PEŁNOMOCNIK RZĄDU
DO SPRAW
ELEKTRONICZNEJ TECHNIKI OBLICZENIOWEJ

P.3057 f.68

ELEKTRONICZNA TECHNIKA OBLICZENIOWA

NOWOŚCI

3/1968

INSTYTUT MASZYN MATEMATYCZNYCH
DZIAŁOWY OŚRODEK INTE

Wydaje

INSTYTUT MASZYN MATEMATYCZNYCH

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

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

KOMITET REDAKCYJNY

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

Adres Redakcji: Warszawa, ul. Koszykowa 79,

Wykonano w Instytucie Maszyn Matematycznych
Nakład 400 egz. papier offset kl. III g. 80 zam. nr 88/68, GP-IV/1843/6

P.3057/68

ELEKTRONICZNA TECHNIKA OBLICZENIOWA

N O W O Ś C I

Rok VII Nr 3/14/ wrzesień 1968

S p i s t r e ś c i

str.

Mgr inż. JERZY DAŃDA, mgr inż. JERZY FIETT: Postępy automatyzacji wytwarzania maszyn cyfrowych. Część III 3

Mgr MARIA ŁĄCKA, mgr inż. ZBIGNIEW ZORSKI: System JS 31

Mgr inż. MIROSŁAW MIKA: Zastosowanie półprzewodnikowych układów scalonych do konstrukcji EMC 45

Mgr inż. ZBIGNIEW DUDEK: Organizacja i opis funkcjonalny specjalistycznej maszyny cyfrowej GEO-1 71

Mgr inż. RYSZARD PATRYN: Rejestratory magnetyczne 83

Mgr inż. JERZY EKNER: O technologii łączenia przewodów z wyprowadzeniami kontaktów złącz przez zaciskanie 91

Mgr inż. JERZY DAŃDA
Instytut Maszyn Matematycznych
Mgr inż. JERZY FIETT
Przemysłowy Instytut Telekomunikacji

681.322:681.3.06:
681.322.002.1

POSTĘPY AUTOMATYZACJI WYTWARZANIA MASZYN CYFROWYCH

C z ę ś ć III

Wstęp

W dwu poprzednich artykułach tego cyklu, zamieszczonych w "Nowościach", zostały omówione zagadnienia automatyzacji projektowania maszyn cyfrowych. W tej części, zamykającej cykl, będziemy się zajmowali automatyzacją procesów produkcyjnych, stosowanych przy wytwarzaniu maszyn cyfrowych.

Nie będziemy się natomiast zajmowali innymi zagadnieniami automatyzacji wytwarzania, luźniej związanymi z produkcją maszyn i zespołów cyfrowych, takimi jak automatyzacja procesów obróbki wiórowej, jakkolwiek w wielu dziedzinach przemysłu /motoryzacyjny, lotniczy, rakietowy/ ma ona podstawowe znaczenie i opiera się przede wszystkim na urządzeniach sterowanych cyfrowo.

13.1. A u t o m a t y z a c j a w y b r a n y c h p r o c e s ó w t e c h n o l o g i c z n y c h

Podstawowe znaczenie przy wytwarzaniu maszyn cyfrowych mają w chwili obecnej i w perspektywie najbliższych kilku lat następujące procesy produkcyjne:

a. Wykonywanie połączeń trwałych za pomocą lutowania, spawania, zgrzewania, zaciskania i okręcania. Automatyzacja wykonywania połączeń, a ściślej stosowanie urządzeń pozwalających na programowanie ich wykonywania za pomocą uprzednio przygotowanych taśm względnie kart sterujących, ma podstawowe znaczenie przy wielkoseryjnej produkcji urządzeń cyfrowych.

b. Złożone procesy fizyko-chemiczne naparowywania warstw metalicznych i niemetalicznych, dyfuzji, kontrolowanego wzrostu kryształów, połączone ze stosowaniem różnych technik złożonej fotolitografii, które mają podstawowe znaczenie przy produkcji obwodów scalonych monolitycznych, hybrydowych i innych.

