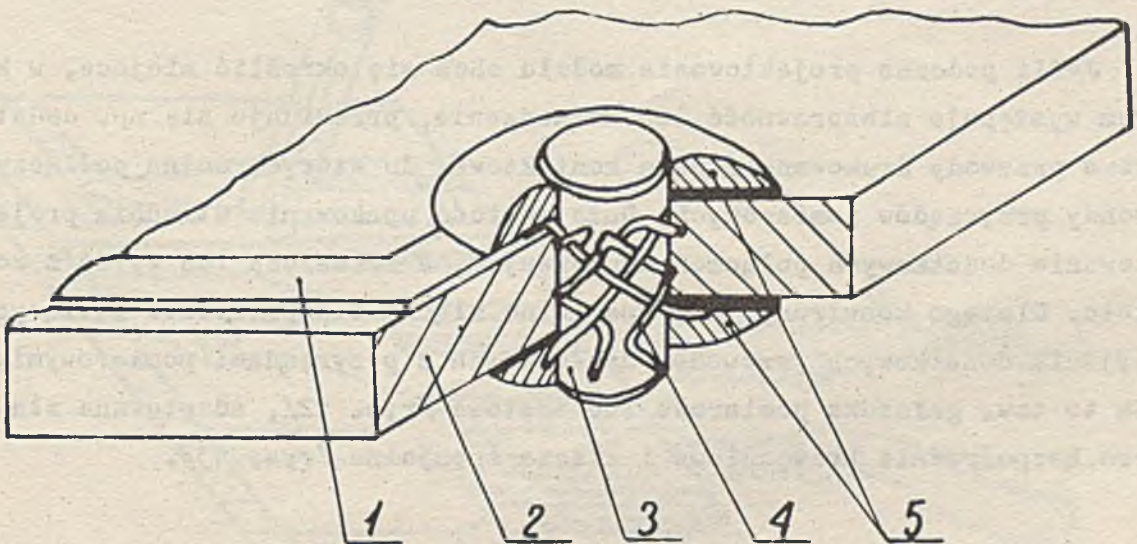
Rys. 9. Połączenie między dwoma stronami płytki wykonane za pomocą drutu w kształcie litery U, którego końce przylutowane są do pól lutowniczych

Bardzo podobne rozwiązanie połączeń między stronami płytki zastosowano dla płytek z laminatów szklano-epoksydowych dwustronnie foliowanych niklem. Różnica polega na tym, że końce drutu są zgrzewane do ścieżek wytrawionych w folii niklowej /rys. 10/.

Ponieważ spotyka się również szkielety modułów wykonane z płytek papierowo-bakelitowych dwustronnie foliowanych miedzią należy zaznaczyć, że z uwagi na duże zmiany grubości płytki występujące podczas zmian temperaturowych przy lutowaniu, połączenia między dwoma stronami płytki muszą być bardzo elastyczne. Jedno z rozwiązań pokazane na rys. 11, opisano w [4].



Rys. 10. Metoda wykonania połączenia między dwoma stronami płytki za pomocą drutu, którego końce są zgrzewane do powierzchni folii niklowej



Rys. 11. Elastyczne połączenie drutowe pomiędzy dwoma stronami płytki o dużym współczynniku rozszerzalności cieplnej
1 - przewód drukowany, 2 - płytka, 3 - rdzeń z gumy silikonowej, 4 - opłót rdzenia wykonany z drucików miedzianych i pozłacanych, 5 - spoiwo

2.4. P o ł ą c z e n i a m i ę d z y m o d u ł a m i p o d - s t a w o w y m i

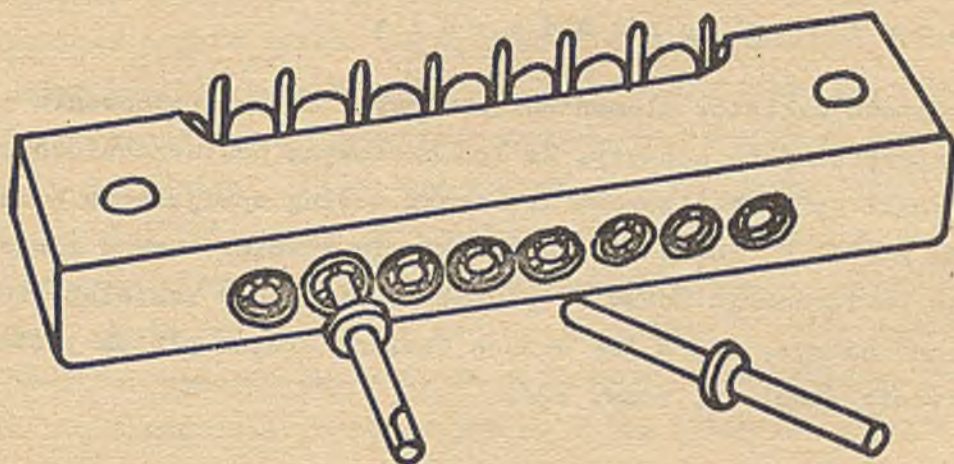
Połączenia pomiędzy modułami podstawowymi w kształcie płytek realizowane są najczęściej za pomocą złącz, których wyprowadzenia kontaktów są połączone między sobą izolowanymi przewodami drutowymi lub przewodami drukowanymi na płytkach. Istnieją dwa główne typy złącz: bezpośrednie i pośrednie.

Złącza bezpośrednie stosowane są w urządzeniach elektronicznych pracujących raczej w warunkach stacjonarnych. Złącza pośrednie stosowane są w urządzeniach szczególnie narażonych na działanie czynników mechaniczno-klimatycznych.

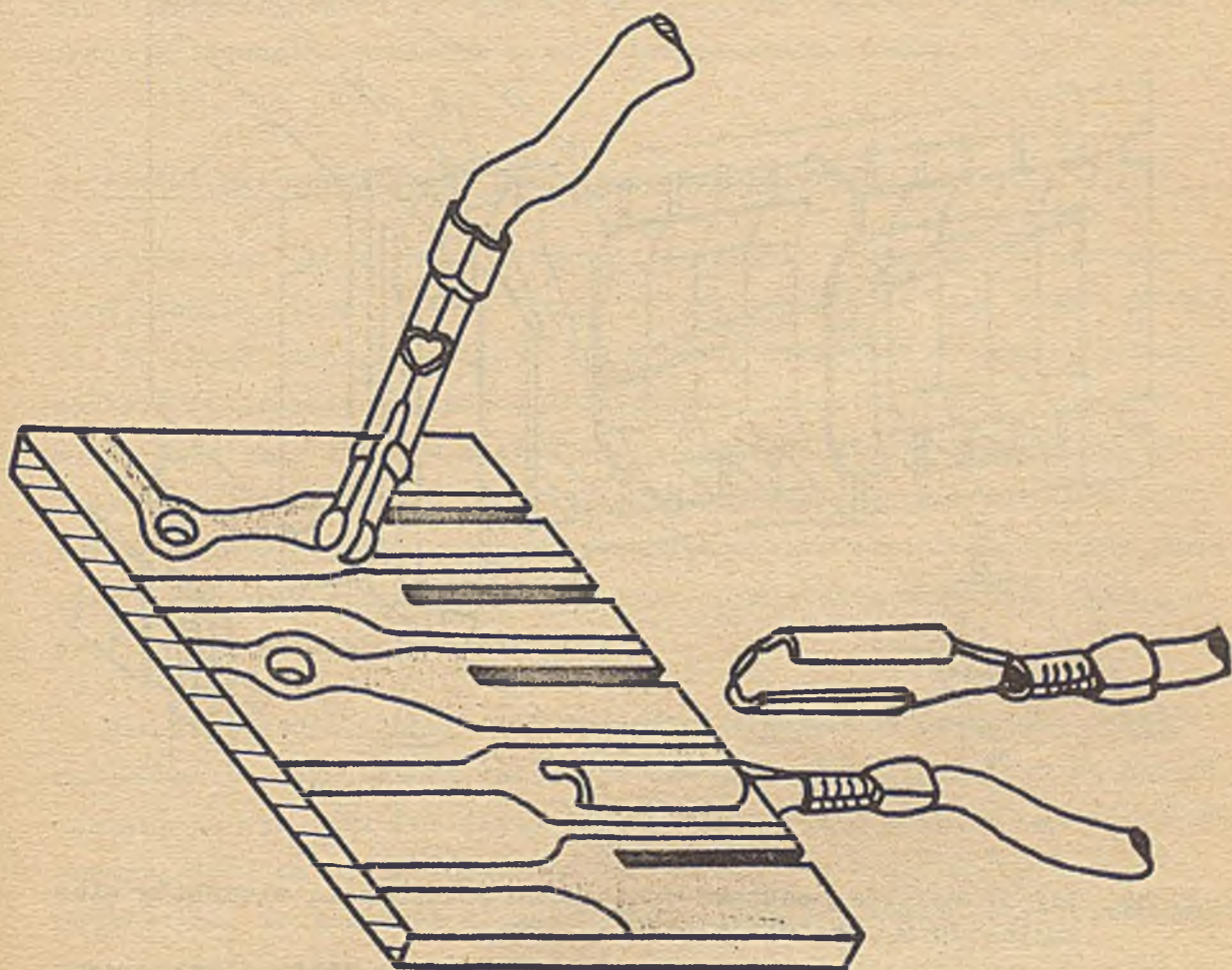
Połączenie modułu podstawowego z innymi przy pomocy wiązki elastycznych przewodów o przekroju okrągłym pokazano na rys. 2 /tabl. 1, rozw. 4C/. Tego typu rozwiązanie jest możliwe do zrealizowania w szczególnym zespole modułów podstawowych czyli bloku. W opisywanym bloku płytki są umocowane obrotowo na osi przechodzącej przez jeden z ich wierzchołków. Płytki te mogą być odchylane o około 180° od swego pierwotnego położenia.

2.5. G n i a z d k a k o n t r o l n e

Jeśli podczas projektowania modułu chce się określić miejsce, w którym występuje niesprawność lub uszkodzenie, przewiduje się np. dodatkowe przewody drukowane i pola kontaktowe, do których można podłączyć sondy przyrządów pomiarowych. Duża gęstość upakowania utrudnia projektowanie dodatkowych połączeń drukowanych, a zwłaszcza ich wyjść z modułu. Dlatego konstruuje się specjalne złącza dla przewodów łączących wyjścia dodatkowych przewodów drukowanych z przyrządami pomiarowymi. Są to tzw. gniazdko pomiarowe lub testowe /rys. 12/, adaptowane złącza bezpośrednie krawędziowe i złącza specjalne /rys. 13/.



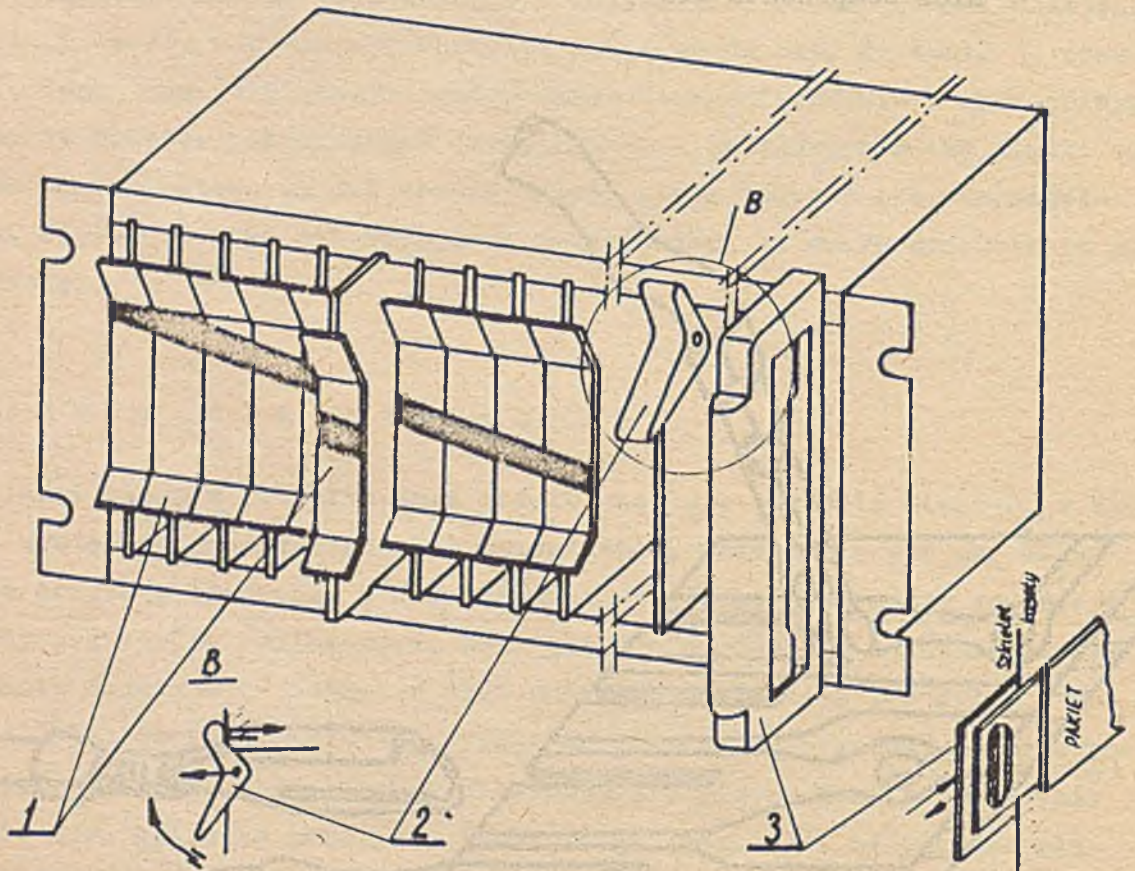
Rys. 12. Blok gniazdek kontrolnych produkowanych przez Ultra Electronics Components Ltd