Pełna automatyzacja tych procesów, w sensie wyeliminowania udziału człowieka, wydaje się wysoce nieprawdopodobna. Procesy te z reguły pozwalają na wytworzenie w jednym cyklu produkcyjnym wielu setek elementów i to o złożonej strukturze, co ma miejsce np. w przypadku obwodów scalonych. Ta metoda produkcji, zwana w terminologii angielskiej b a t c h f a b r i c a t i o n /produkcja masowa/, jest przy produkcji maszyn cyfrowych najbardziej pożądana; do tego stopnia, że można się obecnie spotykać z dyskwalifikacją takich rozwiązań technicznych, które w perspektywie nie pozwalają na ich produkowanie metodą masową. I tak na przykład wszystkie pamięci elektromechaniczne, które obecnie zajmują silną pozycję w dziedzinie pamięci pomocniczych, są uważane za zdecydowanie nieperspektywiczne, ze względu na to, że nie widać możliwości stosowania do ich wytwarzania metod b a t c h f a b r i c a t i o n.

Nie ulega wątpliwości, że w miarę upływu lat metody produkcyjne grupy "a" będą zastępowane coraz szerzej przez metody grupy "b". Już w tej chwili można podać odpowiedni przykład, a mianowicie tzw. integrację wielkoskalową - LSI - L a r g e S c a l e I n t e g r a t i o n, prowadzącą do wytworzenia w jednym cyklu procesów technologicznych już nie przerzutników, czy bramek logicznych, jak to było w przypadku produkcji "klasycznych" obwodów scalonych, lecz całych rejestrów, arytmometrów lub innych dużych zespołów funkcjonalnych, złożonych z dziesiątków, a nawet setek podstawowych układów logicznych.

Oczywiście, można byłoby spekulować na temat jeszcze innych procesów technologicznych, które w przyszłości mogą okazać się decydujące dla rozwoju maszyn matematycznych chociaż obecnie nie mają praktycznego znaczenia. Niewątpliwie najbardziej poważnie należałoby w takim przypadku potraktować układy na elementach nadprzewodzących. Tak się jednak składa, że i w tym przypadku wiele spośród technik stosowanych przy produkcji półprzewodnikowych obwodów scalonych będzie mogło znaleźć prawie bezpośrednie zastosowanie.

W związku z tym, w dalszej części zajmiemy się tylko zagadnieniami sterowanego wykonywania połączeń oraz pewnymi zagadnieniami, występującymi przy produkcji obwodów scalonych, a zwłaszcza przy integracji wielkoskalowej. Ta ostatnia jest szczególnie interesująca, jako że chyba po raz pierwszy w historii procesów wytwórczych występuje tu tak ścisłe zespolenie procesu kontroli z procesem produkcyjnym, że ich rozłączne traktowanie jest niemożliwe. Ponadto wprowadzenie automatyzacji kontroli międzyoperacyjnej staje się przy integracji wielkoskalowej absolutną koniecznością.

13.1.1. Automatyzacja wykonywania połączeń

Mechanizacja, względnie automatyzacja wykonywania połączeń jest bardzo istotna przy produkcji maszyn cyfrowych niezależnie od typu stosowanych elementów konstrukcyjnych. W zależności od nich zmieniają się technologie wykonywania połączeń. Trzeba jednak stwierdzić, że nawet przy stosowaniu układów scalonych duże ich zespoły umieszczane są z reguły na tzw. pakietach, które najczęściej łączą się ze sobą za pośrednictwem połączeń rozłącznych, dokonywanych za pomocą wszelkiego rodzaju złącz.

Ze względu na standaryzację typów, wymogi eksploatacji i wymienności układy cyfrowe montuje się w postaci standardowych zespołów /pakietów/ na płytkach drukowanych. Płytka zaopatrzona jest zwykle we wtyk złącza, który umożliwia połączenie z innymi pakietami. Ze względu na stosowanie ograniczonej ilości typów pakietów - można powiedzieć, że struktura maszyny cyfrowej zostaje fizycznie określona przez rozmieszczenie pakietów i wykonanie połączeń międzypakietowych.

W następstwie tego, z jednej strony, prawie niemożliwa staje się standaryzacja tych połączeń, wykraczająca poza wykorzystywanie określonych miejsc na złączu dla doprowadzania określonych napięć zasilających, z drugiej zaś strony, standardowy dla całej maszyny odstęp kontaktów złącz w kasetach i kaset w ramach montażowych stwarza dobre podstawy dla zastosowania daleko idącej mechanizacji prac montażowych w zakresie połączeń wykonywanych między złączami pakietów.