Rys. 13. Specjalne złącza kontrolne

2.6. Uchwyty i dźwignie do wyjmowania modułu z urządzenia

W przypadku pakietów elementami służącymi do ich wyjmowania z urządzenia najczęściej są uchwyty. Na ich czołowych powierzchniach umieszcza się znaki cyfrowo-literowe lub znaki według specjalnego kodu barwnych plam /tabl. 1, rozw. 8B/. Prowadzi się również barwne linie przez wszystkie powierzchnie uchwytów płytek wsuniętych w szkielet bloku jak to pokazano na rys. 14. W ten sposób zamiana miejsc płytek jest łatwa do zauważenia /tabl. 1, rozw. 8C/.



Rys. 14. Zespół modułów podstawowych. Różne rozwiązania elementów służących do wyciągania płytek

1 - uchwyty do płytek z oznaczeniem barwną linią miejsca modułu w zespole, 2 - dźwignienka, 3 - klucz

Jeśli płytki mają złącza pośrednie, to wtedy przy wyciąganiu płytki ze szkieletu panelu trzeba początkowo użyć znacznych sił /rzędu 150 N/. Celem zmniejszenia wysiłku personelu pracującego przy urządzeniu na płytce montuje się dźwignienki kątowe. Naciskając na dłuższe ramię, obraca się dźwignię aż do momentu oparcia krótszego ramienia o szkielet zespołu. Dalszy nacisk wywołuje przesunięcie płytki i rozsuniecie kontaktów złącza pośredniego. Wówczas przy użyciu małej siły można wyjąć płytkę ze szkieletu modułu. Stosunek długości ramion dźwigni powinien wynosić około 2. Na czołowych powierzchniach dźwigni umieszcza się oznaczenia podobnie jak na wyżej opisanych uchwytach.

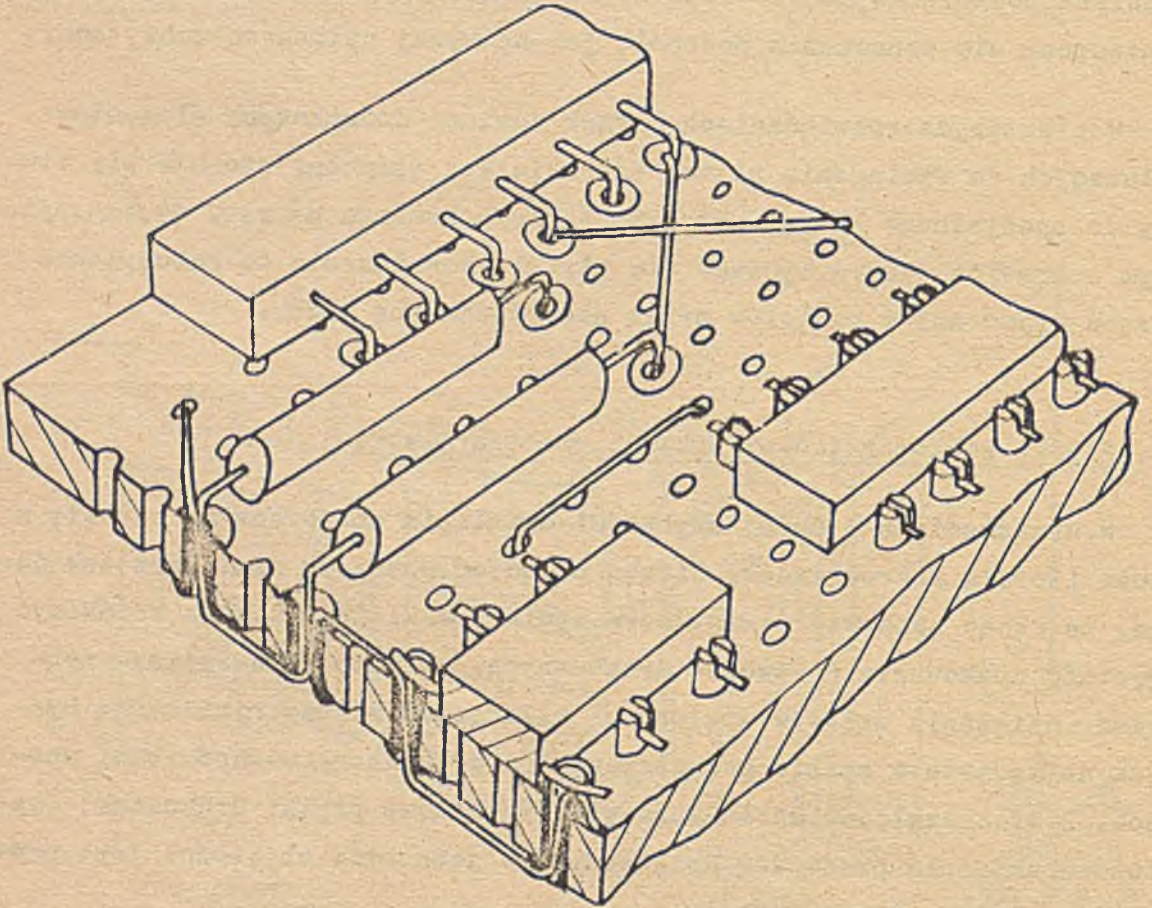
W niektórych rozwiązaniach płytek zamiast dodatkowych elementów służących do wyciągania płytek ze szkieletu zespołu, stosuje się otwory do specjalnego klucza. Kluczem takim /pokazanym na rys. 14/zaczeplonym o krawędź otworu wyciąga się płytki. Rozwiązanie to zabezpiecza przed wyjmowaniem pakietów przez nieupoważnione osoby.

3. Płytki wielowarstwowe, pakiety wielowarstwowe

W urządzeniach o dużej szybkości działania stosowane są pakiety z dużą ilością mikroukładów. Liczba połączeń pomiędzy nimi jest tak duża, że chcąc zachować miniaturowe wymiary szkieletu trzeba zwiększyć gęstość upakowania przewodów drukowanych. Ponadto, z uwagi na szybkość działania układów scalonych, połączenia między nimi muszą być jak najkrótsze w sensie geometrycznym i prowadzone w odpowiedni sposób. Z tych względów opracowano wielowarstwowe płytki drukowane. Gęstość upakowania przewodów drukowanych w jednostce objętości jest proporcjonalna do ilości warstw.

Dla ilustracji, na rys. 6b przedstawiono obwody drukowane pakietu czterowarstwowego, który realizuje ten sam schemat połączeń co pakiet ukazany na rys. 6a. Pomijając zalety elektryczne pakietu czterowarstwowego, jest on dwukrotnie mniejszy od pakietu dwustronnego. Należy podkreślić, że tak dużą miniaturyzację uzyskano nawet przy przewodach drukowanych o szerokości 0,6 mm i średnicach pól lutowniczych 2 mm /porównaj tabela 3/.

Technologia wykonywania płytek wielowarstwowych jest czasochłonna i kosztowna. Zaprojektowane schematy połączeń nie powinny ulegać zmianie w trakcie opracowania urządzenia. Z tych względów ostatnio zaczęto realizować wielowarstwowe połączenia za pomocą izolowanego drutu. Mikroukłady i ewentualnie elementy dyskretne rozmieszczane są na prostokątnej płytce z laminatu szklano-epoksydowego nie pokrytego folią metalową. Wyprowadzenia mikroukładów lub elementów dyskretnych wsuwane są w otwory kołków przynitowanych do płytki /rys. 15/. Przez te same otwory



Rys. 15. Moduł podstawowy z wielowarstwowymi połączeniami elektrycznymi wykonanymi za pomocą drutów

1 - Płytką z otworami przelotowymi, 2 - wyprowadzenie elementu obwodu, 3 - kołek z otworem, 4 - drut z emalii nie utrudniającej lutowania

przesuwa się drut w izolacji z emalii umożliwiającą lutowanie. Jednym drutem, bez rozcinania go na odcinki, łączy się wszystkie kołki. Następnie wykonuje się połączenia lutowane drutu z kołkami. Na skutek ciepła doprowadzonego przez lutownicę emalia izolująca ulega rozpusz-

czeniu. Podczas prowadzenia drutu przez otwory kołków, odcinki drutu krzyżują się wielokrotnie. Można powiedzieć, że powstaje w ten sposób wielowarstwowe połączenie na wzór wielowarstwowych płytek drukowanych. Niezawodność takiego pakietu jest wysoka ponieważ:

- Połączenie lutowane jest wykonane bezpośrednio między drutem i wyprowadzeniem elementu; kołek jest tylko elementem konstrukcyjnym a nie elementem przewodzącym.
- Jednemu połączeniu towarzyszy jedna operacja lutowania, a więc przy prawidłowym doborze parametrów procesu nie powinny powstawać tzw. zimne lutowania. W innych rozwiązaniach modułów jak np. drutowych połączeniach między dwiema stronami płytki /tabela 1, rozw. 2B/ dla jednego połączenia trzeba wykonywać proces lutowania dwukrotnie.
- Wszystkie punkty obwodu elektrycznego są połączone jednym drutem. W porównaniu z połączeniami wykonanymi za pomocą odcinków drutu, zredukowano o 50% liczbę zetknięć dwóch metali w połączeniu lutowniczym.
- Drut przesunięty przez otwory kołków nie jest napięty. Dzięki temu naprężenia wewnątrz drutu powstałe na skutek zmian temperaturowych nie mogą spowodować pęknięć. Dla porównania: w płytkach z otworami metalizowanymi często występują uszkodzenia w postaci pęknięć warstw metalu na powierzchni bocznej otworu, na skutek zmian temperaturowych.

Pakiet o takim rozwiązaniu konstrukcyjno-technologicznym jest tańszy w porównaniu z pakietami poprzednio opisanymi ponieważ:

- Rozmieszczenie elementów w module jest łatwe. Problem unikania krzyżujących się przewodów, jak w przypadku przewodów drukowanych został wyeliminowany.
- Niepotrzebne są dokładne pracochłonne rysunki układu przewodów; tzw. rysunki-matryce połączeń.
- Istnieje możliwość szybkiej zmiany układu połączeń.

Powyższe zalety i duża niezawodność pakietu zdecydowały, że przyjęto powyższe rozwiązanie m.in. dla niektórych urządzeń w sztucznych satelitach Ziemi.