Sytuacja taka istniała od dawna, jednak dopóki połączenia te były wykonywane przy pomocy lutowania - nie dysponowano automatami do wykonywania

tych połączeń. Kluczowe znaczenie dla przełomu technologicznego miało wprowadzenie połączeń okręcanych w r a p p e d c o n n e c t i o n. Przy połączeniach tego typu kontakt drutu montażowego następuje przez owinięcie go dookoła odpowiednio uformowanej końcówki montażowej złącza, o przekroju kwadratu ze stępionymi narożami. W miejscach styku następują odkształcenia zapewniające bardzo niezawodne połączenie elektryczne odporne na wpływy mechaniczne.

Wyeliminowanie lutowia i wysokich temperatur związanych z lutowaniem stworzyło bardzo dogodne warunki do pełnego zmechanizowania tych prac. Obecnie większe firmy produkujące maszyny cyfrowe wykorzystują w celu wykonywania połączeń międzyzłączowych /tzw. b a c k b o a r d w i r i n g / automaty, które są sterowane za pomocą taśm perforowanych, lub /częściej/ za pomocą kart perforowanych. Na karcie oznacza się określone punkty pola montażowego, które podlegają połączeniu, a także sposób prowadzenia /ułożenia/ przewodu.

Ponieważ karty sterujące są produkowane przez maszynę, na podstawie odpowiedniego zapisu schematu logicznego maszyny, udział człowieka zostaje poważnie zmniejszony w tych fragmentach procesu produkcyjnego, w których, jak wskazuje praktyka, najczęściej występują pomyłki. Zarówno bowiem pisanie tzw. tabel połączeń, jak i samo wykonywanie tych połączeń są czynnościami bardzo monotonnymi i nużącymi.

Automatyzacja wykonywania połączeń na pakietach sprowadza się w zasadzie do automatycznego naświetlania ścieżek na laminacie. Metoda ta jest stosowana wówczas, gdy zachodzi potrzeba wykonywania dużej ilości nietypowych płytek obwodów drukowanych. Napotykamy tutaj na wielkie podobieństwo do automatycznego wykonywania połączeń drutowych, omówionego wcześniej. Ponadto istnieją urządzenia do automatycznego umieszczania elementów różnych typów /diody, oporniki, tranzystory/ w ściśle określonych miejscach odpowiednio przygotowanych płytek drukowanych, co pozwala na dalszą automatyzację montażu pakietów. Z tego względu wielu producentów elementów elektronicznych umieszcza je na specjalnych taśmach, nawiniętych na szpulach, co ułatwia podawanie tych elementów do automatów montujących.

Należy zwrócić uwagę, że stosowanie układów scalonych nie eliminuje wspomnianych wyżej automatów montujących. Wręcz przeciwnie, dalej jeszcze posunięta standaryzacja wymiarów oprawek obwodów scalonych, niż to ma miejsce przy klasycznych elementach dyskretnych, ułatwia ich automatyczny mon-

taż. Oczywiście opłacalność stosowania automatów zależy wyłącznie od rozmiarów produkcji. Wydaje się jednak, że maszyny tego typu stracą rację swego istnienia w wypadku szerokiego zastosowania tzw. integracji wielkoskalowej - LSI.

13.1.2. Automatyzacja wykonywania obwodów scalonych

Niewiele upraszczając sprawę, można stwierdzić, że w chwili obecnej podstawowe znaczenie dla produkcji obwodów scalonych ma zagadnienie mechanizacji, a nawet automatyzacji wykonywania masek. Nabiera ono szczególnego znaczenia wówczas, kiedy producent obwodów scalonych chce zaoferować produkt dostosowany do specyficznych życzeń klienta, a także w przypadku tzw. integracji wielkoskalowej. Obecnie stosowane metody wykonywania masek są nadzwyczaj pracochłonne, znaczny procent prac bywa wykonywany ręcznie i prawdopodobieństwo omyłek /z reguły nadzwyczaj kosztownych/ jest bardzo znaczne.

W tym miejscu należy zastrzec, że zagadnienie to nie występuje w przypadku masowej produkcji typowych i prostych funkcjonalnie układów cyfrowych, wykonywanych jako klasyczne układy scalone.

Jeśli chodzi o procesy fizykochemiczne, używane przy produkcji obwodów scalonych, to można stwierdzić, że obecna sytuacja jest uznawana za zadowalającą. Wydajność produkcji jest duża, w jednym cyklu produkcyjnym można uzyskiwać tysiące obwodów scalonych. Stosowane urządzenia odpowiadają w zasadzie wymaganej stabilności procesów technologicznych. Podstawowe znaczenie ma barazo dokładne utrzymywanie temperatury, w której zachodzi proces dyfuzji. Uważa się również, że znajomość zależności między parametrami procesu technologicznego, a parametrami elektrycznymi układów, otrzymanych w wyniku tego procesu, jest zbyt mała, aby można było mówić o praktycznym stopniu oddziaływania na proces technologiczny, mającym na celu wprowadzanie zmian w parametrach elektrycznych, względnie zastosowanie odpowiedniego sprzężenia zwrotnego dla stabilizacji parametrów produkowanych układów [1]. Tak więc, na razie przynajmniej, automatyzacja produkcji obwodów scalonych poza produkcją masek nie obejmuje wcale procesów technologicznych.

W klasycznej metodzie przygotowania masek do produkcji obwodów scalonych wyróżnić można następujące etapy:

- Przygotowanie rysunku konstrukcyjnego /l a y o u t/ obwodu scalonego, określającego szczegółowo geometrię elementów składowych projektowanego obwodu.
- Wykonanie rysunków wzorcowych masek /liczba ich sięga kilkunastu dla pojedynczego obwodu scalonego/.
- Wykonanie wzorców ze specjalnej dwuwarstwowej folii, za pomocą wycinania rysunku na precyzyjnym koordynatografie. Wzorce te są wykonywane w kilkusetkrotnym liniowym powiększeniu w stosunku do oryginalnych wymiarów obwodu scalonego.
- Zmniejszenie fotograficzne wzorca maski /10-20 razy/.
- Wykonanie zwielokrotnionej maski, nadającej się już do procesu naświetlania warstwy ochronnej na płytce krzemu. Wymiary pojedynczego elementu maski są zgodne z wymiarami obwodu scalonego, liczba elementów maski wynosi kilkaset. Maskę zwielokrotnioną wykonuje się na repetycyjnej kamerze fotograficznej /s t e p - a n d - r e p e a t c a m e r a/.

Aby uzyskać maski odpowiednio wysokiej jakości, wymienione etapy prac muszą być przeplatane odpowiednimi operacjami kontrolnymi. Jeśli weźmie się pod uwagę to, że w powyższym zestawieniu nie uwzględniono wszystkich czynności /jak np. fotochemicznej obróbki materiału fotograficznego/, a także to, że wymiary elementów ostatecznej maski mierzy się pojedynczymi mikronami oraz to, że komplet masek dla danego obwodu scalonego składa się z kilkunastu sztuk - można wówczas zdać sobie sprawę z długotrwałości procesu opracowania masek, wielkich strat jakie powodują pomyłki, wysokich wymagań co do kwalifikacji personelu oraz bardzo ostrych warunków ogólnotechnologicznych, jak np. dobrego odpylenia i właściwej klimatyzacji.

Rozwiązania tych trudności poszukuje się na dwóch zasadniczych drogach, zresztą wzajemnie się uzupełniających. Pierwsza polega na zastosowaniu takich środków w procesie projektowania, by rysunek konstrukcyjny /l a y o u t/, który jest podstawą do sporządzania masek, był bezbłędny i nie wymagał wprowadzania poprawek, które najczęściej oznaczają konieczność zaczynania pracy od nowa. Uzyskuje się to przede wszystkim przez projektowanie wspomagane przez maszynę. Przykładem tego może być program CADIC omówiony w poprzednim artykule tego cyklu.

Druga droga, to eliminacja maksymalnej ilości operacji pośrednich, pomiędzy rysunkiem obwodu scalonego a właściwą, zwielokrotnioną maską. Świet-

nym przykładem tego podejścia jest metoda opracowana w Polsce [2], polegająca na bezpośrednim naświetlaniu odpowiednio ukształtowanym strumieniem światła płyty fotograficznej o wysokiej zdolności rozdzielczej. Ruchami płyty względem strumienia, potrzebnymi dla zaczernienia odpowiednich pól płyty, dzięki czemu uzyskuje się obraz maski, steruje się za pomocą programu zawartego na taśmie dziurkowanej. Jak podają autorzy tej metody - możliwe jest uzyskanie dokładności /położenia i powtarzalności odpowiednich pól na różnych maskach/ od 1 do 2 mikronów i minimalnej wielkości znaków około 10 mikronów. Charakterystyczna jest też wysoka wydajność metody: wykonanie fotomaski złożonej z 1200 elementów wynosi około 4 godzin.