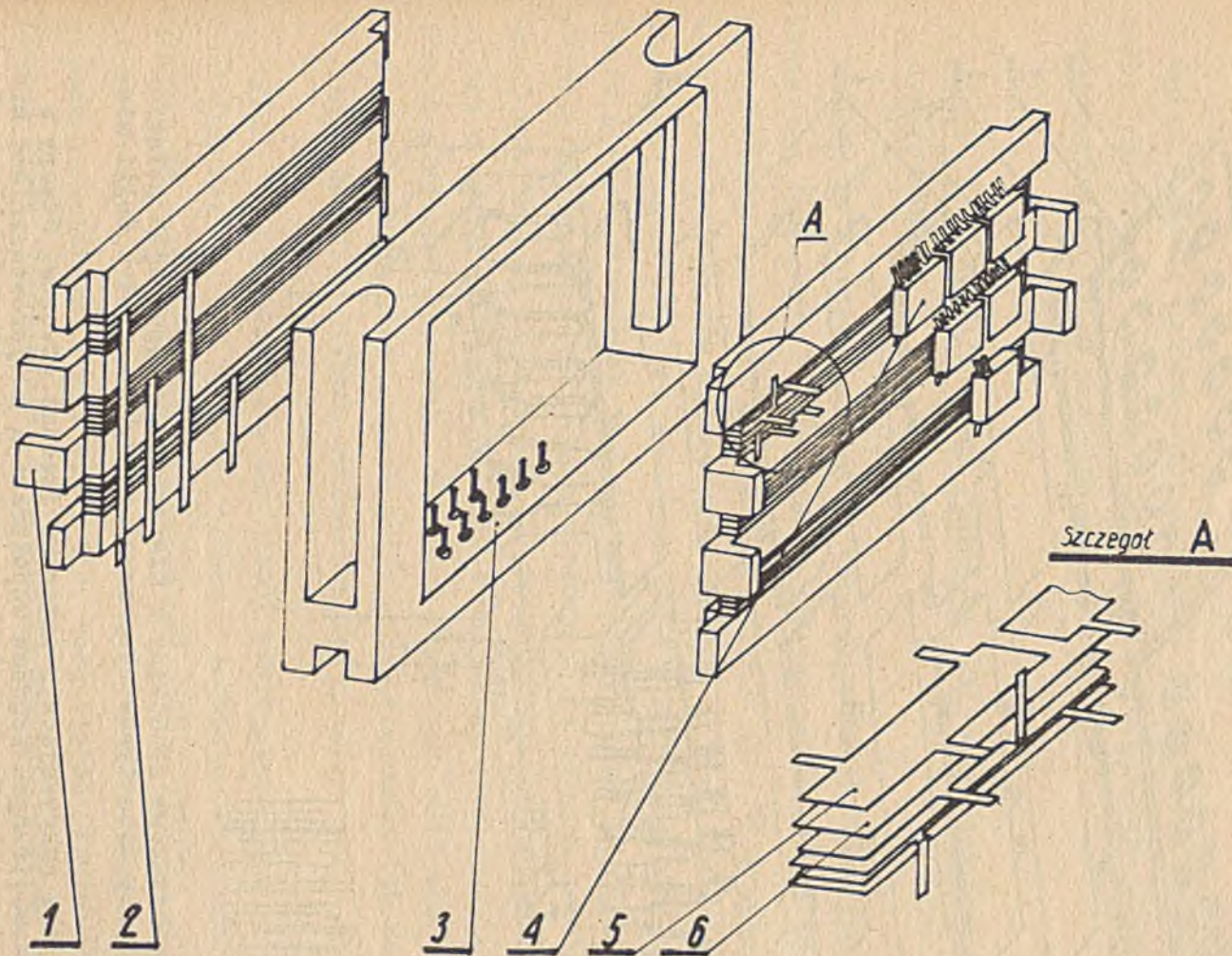
W opisanym pakiecie połączenia z innymi modułami realizuje się za pomocą złącz o kontaktach w kształcie stożkowych otworów, w które wciska się stożkowe szpilki /tabela 1, rozw. 4E/.

4. Moduły podstawowe z elementami przewodzącymi wykrawanymi z folii metalowej

Wyżej opisane moduły były konstrukcjami płaskimi. Opracowanie wielowarstwowych płytek drukowanych zwróciło myśl konstruktorów w kierunku projektowania konstrukcji trójwymiarowych. Jednym ze znanych rozwiązań jest moduł pokazany na rys. 16 /tabela 1, moduł 1C2E3C4B5A9C/ opisany w [11].

Podobną koncepcję rozwiązania konstrukcyjnego przyjęto dla modułu składającego się z 5 mikroukładów typu pająk pokazanego na rys. 17 [6]. Połączenia elektryczne realizowane są przez cynowane paski z cienkiej blachy miedzianej z uszkami równomiernie rozłożonymi na krawędziach. Rozstawienie uszek jest równe rozstawieniu wyprowadzeń mikroukładów /5/, tzn. M. W module jest zazwyczaj około 6 pasków. Podczas montażu obcina się nożyczkami zbędne uszka, tak aby po nasunięciu pasków na wyprowadzenia mikroukładów uzyskać projektowane połączenia. Nasuwane na wyprowadzenia paski są przekładane taśmą izolującą /4/.

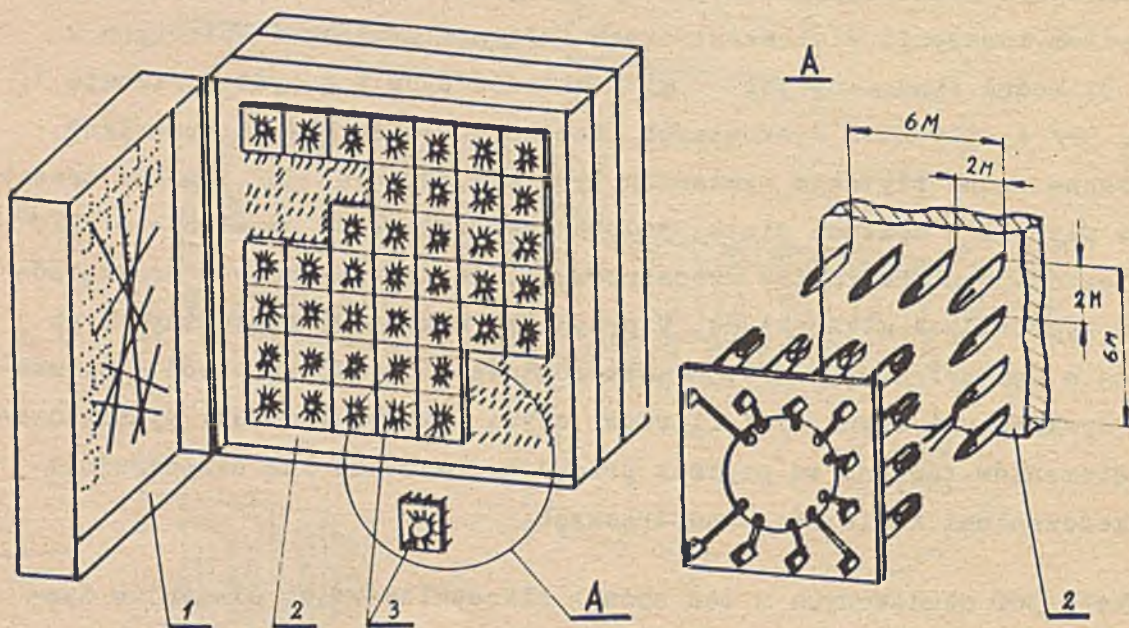
Zmontowany w ten sposób podzespół poddawany jest operacji masowego lutowania /np. lutowaniu przez częściowe zanurzenie/ dla uzyskania połączeń wyprowadzeń z uszkami pasków. Następnie na wierzch nakładana jest płytka /1/ z 4 rzędami otworów i drukowanymi polami lutowniczymi /2/. Wystające ponad płytkę wyprowadzenia mikroukładów /5/ zaginane są pod kątem 90° . Dzięki temu płytka drukowana prowizorycznie jest połączona z podzespołem. W międzyczasie wkłada się kontakty dwuostrzowe /8/ w ramkę usztywniającą modułu /7/ /tabela 1, rozw. 5A/ i ustala w niej przez odkształcenie trwałe /skręcenie końca o ok. 20° /.



Rys. 16. Moduł podstawowy zbudowany z mikroukładów typu Krab połączonych między sobą przewodami wykrawanymi z folii niklowej

1 - klocek izolacyjny, 2 - języczek z folii, 3 - ramka, 4 - mikroukład w obudowie Krab, 5 - paski z folii, 6 - pasek izolacyjny

Tak duże odstępy między końcami kontaktów pozwalają na łatwą kontrolę połączeń bez konieczności odsuwania na boki przewodów. W przypadku gdy obwód złożony z elementów dyskretnych nie mieści się na płytce o wymiarach $7,5M \times 7,5M$, płytkę można powiększyć przez wydłużenie o $7,5M$ lub $15M$. W ten sposób otrzymano płytki o wymiarach $7,5M \times 15M$ lub $7,5M \times 22,5M$. Zapewnienie możliwości powiększenia płytki jest przyczyną rozmieszczenia 10 kontaktów wzdłuż 3 krawędzi i pozostawienia 1 boku pustego. Takie rozmieszczenie kontaktów zapewnia jednoznaczne ustawienie płytki małej względem dużej.



Rys. 18. Moduł podstawowy z łatwo wymiennymi mikroukładami i elementami dyskretnymi

1 - rama, 2 - płyta duża z siatką o boku $4M$, wzdłuż której rozmieszczone są kontakty dwustrzowe, 3 - płytka mała, na której umieszczony jest mikroukład lub układ elementów dyskretnych, 4 - połączenia drutowe

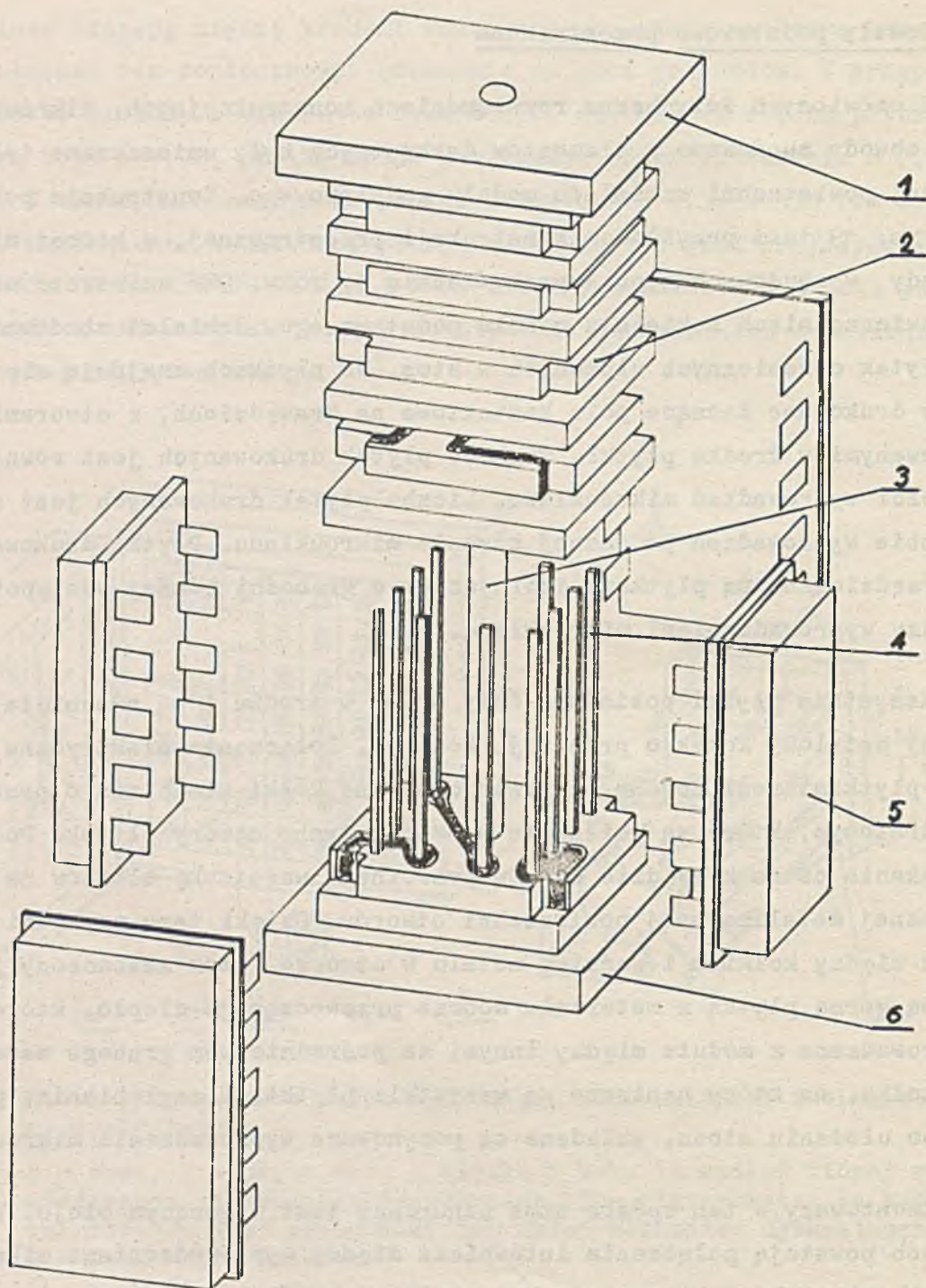
Folię miedzianą na jednej stronie dużej płyty wytrawia się dookoła kontaktów dwustrzowych za wyjątkiem kontaktów przewidzianych na przyłączenie do masy. Uziemienie dużej powierzchni folii powoduje znaczne zmniejszenie prędkości między połączeniami drutowymi. Na drugiej stronie dużej płyty wykonane są szerokie przewody drukowane doprowadzające napięcie do odpowiednich kontaktów.

6. Moduły podstawowe przestrzenne

W omówionych dotychczas rozwiązaniach konstrukcyjnych, mikroukłady ew. obwody zbudowane z elementów dyskretnych były umieszczane tylko na jednej powierzchni szkieletu modułu podstawowego. Konstrukcja pokazana na rys. 19 jest przykładem konstrukcji przestrzennej, w której mikroukłady w obudowach typu Axpack /tabela 1, rozw. 9E/ umieszcza się na 4 powierzchniach szkieletu modułu podstawowego. Szkielet zbudowany jest z płytek ceramicznych ułożonych w stos. Na płytkach znajdują się przewody drukowane łączące pola kontaktowe na krawędziach, z otworami metalizowanymi w środku płytki. Grubość płytek drukowanych jest równa szerokości wyprowadzeń mikroukładu. Liczba płytek drukowanych jest równa liczbie wyprowadzeń po jednej stronie mikroukładu. Płytki drukowane poprzedzielane są płytkami izolującymi o grubości równej odstępowi pomiędzy wyprowadzeniami mikroukładu.

Wszystkie płytki posiadają duży otwór w środku i są nasunięte na gruby metalowy kołek o przekroju kołowym. Połączenia elektryczne między płytkami realizowane są przez cynowane kołki miedziane o przekroju kwadratowym, które są wciśnięte w metalizowane otwory płytek. Podczas wciskania ostre krawędzie kołków przecinają warstewkę tlenków na cylindrycznej metalizowanej powierzchni otworów. Dzięki temu zachodzi dobry styk między kołkiem i warstwą metalu w otworze. Stos zakończony jest grubą górną płytką z materiału dobrze przewodzącego ciepło, które jest odprowadzane z modułu między innymi za pośrednictwem grubego metalowego kołka, na który nanizane są wszystkie płytki. W zagłębienia, powstałe po ułożeniu stosu, wkładane są pocynowane wyprowadzenia mikroukładów.

Zmontowany w ten sposób stos zanurzany jest w gorącym oleju. W ten sposób powstają połączenia lutownicze między wyprowadzeniami mikroukładów i polami kontaktowymi na krawędziach płytek oraz połączenia lutownicze między otworami metalizowanymi w płytkach i kołkami o przekroju kwadratowym. Stos z 4-ma mikroukładami może być połączony z innymi stosami za pomocą płaskiej płytki z elementami przewodzącymi lub za pomocą stosu dodatkowego.



Rys. 19. Moduł podstawowy przestrzenny zbudowany z mikroukładów w obudowie AXPack

1 - płyta górna, 2 - płytki ceramiczne z przewodami drukowanymi, 3 - kołek metalowy będący głównym elementem nośnym szkieletu i jednocześnie przewodnikiem odprowadzającym ciepło, 4 - kołek miedziany o przekroju kwadratowym pobielany cyną, 5 - mikroukład w obudowie AXPack, 6 - płyta podstawy

Literatura

- [1] Calabre Plastics, 8 738 West Chester Pike, Upper Darby, Pennsylvania 19082 /USA/: Unitrack. Technical Bulletin.
- [2] EKNER J.: O konstrukcji szkieletów mikroelektronicznych maszyn cyfrowych. Pomiar Automatyka Kontrola, rok XIV /1968/, zeszyt 5, str. 225-227.
- [3] Eldre Components, Inc., 1239 University Ave., Rochester, N.Y., 14607 /USA/: Laminated and Molded Bus Bars for Power Distribution. Technical Bulletin B-2.
- [4] GUTBIER E.A., SCHMIDT W.C.: A Flexible Clinched Wire through Connection for Printed Wiring Boards. SCP and Solid State Technology, 1967, Vol. 10, No 11, str. 29-33.
- [5] JAROSIK N.A.: Gold-plated Nickel Wiring Debugs Parallel-gap Welding of IC's. Electronics, 1966, Vol. 39, No 12, str. 115.
- [6] Kit, Plus Scissors, Builds Multilayer Wiring. Electronics, 1967, Vol. 40, No 3, str. 151-152.
- [7] LOMERSON R.B.: Batch Packaging Speeds System Assemblies of IC's. Electronics, 1967, Vol. 40, No 8, str. 139-146.
- [8] MAXWELL H., VINCI M.: The Hard-wiring Way to High Densities. Electronic Packaging and Production, 1968, Vol. 8, No 11, str. 38-42.
- [9] Vero Electronics Ltd. Industrial Estate. Chandler's Ford. Hampshire. SO5 32 R /Anglia/: Vere Card Frame System 3a /prospekt/.
- [10] Vero Electronics Ltd. Industrial Estate. Chandler's Ford. Hampshire. SO5 32 R /Anglia/: Vero Card Frame. System 2 /prospekt/.
- [11] WHITE V.M., SWEITZER H.F., McMORRAN W.T.: Strips of Nickel Foil Automate Welding of Flatpack Assemblies. Electronics, 1966, Vol. 39, No

Mgr inż. Andrzej BILLING
Mgr inż. Tadeusz DZIECHCIARZ
Instytut Maszyn Matematycznych

4:628.511:62-784.4:
681.322.006.2

ZWALCZANIE ZAPYLENIA POWIETRZA W POMIESZCZENIACH TECHNOLOGICZNYCH

1. Zagadnienia ogólne

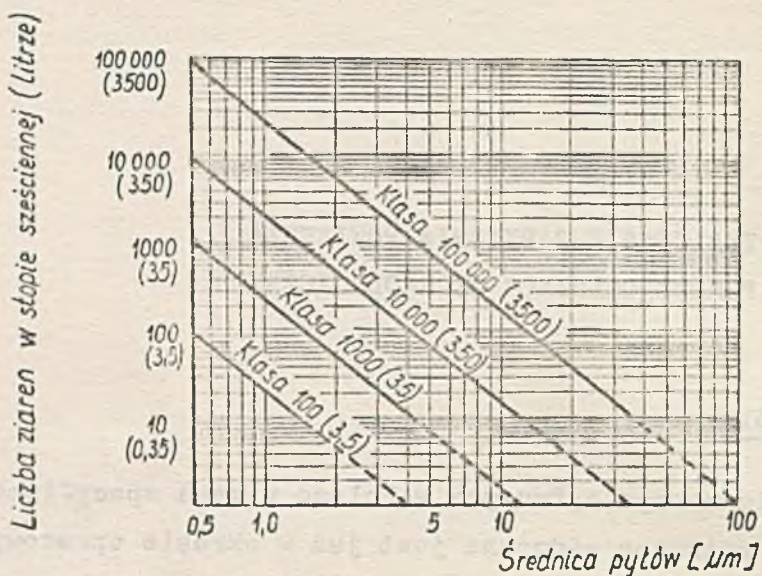
Rozwój przemysłu maszyn cyfrowych w Polsce wymaga specyficznych inwestycji, których potrzeba widoczna jest już w okresie opracowywania modeli urządzeń wchodzących w skład maszyny. I choć model można wykonać przy niedostatecznym wyposażeniu, kompensując ten brak dodatkowym nakładem pracy lub świadomie rezygnując z pewnych walorów eksploatacyjnych urządzenia, to produkcja seryjna w takich warunkach byłaby niepowtarzalna i nieopłacalna. Dla przykładu, jednym z problemów technologicznych wymagających poważnych inwestycji jest zapewnienie odpowiedniej czystości powietrza dla takich procesów technologicznych, jak wytwarzanie i nakładanie warstwy magnetycznej na bębny i dyski pamięci oraz montaż tych urządzeń.

Odpylanie pomieszczeń jest istotnym zagadnieniem przy produkcji precyzyjnych urządzeń i w krajach wysoko uprzemysłowionych przeznacza się duże sumy pieniężne zarówno na badania związane z odpylaniem, jak i na budowę pomieszczeń o wysokim stopniu czystości.

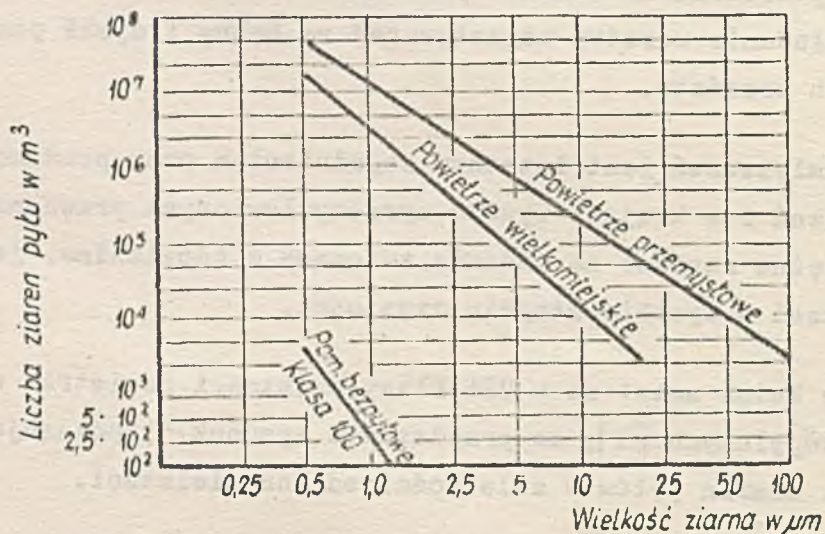
Na podstawie badań ustalono w USA klasy czystości powietrza w pomieszczeniach odpylanych [1], co przedstawia rysunek 1, pokazujący rozkład zawartości ziaren pyłów w zależności od ich wielkości.

Wskaźnikiem klasy czystości jest ogólna liczba ziaren pyłu o wielkości $0,5 \mu\text{m}$ i większych, zawarta w 1 stopie sześciennym powietrza. Na przykład klasa 100 odpowiada zapyleniu powietrza, przy którym występu-

je 100 ziaren/stopa³ /3500 ziaren/m³/. Dla porównania na rys. 2 podano stopień zapylenia atmosfery okręgów przemysłowych, dużych miast i pomieszczeń odpylanych klasy 100 [1].



Rys. 1. Wykres klas czystości powietrza /Linie przerywane zaznaczone na wykresie nie wchodzą w zakres klas czystości/



Rys. 2. Porównanie zapylenia powietrza

Podwyższanie czystości powietrza wiąże się z dużymi nakładami finansowymi. Dla przykładu można podać orientacyjne koszty pomieszczeń odpylanych [2]:

- w klasie 10000 w układzie konwencjonalnym o turbulentnym przepływie powietrza od 160 do 360 dolarów/m²
- w klasie 100 od 320 do 490 dolarów/m² dla poziomego przepływu laminarnego i od 640 do 1300 dolarów/m² dla pionowego przepływu laminarnego.

Uzyskanie wysokiego stopnia odpylenia /klasy 100/ wymaga nie tylko kosztownych instalacji w pomieszczeniach bezpyłowych, ale również dokonania szczególnych zabiegów wobec pracowników wchodzących do pomieszczeń:

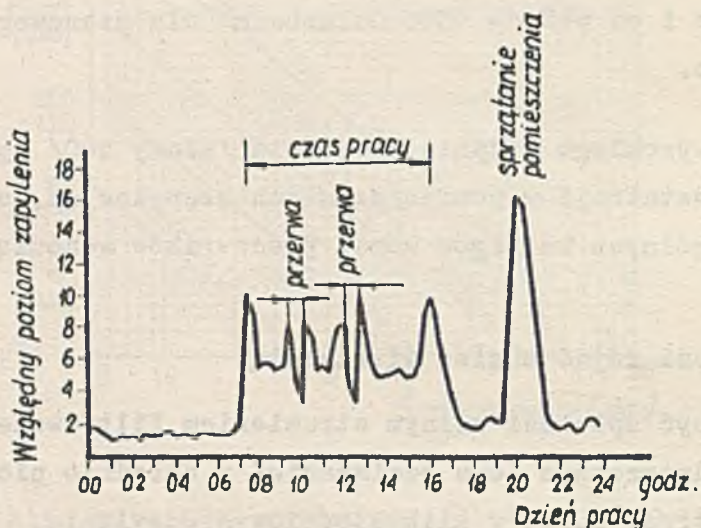
- powinni oni zdjąć odzież wierzchnią,
- powinni być splukani silnym strumieniem filtrowanego powietrza /przy jednoczesnym jego odciąganiu/ w układzie pionowego przepływu powietrza, nawet w kilkustopniowym odpylaniu,
- w przypadkach skrajnych, w których jest wymagana sterylność powietrza /np. w szpitalach, pracowniach mikrobiologicznych/, powinni zdjąć bieliznę,
- po oczyszczeniu w śluzach powinni nałożyć odzież niepylącą /uprzednio odpyloną/.