Podobną zasadę zastosowano w urządzeniu opracowanym przez firmę O p t o m e c h a n i s m I n c., opisanym w artykule [3]. Umożliwia ono kreślenie masek do obwodów drukowanych bezpośrednio na płycie fotograficznej. Odbywa się to przy pomocy sterowania ruchem przesuwalnego stołu względem strumienia światła. Położenie stołu jest kontrolowane za pomocą interferometru o specjalnej konstrukcji, zapewniającego dokładność ustawienia stołu do $\pm$ 0,25 mikrona. Interferometr sprzężony jest bezpośrednio z małą maszyną cyfrową stosowaną zarówno do automatyzacji pomiarów interferometrycznych jak i do sterowania ruchami stołu.

Warto podkreślić, że dokładność pomiaru za pomocą interferometru jest prawie czterokrotnie większa od dokładności ustawienia stołu i wynosi $\pm$ 0,068 mikrona. Tak dużą dokładność osiągnięto między innymi dzięki użyciu specjalnej konstrukcji pryzmatu, przesuwającego fazę odbitego światła w interferometrze. Stało się to możliwe na skutek usunięcia płytki szklanej, używanej zwykle w tym celu, a jak wiadomo zmiany grubości tej płytki pod wpływem temperatury są główną przyczyną uchybów w pomiarach interferometrycznych tego rodzaju.

Inne zastosowanie urządzenia firmy Optomechanism Inc., oparte na zasadzie kamery fotorepetycyjnej, polega na wkopiowywaniu fragmentów obwodów scalonych na płytę fotograficzną umieszczoną na przesuwalnym stole. W tym celu w głowicy przyrządu umieszczono płytę fotograficzną z typowymi, często powtarzającymi się fragmentami obwodów scalonych. Na jednej płycie o wymiarach ok. 10 x 10 cm umieszczono 49 wzorców. Wzorce te zresztą można wytwarzać w tym samym urządzeniu, przez naświetlanie ich strumieniem światła o przekroju kołowym lub kwadratowym i odpowiednie sterowanie ruchem stołu przez sterującą maszynę cyfrową.

Takie postępowanie zwiększa znacznie szybkość tworzenia masek. Naświetlanie może się odbywać z szybkością do 10-ciu ekspozycji na sekundę. Przesuwanie płytki z obrazami wzorcowymi, dobieranie odpowiedniej przesłony, sterowanie naświetlania obrazu /nawet w czasie ruchu stołu/ przez odpowiedni dobór chwili błysku lampy wyładowczej - wszystkie te czynności znajdują się pod kontrolą małej maszyny cyfrowej PDP-8 firmy DEC. Jest to maszyna z tzw. serii "za dziesięć tysięcy dolarów".

W sumie pozwala to na daleko posuniętą automatyzację, szczególnie użyteczną przy produkcji układów scalonych typu LSI. Oczywiście, maszyna PDP-8 służy tylko do stosunkowo prostego, wykonawczego sterowania. Taśmy, określające strukturę wykonywanego układu LSI, będą z reguły produkowane przez inną maszynę cyfrową, o znacznie większej mocy obliczeniowej.

13.1.3. Automatyzacja wielkiej integracji

O ile tradycyjne metody produkcji masek mogły znajdować szerokie zastosowanie przy produkcji klasycznych obwodów scalonych stosunkowo prostych funkcjonalnie, o tyle coraz trudniej wyobrazić sobie swobodny rozwój wielkiej integracji /L a r g e S c a l e I n t e g r a t i o n/ bez powszechnego stosowania maszyn matematycznych przy poszczególnych fazach ich produkcji.

Do klasy LSI zalicza się układy, które zawierają 100 lub więcej bramek logicznych lub ich równoważników. Następstwem takiej wielkości układów jest zmniejszenie ich uniwersalności. W związku z tym trudno liczyć, aby przygotowane z tak wielkim nakładem maski były należycie wykorzystane. W skrajnym przypadku w maszynie cyfrowej przyszłości każdy typ układu może występować tylko raz, lub co najwyżej kilka razy. Oczywiście, do uzyskania opłacalności takiej produkcji należy w istotny sposób zmniejszyć koszty opracowania takich zindywidualizowanych fotomasek. Jedynym rozwiązaniem może być zautomatyzowanie wszystkich operacji produkcji masek.

Automatyzacja produkcji fotomasek konieczna jest również z innego powodu. Nawet zakładając posiadanie bezbłędnego projektu układu ma się niewielkie szanse bezbłędnego wykonania rysunku fotomasek, gdyż ich kreślenie, a właściwie wykrawanie z odpowiedniej folii jest pracą bardzo żmudną. Jeżeli założymy mniej idealną sytuację, a mianowicie taką, że nie można od razu zaprojektować układu w 100% bezbłędnego i konieczne jest co najmniej wyko-

nanie modelu i prototypu takiego układu - to należy stworzyć możliwości wystarczająco szybkiego i taniego wykonywania kolejnych wersji masek. Dlatego właściwym rozwiązaniem może być tylko automatyzacja wykonawstwa masek.

Częściowym rozwiązaniem tego problemu jest zastosowanie odpowiedniego języka formalnego, pozwalającego na stosunkowo zwięzły zapis potrzebnej struktury geometrycznej maski. Język taki, pod nazwą LAGER /L a y o u t G e n e r a t i n g R o u t i n e/, został opracowany w firmie IBM [4]. Przy pomocy translatora tego języka produkuje się taśmę sterującą ruchami stołu urządzenia automatycznie naświetlającego maskę. Język LAGER posiada szereg następujących właściwości, które czynią go bardzo użytecznym:

- Możliwość definiowania makrorozkazów, co daje użytkownikowi możliwość tworzenia własnych wersji języka, budowania przy pomocy jednego makrorozkazu skomplikowanych tworów geometrycznych, np. masek tranzystorów, diod,a nawet całych układów, co jest bardzo użyteczne przy wielkiej integracji.
- Sprawdzanie poprawności syntaktycznej programu, które umożliwia przynajmniej częściową eliminację omyłek.
- Sprawdzanie poprawności utworzonej maski przez jej narysowanie za pomocą pisaka x-y, przed naświetleniem kliszy.
- Powtórzenie określonego tworu geometrycznego dowolną ilość razy w określonych odstępach - w wierszach, kolumnach, lub w postaci macierzy.
- Możliwość projektowania "trójwymiarowego".

Ta ostatnia cecha języka, chyba najciekawsza dla projektanta, umożliwia mu "przestrzenny" zapis dowolnej struktury lub grupy struktur geometrycznych, powiązanych ze sobą w trzecim wymiarze. W wyniku tego można operować całymi kompletami masek, potrzebnymi np. do wytworzenia tranzystora.

Powtórzenie oznaczeń tranzystora w różnych miejscach projektowanego układu pociąga za sobą wprowadzenie odpowiednich zmian do wszystkich masek, potrzebnych do wykonania tranzystora. Taka właściwość nie tylko znakomicie ułatwia pracę projektantowi, lecz również eliminuje większość możliwych omyłek, polegających z reguły na pominięciu pewnych elementów w niektórych maskach - co jest szczególnie prawdopodobne przy dużej ilości elementów w masce.

Stosowanie języka LAGER już w chwili obecnej pociąga za sobą około 3-5-krotne skrócenie czasu potrzebnego do wykonania masek. Wprowadzenie pełnej automatyzacji wg oceny H. Freitaga [4] powinno spowodować ok. 25-krotne skrócenie pracochłonności w porównaniu z wykonawstwem ręcznym. Liczby te naocznie obrazują korzyści automatyzacji w zakresie obwodów scalonych. Ponadto równocześnie wskazują one, że automatyzacja projektowania splata się w danym przypadku bardzo silnie z automatyzację wytwarzania.