W celu zilustrowania ważności zachowania powyższych wymagań w tabeli 1 podano emisję pyłu przez człowieka przebywającego w warunkach wielkomiejskich [1].

Tabela 1

Emisja cząstek na minutę	Rodzaj ruchu
100000	Pozycja stojąca lub siedząca bez ruchu
500000	Pozycja siedząca z odkrytą głową, ruch dłoni i przedramion
1000000	Siedzenie ze zginaniem korpusu, ruch ramion i lekki ruch nóg
2500000	Wstawanie z ruchem całego tułowia
5000000	Wolny spacer ok. 3,5 km/godz.
7500000	Chodzenie ok. 6 km/godz.

Ponadto na rys. 3 podano zmiany zapylenia w ciągu doby w pomieszczeniu odpylonym w układzie turbulentnym jednostopniowym. Najniższy poziom zapylenia pomieszczenia utrzymuje się w czasie nieobecności w nim personelu. Znaczny wzrost zapylenia występuje przy wchodzeniu i wychodzeniu personelu z pomieszczenia, a maksymalny wzrost przy sprzątaniu.

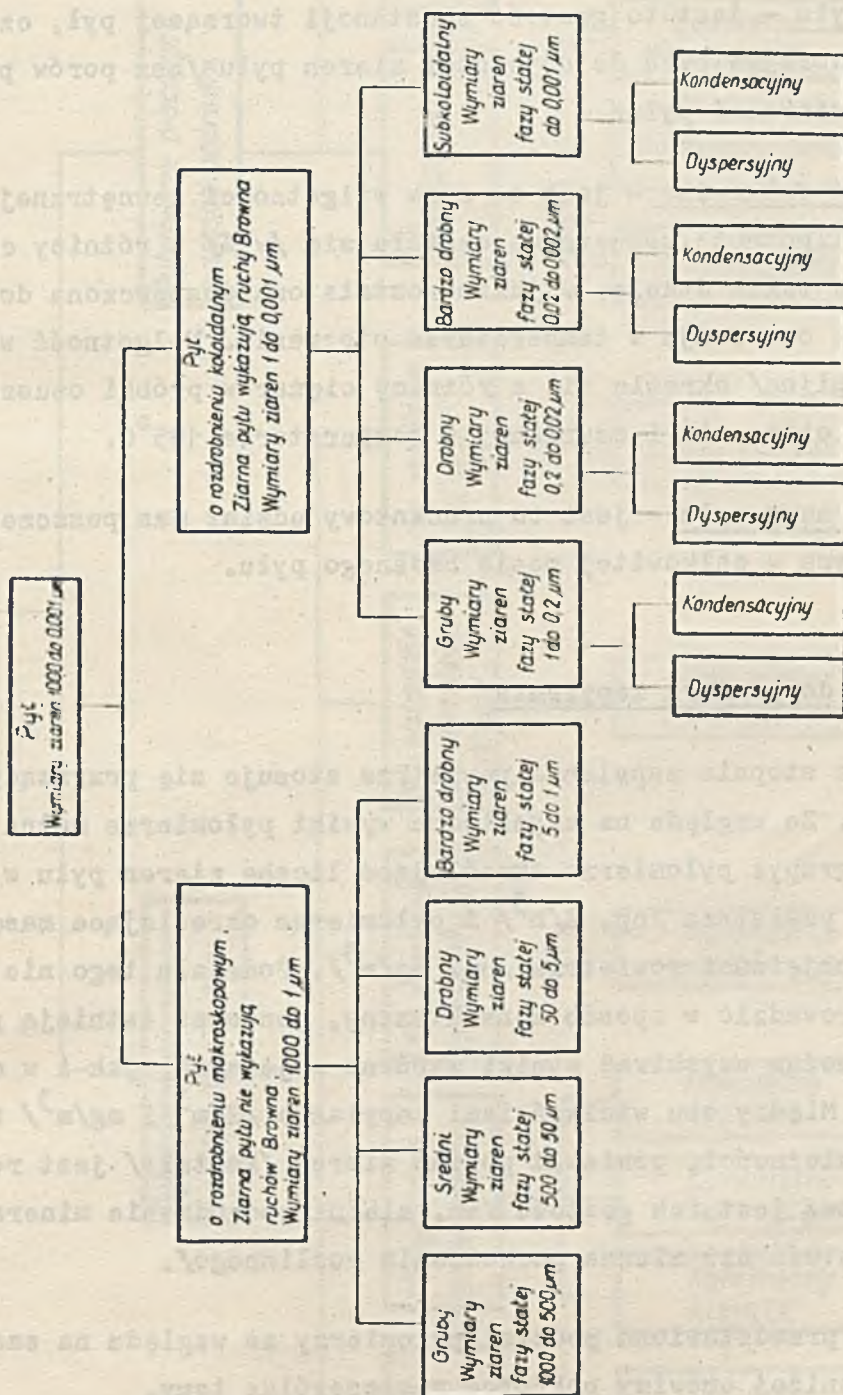


Rys. 3. Zmiany zapylenia powietrza w pomieszczeniu odpylanym

Przy rozpatrywaniu zagadnień związanych z zanieczyszczeniami powietrza istotną rzeczą jest dokładna definicja pyłu, która w Polsce została jednoznacznie określona normą PN-64/Z-01001 "Pył, zapyłony gaz, urządzenia odpylające". Definicja ta brzmi: "Pył - faza stała układu dwufazowego /ciało stałe-gaz lub gaz-ciało stałe/, jeśli stopień rozdrobnienia ciała stałego jest tak duży, że w nieruchomym powietrzu o ciśnieniu 760 mm Hg, temperaturze 20°C i wilgotności względnej mniejszej niż 50% ziarna ciała stałego, na które działa tylko siła ciężenia, po bardzo krótkim okresie przyspieszenia wskutek oporu przepływu ośrodka będą opadały ze stałą prędkością mniejszą niż 500 cm/s lub będą wykonywały ruchy Browna. Przyjmuje się umowne granice wymiaru ziaren pyłu od 1000 do 0,001 μm ".

Dokonano również podziału pyłu na klasy w zależności od stopnia rozdrobnienia ciała stałego, czyli w zależności od wymiarów ziaren pyłu [9]. Utworzone w ten sposób klasy ziarnowe rozumiane są jako zbiory

wszystkich ziaren pyłu, których wymiary mieszczą się w pewnych określonych granicach. Klasyfikację ziarnową pyłu podano na rys. 4.



Rys. 4. Klasyfikacja pyłów

W celu jednoznacznego określania działania urządzeń odpylających zostały ponadto ustalone takie właściwości charakterystyczne pyłu jak: gęstość, wilgotność całkowita, skład ziarnowy.

Gęstość pyłu - jest to gęstość substancji tworzącej pył, czyli stosunek masy tworzywa pyłu do objętości ziaren pyłu /bez porów powietrznych między ziarnami pyłu/.

Wilgotność całkowita - jest to suma wilgotności zewnętrznej i wewnętrznej. Wilgotność zewnętrzną określa się /w %/ z różnicy ciężarów próbki pyłu w takim stanie, w jakim została ona dostarczona do badania oraz w stanie osuszonym w temperaturze otoczenia. Wilgotność wewnętrzną /higroskopijną/ określa się z różnicy ciężarów próbki osuszonej w temperaturze otoczenia i osuszonej w temperaturze 105°C .

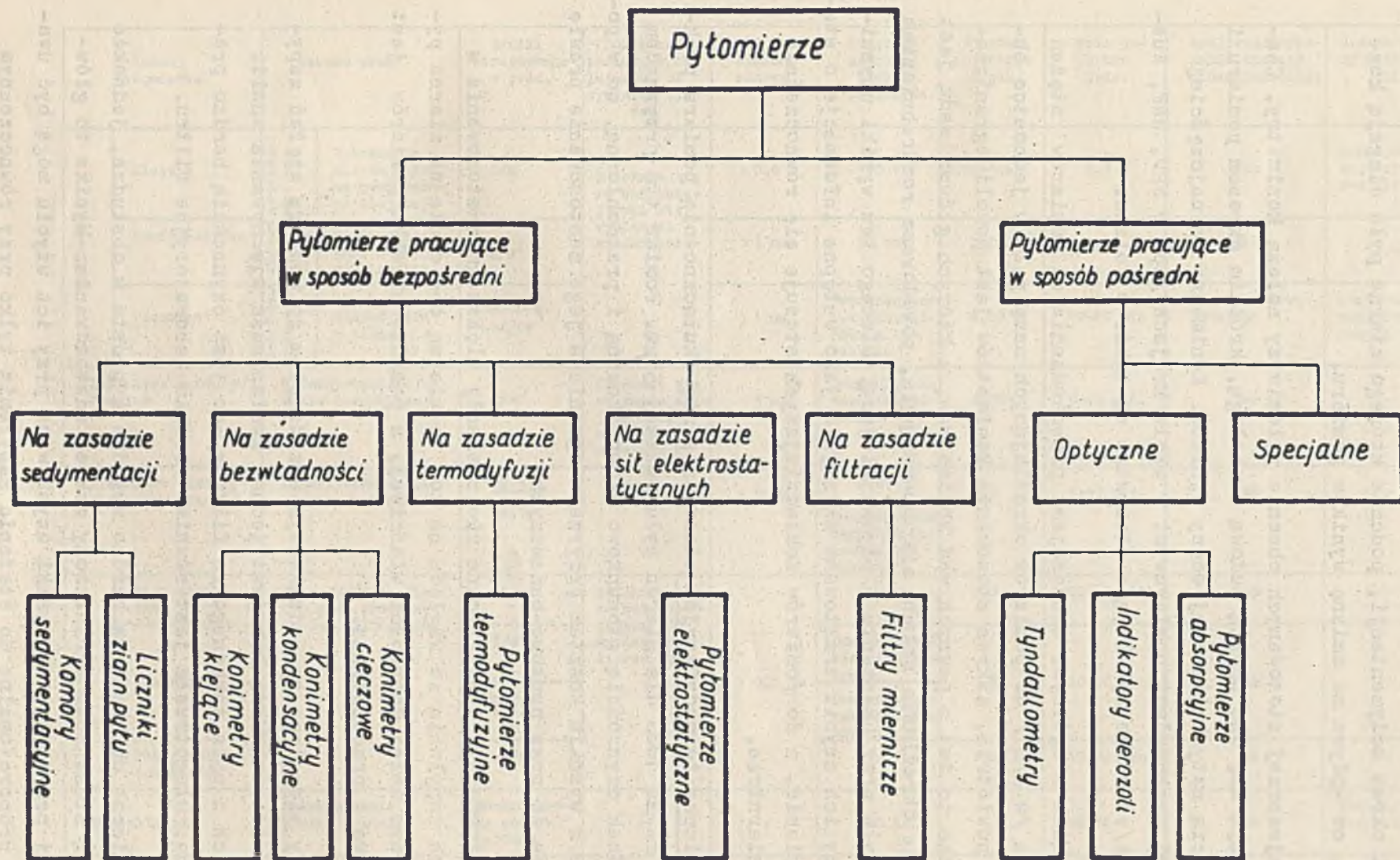
Skład ziarnowy pyłu - jest to procentowy udział mas poszczególnych klas ziarnowych w całkowitej masie badanego pyłu.

2. Przyrządy do pomiaru zapylenia

Do badania stopnia zapylenia powietrza stosuje się przyrządy zwane pyłomierzami. Ze względu na uzyskiwane wyniki pyłomierze można podzielić na dwie grupy: pyłomierze określające liczbę ziaren pyłu w jednostce objętości powietrza /np. Z/m^3 / i pyłomierze określające masę pyłu w jednostce objętości powietrza /np. mg/m^3 / . Podziału tego nie da się jednak przeprowadzić w sposób konsekwentny, ponieważ istnieją przyrządy, którymi można uzyskiwać wyniki zarówno w jednych, jak i w drugich jednostkach. Między obu wielkościami zapylenia / Z/m^3 i mg/m^3 / nie ma określonej zależności, ponieważ postać ziaren /kształt/ jest różnorodna, zmienna też jest ich gęstość /np. ziarna pochodzenia mineralnego mają inną gęstość niż ziarna pochodzenia roślinnego/.

Na rys. 5 przedstawiono podział pyłomierzy ze względu na zasadę ich działania. Poniżej omówimy pokrótce poszczególne typy.

Pyłomierze sedymentacyjne znajdują pewne zastosowanie do określania składu ziarnowego pyłu zawartego w powietrzu przy pomiarach meteorologicznych. Pomiaru te są jednak obarczone zbyt dużym błędem ze względu



Rys. 5. Klasyfikacja pyłomierzy

na długi okres sedymentacji, podczas którego ziarna pyłu ulegają koagulacji, co wpływa na zmianę wyników pomiaru.

Do najszerszej stosowanych obecnie pyłomierzy należą konimetry. Charakteryzują się one prostą budową i obsługą, krótkim okresem pomiaru i możliwością natychmiastowej oceny wyników. Konimetry są najczęściej używanymi przyrządami pomiarowymi w wielu krajach /np. w NRD, NRF, Austrii, USA/. Konimetry klejące stosowane są także w Polsce.

W związku z ogólnymi tendencjami przechodzenia od pomiarów stężeń zapylenia /w Z/m^3 / do pomiarów określających masę pyłu w jednostce objętości powietrza, zakres stosowania konimetrów jest powoli ograniczany. Wynika to też z pewnych wad konimetrów, z których główną wadą jest nieścisłe określanie składu ziarnowego pyłu, powodowane rozdrabnianiem ziaren pyłu przy uderzaniu o płytkę klejącą. Dlatego też wyniki uzyskiwane przy ich użyciu traktowane są zwykle jako wstępne informacje o stanie zapylenia, a do pomiarów dokładniejszych stosuje się równocześnie filtry miernicze.

Pyłomierze termodyfuzyjne odznaczają się skutecznością pomiaru praktycznie równą 100% dla ziaren pyłu poniżej $5 \mu m$. Pomiar tym przyrządem jest jednak czynnością stosunkowo skomplikowaną i pracochłonną, co w połączeniu z wysokim kosztem przyrządu ogranicza jego zastosowanie prawie wyłącznie do prac naukowo-badawczych.

Pyłomierze elektrostatyczne nie znalazły większego zastosowania w pomiarach zapylenia ze względu na to, że nie są one czułe na ziarna pyłu o bardzo małej oporności właściwej, a ponadto obróbka pomiarów jest kłopotliwa i pracochłonna.

Filtry miernicze są podstawowym urządzeniem do pomiaru stężeń zapylenia powietrza. Wadą ich jest jednak konieczność wykonywania analiz ziarnowych z pyłu zebranego na filtrze, co jest czynnością bardzo pracochłonną. Długotrwała jest również obróbka laboratoryjna filtru.

Pyłomierze optyczne są bardzo wygodne i proste w obsłudze, jednakże posiadają stosunkowo ograniczony zakres zastosowania. Wynika to głównie z tej przyczyny, że wyniki uzyskiwane przy ich użyciu mogą być uważane za proporcjonalne do stężenia zapylenia tylko przy równoczesnym

Tabela 2. Charakterystyka pyłomierzy

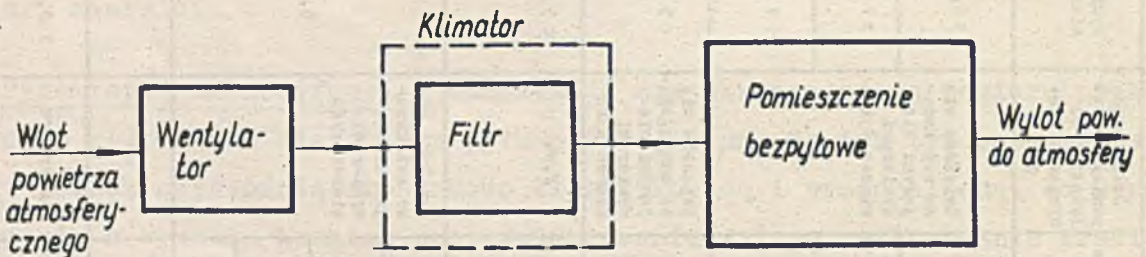
Rodzaj pyłomierza		Zasada pracy		Wyniki otrzymaniwane w jedn.	Dokładność pomiaru w zależności od wymiarów ziaren	Wymiary ziaren	Objętość pobranej próbki powietrza	Wydatek powietrza l/min.	Okres pomiaru jedn.	Możliwość wykonania analizy mineralogicznej	Główne przyczyny błędów pomiaru	
Konimetry	Klejące	Gwałtowna zmiana prędkości przepływu zapyłonego powietrza	Wytrącanie ziaren pyłu na powierzchni klejącej	Z/m^3	Zwiększa się ze zwiększającymi się wymiarami ziaren pyłu	$> 0,5$	$1-5 \text{ cm}^3$	$0,12-0,60$	$0,5 \text{ s}$	Tak	Rozbijanie większych ziaren pyłu	
	Kondensacyjne		Kondensacja pary wodnej na ziarnach	Z/m^3		$> 1 \mu\text{m}$	50 cm^3	$3,0$	1 s	Tak	J.w.	
	Cieczowe		Wytrącanie ziaren pyłu w cieczy	$\frac{Z/m^3}{\text{mg/cm}^3}$		$> 1 \mu\text{m}$	Uwarunkowana techniką liczenia lub ważenia	$2,83$	$10-20 \text{ min}$	Z dużymi trudnościami	Rozbijanie i rozpuszczanie dużych ziaren	
Pyłomierz termodyfuzyjny		Wykorzystanie zjawiska termodyfuzji		Z/m^3	Zwiększa się ze zmniejszającymi się wymiarami ziaren pyłu	$< 5 \mu\text{m}$	Uwarunkowana techniką liczenia	$0,005$	$5-45 \text{ min.}$	Tak	-	
Pyłomierz elektrostatyczny /Gasta/		Wykorzystanie sił elektrostatycznych		$\frac{Z/m^3}{\text{mg/m}^3}$	J.w.	$< 5 \mu\text{m}$	J.w. Uwarunkowana techniką liczenia lub ważenia	$1,0$	$1-10 \text{ min.}$	Tak	-	
Filtry	Mikrosorbnowe	Zatrzymywanie ziaren pyłu przez materiał filtracyjny		mg/cm^3	Zwiększa się ze zwiększającymi się wymiarami ziaren pyłu	$> 0,1 \mu\text{m}$	J.w.	330	$20-60 \text{ min.}$	Tak	-	
	Membranowe			Z/m^3				Uwarunkowana techniką liczenia	35	$20-60 \text{ min.}$	Tak	-
				mg/cm^3				Uwarunkowana dokładnością ważenia	130	$10-20 \text{ min.}$	Tak	-
	Tetra chlorononaftalen			mg/cm^3				J.w.				
Tyndalloskop		Wykorzystanie efektu Tyndalla		Bezwymiarowy współczynnik	-	-	100 cm^3	-	$20-30 \text{ s}$	Nie	Znaczny wpływ par i mgieł	
Indykator aerozoli		Obserwacja zapyłonego powietrza w ultramikroskopie		Z/m^3	Bez wpływu	$> 0,5 \mu\text{m}$	$0,01 \text{ cm}^3$	-	$\sim 1 \text{ min.}$	Nie	-	

spełnieniu szeregu warunków, takich jak na przykład niezmiennosc składu ziarnowego, niezmiennosc składu materialowego.

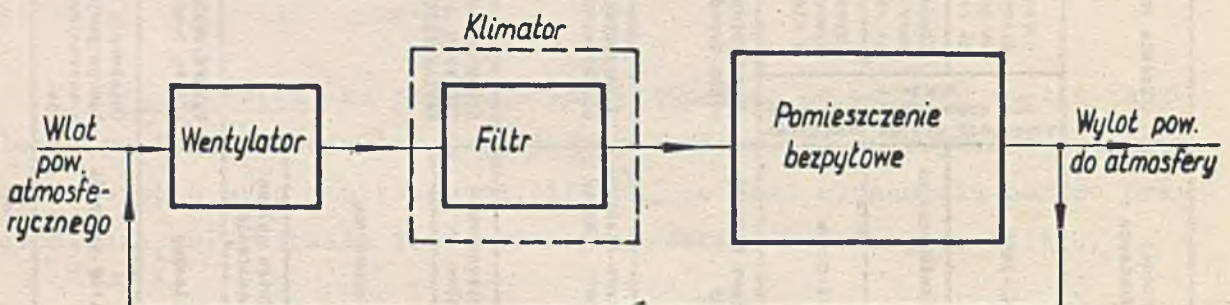
W tabeli 2 zestawione zostaly dane charakterystyczne najbardziej typowych rozwiazan pyłomierzy.

3. Instalacje odpylajace

Instalacje odpylajace budowane sa z obiegiem otwartym i zamknietym. Przedstawiono je schematycznie na rys. 6 i rys. 7. Zasadnicza wada ukkladu z obiegiem otwartym jest nieekonomicznosc pracy i szybkie zanieczyszczenie sie filtrów, co czesto prowadzi do zniszczenia mat filtracyjnych wskutek duzej roznicy ciśnień po obu stronach maty. Wady tej nie wykazuje układ z obiegiem zamknietym. Charakteryzuje sie on dlugotrwalą pracą filtrów bez regeneracji, wkłady filtracyjne nie sa narażone na szybkie "obrastanie" pyłem.



Rys. 6. Schemat pomieszczenia z otwartym obiegiem powietrza

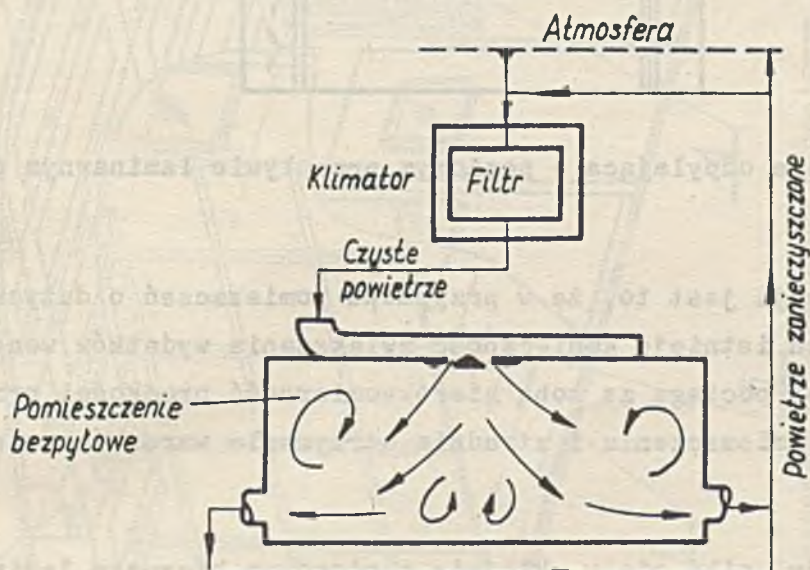


Rys. 7. Schemat pomieszczenia z zamknietym obiegiem powietrza

Pod względem charakteru przepływu powietrza w pomieszczeniu odpylanym rozróżniamy układy o przepływie turbulentnym i laminarnym.

Schemat układu o turbulentnym przepływie powietrza pokazano na rys. 8. Instalacje odpylające w tym układzie przepływu powietrza są znacznie tańsze niż instalacje o przepływie laminarnym. Układ ten posiada jednak pewne wady, w wyniku których nie zapewnia on najwyższej czystości w pomieszczeniach. Z wad tych można wymienić:

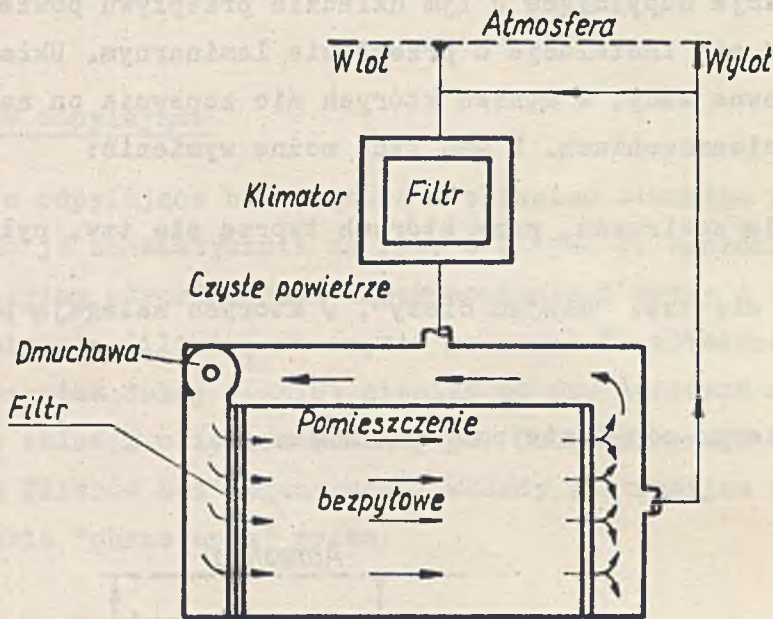
- powstawanie zawirowań, przy których tworzą się tzw. pyły wędrujące,
- tworzenie się tzw. "miejsz ciszy", w których zalegają pyły i kurze,
- nierównomierne odpylenie pomieszczenia.



Rys. 8. Instalacja odpylająca o turbulentnym przepływie powietrza

Układy o przepływie turbulentnym służą przede wszystkim do klimatyzacji takich pomieszczeń, w których czystość powietrza ma znaczenie drugorzędne. W układach instalacji o laminarnym przepływie powietrza dąży się do uzyskania niezakłóconego przepływu powietrza w całym przekroju pomieszczenia. Kierunek przepływu może być poziomy lub pionowy.

Schemat układu o poziomym przepływie laminarnym powietrza pokazano na rys. 9, natomiast widok pomieszczenia w tym układzie na rys. 10.

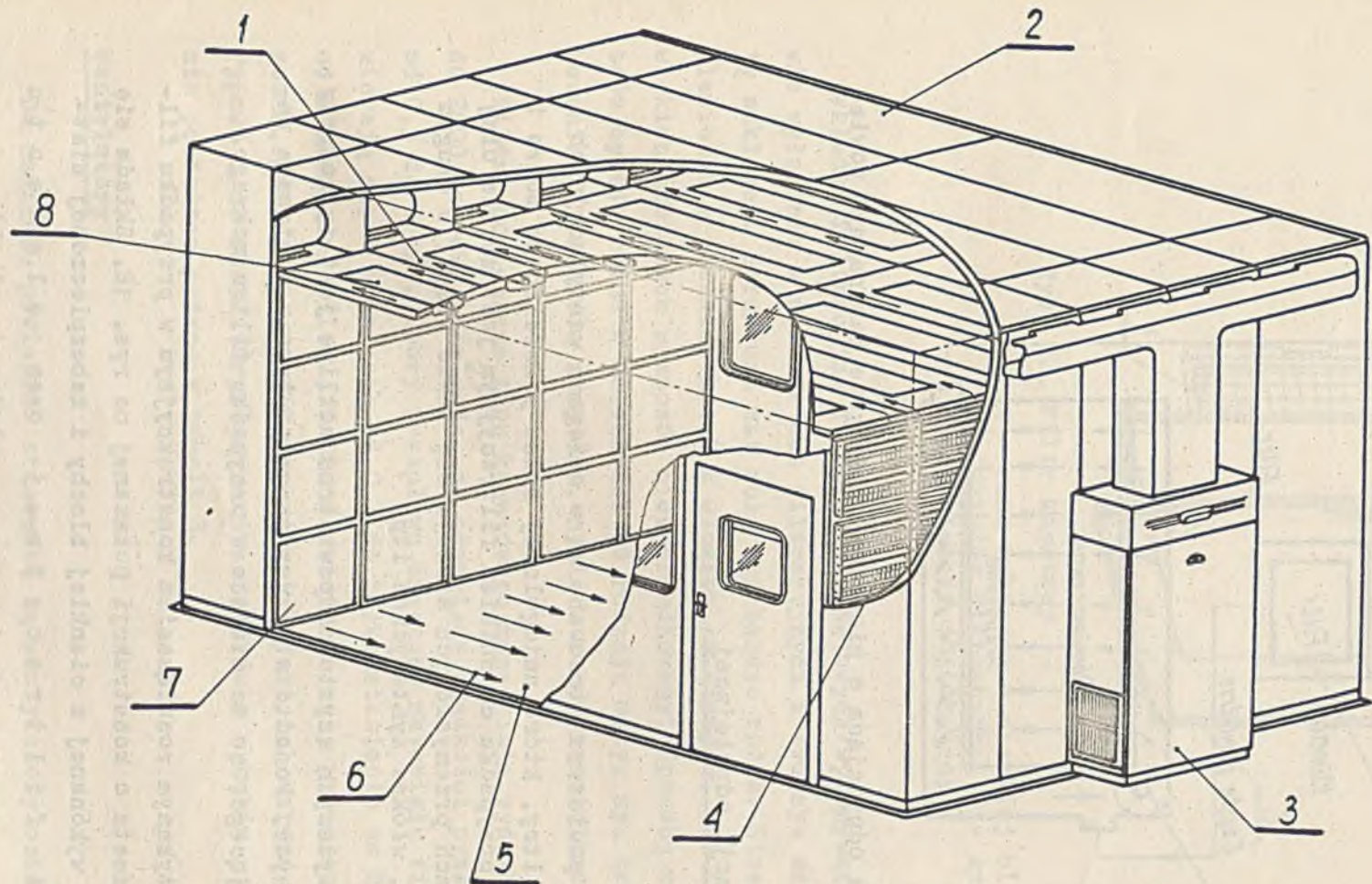


Rys. 9. Instalacja odpylająca o poziomym przepływie laminarnym powietrza

Wadą tej instalacji jest to, że w przypadku pomieszczeń o dużych rozmiarach poziomych istnieje konieczność zwiększania wydatków wentylatorów, co z kolei pociąga za sobą nierównomierność prędkości przepływu powietrza w pomieszczeniu i utrudnia utrzymanie warunków przepływu laminarnego.

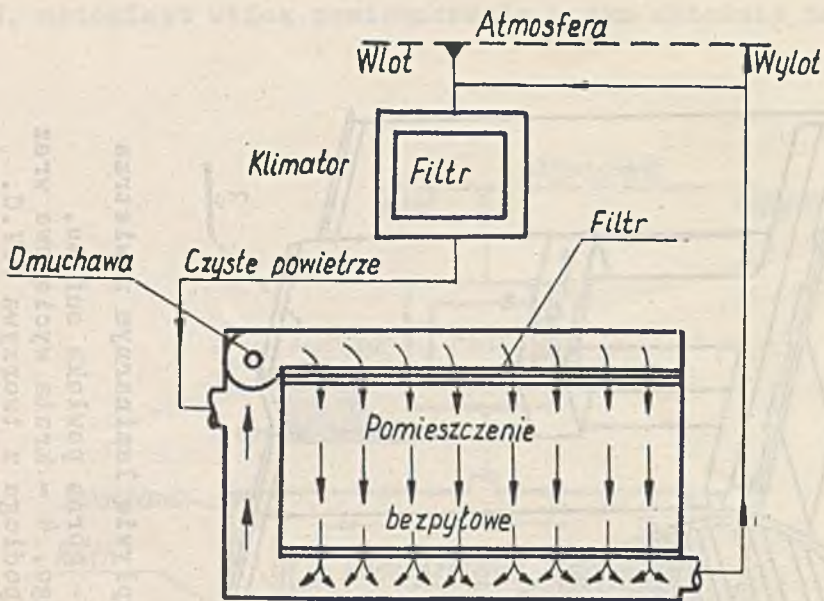
Powyższej wady unika się w układzie o pionowym kierunku laminarnego przepływu powietrza.

Schemat odpowiedniego układu pokazano na rys. 11. Kierunek pionowy przepływu umożliwia splukiwanie pyłów z góry na dół i odciąganie zapyłonego powietrza w okolicy podłogi.



Rys. 10. Widok pomieszczenia bezpyłowego o poziomym przepływie laminarnym powietrza

- 1 - powrotny obieg powietrza do wentylatora, 2 - górna powłoka sufitu,
- 3 - regulator przepływu powietrza atmosferycznego, 4 - krata wyciągowa wraz z żaluzjami dławiącymi przepływ powietrza, 5 - podłoga z tworzywa P.V.C. /jednolita/, 6 - kierunek przepływu powietrza /średnia prędkość 0,5 m/s/, 7 - blok filtrów o wysokim stopniu odpylania /99,995%/, 8 - oświetlenie jarzeniowe wbudowane w szczelne kasety



Rys. 11. Instalacja odpylająca o pionowym przepływie laminarnym powietrza

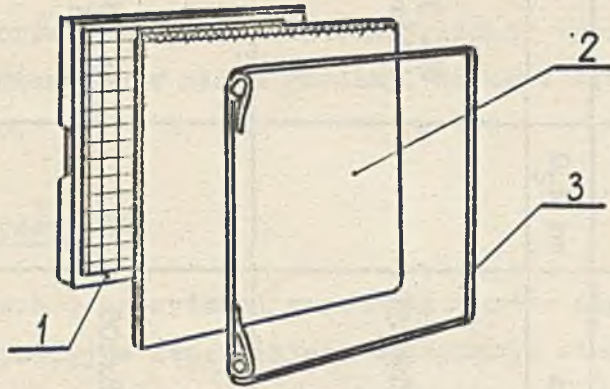
4. Elementy instalacji odpylającej

Filtry

Do oczyszczania powietrza stosowane są w obiegach wentylacyjnych i klimatyzacyjnych filtry, które najogólniej można podzielić na mokre i suche. W pierwszym przypadku czynnikiem filtracyjnym jest zwykle olej /w dużych odpylaczach przemysłowych stosuje się także wodę/, w drugim przypadku - papier, włókna syntetyczne itp.

Osiągnięcie najwyższych czystości powietrza możliwe jest tylko przy użyciu filtrów suchych. Ponadto w oczyszczonym powietrzu występują pary czynnika filtrującego, co ma miejsce w przypadku filtru mokrego.

Najczęściej spotykanym rozwiązaniem konstrukcyjnym w przypadku filtru suchego jest kasetka o konstrukcji pokazanej na rys. 12. Składa się ona z ramy, wykonanej z cienkiej blachy i zabezpieczonej siatką, wkładki filtracyjnej oraz elementu sprężynującego, dociskającego wkładkę do siatki.



Rys. 12. Filtr kasetowy

1 - rama wykonana z cienkiej blachy,
2 - wkładka filtracyjna, 3 - sprężysty element dociskający

Wkładki filtracyjne do filtrów kasetowych wykonywane są obecnie prawie wyłącznie w postaci mat filtracyjnych z tworzyw sztucznych lub waty szklanej. Struktura mat może być bardzo różna. Stosowane są zarówno plecionki z cienkich nitek z włókien sztucznych, jak i maty z cienkich włókien ułożonych w sposób nieuporządkowany. Sposoby czyszczenia filtrów bywają różne w zależności od rodzaju maty, np. trzepanie, szczotkowanie, mycie wodą z mydłem, mycie w rozpuszczalnikach itp.

Filtry powietrzne typu kasetowego zapewniają wydatki powietrza rzędu 2000 do 4000 m^3/m^2 godz, co odpowiada prędkości przepływu powietrza od 0,5 do 1 m/s. Opory przepływu czystego materiału filtracyjnego zawierają się w granicach od 0,2 do kilkudziesięciu mm H_2O w zależności od dokładności filtru. W miarę obciążenia maty pyłem opory przepływu rosną, przy czym na ogół dopuszczalny jest ich wzrost do 50 ÷ 60 mm H_2O . Typowe dane charakterystyczne dla filtrów o wysokim stopniu oczyszczenia powietrza podano w tabeli 3.

Wentylatory

Do nadmuchu powietrza stosowane są wentylatory osiowe i promieniowe. Wentylatory osiowe charakteryzują się cichą pracą, jednakże ze względu na mały stopień sprężania występują rzadziej w instalacjach od-

Tabela 3. Dane techniczne dokładnych filtrów suchych /przykłady/

Typ	Firma, kraj	Czynnik filtrują- cy	Ogólna do- kładność filtracji	Zastoso- wanie	Maksy- malny wydatek filtro- wanego powie- trza	Wymiary	Opory prze- pływu nowego wkładu	Cena
			%		m ³ /godz	mm	mm H ₂ O	
VP50	VOKES Anglia	mata z włókna szkla- nego	99,995	pracownie mikrobiolo- giczne, farmaceu- tyczne, za- stosowania specjalne	do 2250	do 1829x609x156		ok. 70 dolarów
Schweb- stoff- filter 1104	VEB LUFTFIL- TER TECHNIK NRD	mata włóknino- wa /ro- dzaj wa- ty z włókna szklane- go/	99,95 dla cząstek 1 μm i większych, 97 - dla cząstek mniejszych od 0,4 μm	pomieszcze- nia bezpy- łowe	500	540x508x200	23	ok. 145 rubli

pylających. Duży stopień sprężenia zapewniają wentylatory promieniowe, których charakterystyczną cechą jest hałaśliwa praca.

Dobór wentylatorów zależy od niezbędnej liczby wymian jakim ulega powietrze w pomieszczeniu w ciągu godziny. Na ogół liczba ta zawiera się między 20 - 40.

Urządzenia klimatyzacyjne

W pomieszczeniach o najwyższej czystości bardzo często stosuje się urządzenia klimatyzacyjne zapewniające utrzymanie stałych parametrów powietrza, takich jak temperatura i wilgotność, zgodnych z wymogami procesu technologicznego.

Rozróżniamy dwa systemy klimatyzowania pomieszczeń:

- klimator wbudowany w urządzenie odpylające,
- klimator jako osobne urządzenie, pracujące w obiegu zamkniętym wewnątrz pomieszczenia klimatyzowanego.

Parametry klimatyzowanego powietrza są utrzymywane za pomocą automatycznego układu sterowania, którego czujniki rozmieszczane są w różnych miejscach pomieszczenia klimatyzowanego.

W tabeli 4 podano dla przykładu typowe dane techniczne niektórych klimatorów produkcji NRD i amerykańskiej

Tabela 4. Dane techniczne klimatorów /przykłady/

	Firma, kraj	Wydatek powietrza	Wydajność chłodnicza	Maksymalny pobór mocy	Stopień sprężenia wentyla- torów
		m ³ /godz	kcal/godz.	kW	mm słupa wody
KT 2	NRD	1600	4800	7,5	10
1011	Chrysler USA	6800	29900	12,3	14
50K12	Carrier USA	6800	30000	10,0	21,5

5. Kabiny i przenośne komory bezpyłowe

Jak już wspomnieliśmy, koszt budowy pomieszczeń bezpyłowych jest bardzo duży. W niektórych przypadkach technologicznych odnoszących się do mechaniki precyzyjnej wymagania wysokiej czystości powietrza w bezpośrednich pomieszczeniach produkcyjnych, montażowych i kontroli technicznej można spełnić przy znacznie mniejszych nakładach, stosując kabiny i komory bezpyłowe. Są to właściwie zminiaturyzowane pomieszczenia bezpyłowe. Mogą one być wykonane w postaci szaf stojących, czy też jako przenośne urządzenia stołowe. Frontowa część takiej komory jest najczęściej otwarta dla wykonywania prac produkcyjnych. Komora bezpyłowa jest zazwyczaj wyposażona w dwustopniowy system odpylania powietrza. Pierwszy stopień stanowią filtry zgrubne, a drugi to filtry o najwyższej sprawności odpylania, dochodzącej do 99,995%.

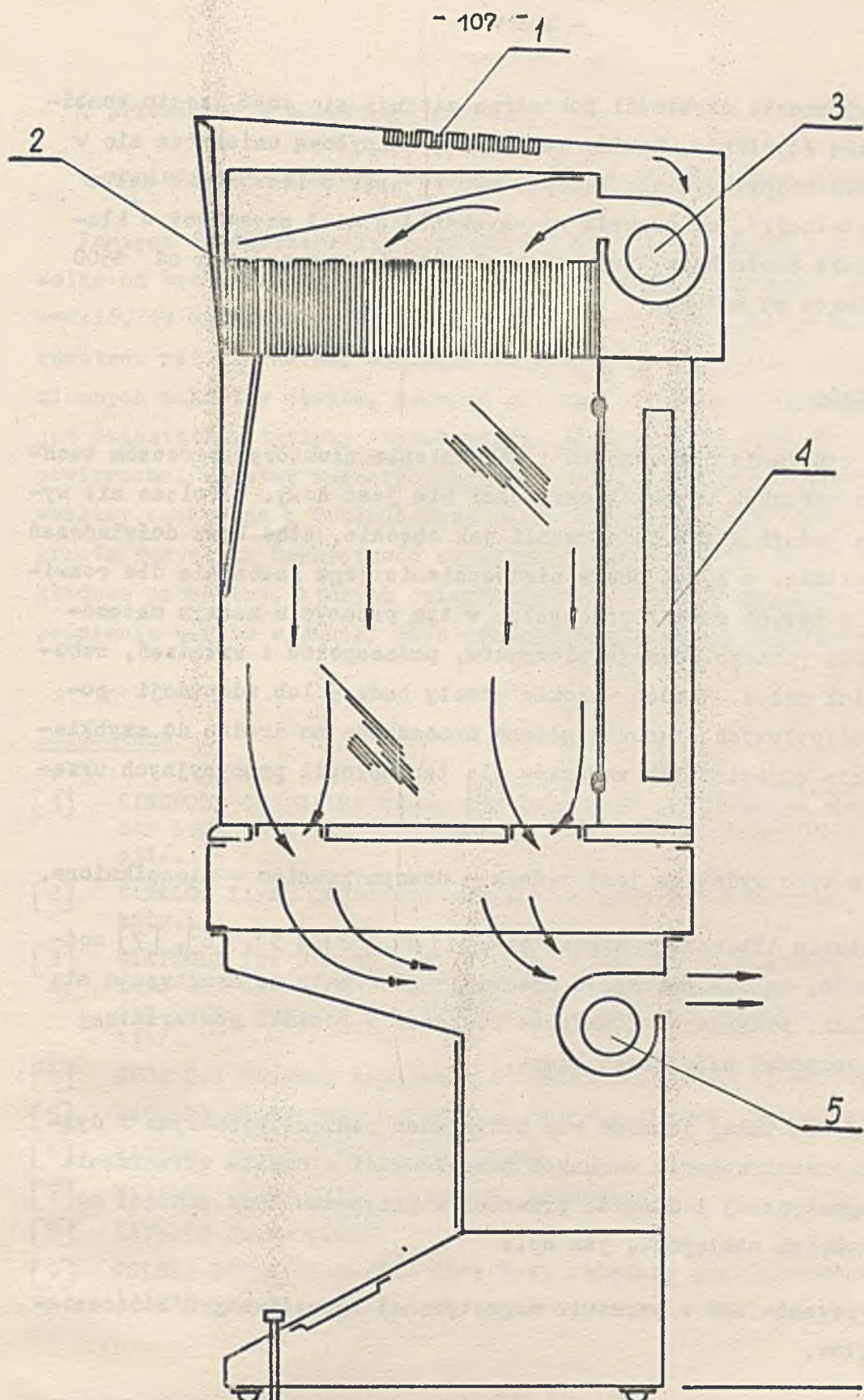
Schemat komory z dwustopniową filtracją powietrza i zamkniętym obiegiem powietrza pokazano na rys. 13. Przepływ powietrza jest tutaj laminarny, poziomy lub pionowy, podobnie jak w pomieszczeniach bezpyłowych, prędkość przepływu przez kabinę jest regulowana w pewnych granicach.

Kabiny i komory charakteryzują się następującymi zaletami:

- . minimalnym kosztem instalacji gniazda produkcyjnego w porównaniu z pomieszczeniami bezpyłowymi,
- . maksymalną wszechstronnością w użyciu, dzięki możliwości rozstawienia urządzeń w pomieszczeniu, stosownie do potrzeb procesu technologicznego,
- . niskimi kosztami eksploatacji.

Natomiast do ich wad należy zaliczyć takie czynniki, jak:

- . zakłócanie przepływu laminarnego powietrza przez kształt montowanego przedmiotu,
- . tworzenie się wirów, które wciągają zapyłone powietrze z zewnątrz,
- . osiągnięcie czystości powietrza co najwyżej w klasie 1000.



Rys. 13. Schemat kabiny bezpyłowej

1 - filtr wstępny, 2 - filtr o wysokim stopniu odpylenia /99,995%/, 3 - wentylator nadmuchu powietrza, 4 - oświetlenie jarzeniowe, 5 - wentylator wyciągowy

Dla podwyższenia czystości powietrza stosuje się dość często kombinowany system odpylania. Kabinę lub komorę bezpyłową umieszcza się w pomieszczeniu bezpyłowym np. klasy 10000 /a więc o stosunkowo małym koszcie instalacji/, co pozwala na uzyskanie w niej czystości w klasie 100. Koszt komór bezpyłowych kształtuje się w granicach od 1500 do 2500 dolarów za sztukę.

6. Zakończenie

Problem odpylania pomieszczeń i zapewnienie niektórym procesom technologicznym warunków wysokiej czystości nie jest nowy. W Polsce nie występował on jednak w tak dużej skali jak obecnie, stąd brak doświadczeń w tej dziedzinie, a nawet pewne niedocenywanie jego znaczenia dla rozwijających się nowych gałęzi przemysłu, w tym przemysłu maszyn matematycznych oraz różnego rodzaju elementów, podzespołów i urządzeń, wchodzących w ich skład. Bardzo wysokie koszty budowy lub adaptacji pomieszczeń bezpyłowych stanowią główną przeszkodę na drodze do szybkiego stworzenia odpowiednich warunków dla technologii precyzyjnych urządzeń.

Poniesienie tych wydatków jest jednak - naszym zdaniem - nieuniknione.

Na podstawie literatury zagranicznej [1], [2], [3], [6], [7] można wnioskować, że dla przemysłu precyzyjnego koszty te amortyzują się bardzo szybko, przynosząc konkretne korzyści w postaci powtarzalnej produkcji urządzeń najwyższej klasy.

Posłużmy się tutaj jeszcze raz przykładem pamięci bębnowych i dyskowych. Nieprzestrzeganie warunków bezpyłowości w czasie wytwarzania warstwy magnetycznej i montażu prowadzi w przypadku tych pamięci do takich przykrych następstw, jak np.:

- występowania wad w warstwie magnetycznej spowodowanych wtrąceniami pyłów,
- zacierania się głowic latających, co wiąże się ze zniszczeniem nośnika magnetycznego oraz tym, że starty nośnik stanowi lawinowo powiększające się źródło zapylenia,

- . przekłamań w odczycie informacji,
- . zmniejszenia pojemności pamięci, a nawet dyskwalifikacji wyrobu.

Pamięci dostarczane przez producentów na rynek muszą być całkowicie wolne od tych wad. Na podstawie danych prospektowych wielu firm można sądzić, że wymaganie to jest spełnione nawet dla znacznie wyższych parametrów niż nominalne. Szczególnie dobitnie widać to w przypadku wymiennych pakietów dysków, których aktualna produkcja światowa sięga już dziesiątków tysięcy sztuk miesięcznie. Bardzo mała chropowatość powierzchni warstwy magnetycznej /12 klasa/, kilkumikrometrowa grubość warstwy zachowana z dokładnością do dziesiątych części mikrometra, a przede wszystkim bezbłędnosc rejestracji /error free/ - oto tylko przykładowe parametry, których osiągnięcie jest nie do pomyślenia bez zapewnienia bardzo wysokiej czystości pomieszczeniom technologicznym.

Literatura

- [1] EINSPOHN O.: Reine Räume für Industrie und Medizin, Reinhaltung der Luft. Sektion IX, Dresden, 1968 /zbiór referatów z konferencji/.
- [2] KATALOG firmy CENSOR: Staubschutzkästen mit laminarer Luftströmung.
- [3] NIETZOLD I.: Die Staubbilanz für Reine Räume und ihre Auswirkung auf die Dimensionierung von Luftfilteranlagen, Reinhaltung der Luft. Sektion IX, Dresden 1968 /zbiór referatów z konferencji/.
- [4] JUDA J.: Pomiary zapylenia i technika odpylania, WNT 1968.
- [5] KATALOG firmy VEB: Luftfilter Technik Wurzen, Schwebstofffilter.
- [6] KATALOG firmy SLEE: Clean Rooms.
- [7] KATALOG firmy SLEE: Technical Literature.
- [8] KATALOG firmy VOKES.
- [9] POLSKA NORMA PN-64/Z-01001: Pył, zapyłony gaz, urządzenia odpylające.

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 urzędy 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 prenumeraty wyłącznie za pośrednictwem Oddziałów i Delegatur "Ruch".

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

Cena zł 25.-