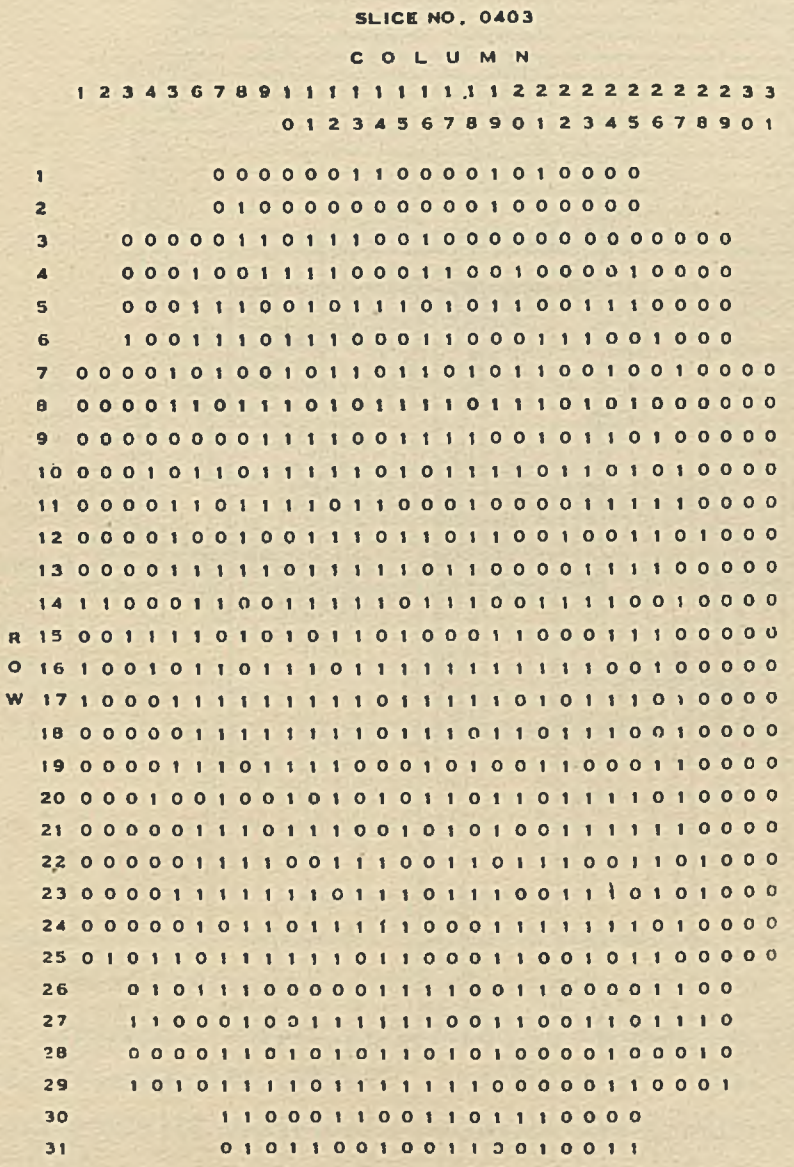
Na zakończenie tego punktu wskażemy jeszcze na istotną potrzebę automatyzacji sprawdzania i łączenia operacji kontrolnych z operacjami produkcyjnymi a nawet projektowymi /w ograniczonym zakresie/ w jedną harmonijną całość. Doskonałym przykładem tego jest automatyzowanie technologii wykonywania układów LSI, w której połączenia wykonuje się za pomocą metalizowanych wielowarstwowych połączeń, po uprzednim zbadaniu, które z wykonanych na płytce krzemu układów są dobre.

Opracowany w tym celu przez firmę T e x a s I n s t r u m e n t s S y s t e m MIG /M u l t i l e v e l I n t e r c o n n e c t G e n e r a t o r/ [1] pracuje w następujący sposób. Danymi wejściowymi systemu są z jednej strony schematy logiczne układów, które mają być wykonane ze zmagazynowanych płytek krzemowych z wykonanymi na nich /w nadmiarze/ układami odpowiednich typów, z drugiej zaś strony danymi wejściowymi są dokładne opisy stanu tych płytek, wskazujące na to, które układy są dobre, a które nie nadają się do wykorzystania.

Po sprawdzeniu poprawności syntaktycznej danych dotyczących realizowanego schematu logicznego, odpowiednio kojarzy się dane wejściowe. Oznacza to, że do schematu logicznego zostanie dobrana taka płytka, która zawiera odpowiednią ilość dobrych układów, a także, że zostaną wybrane takie płytki, dla których strata dobrych układów będzie jak najmniejsza. Następnie zostaje określone przyporządkowanie układów na płytce odpowiednim blokom schematu logicznego oraz zostają sporządzone schematy połączeń. Informację wyjściową stanowią precyzyjnie naświetlone filmy /przy pomocy wyjścia oscyloskopowego/, które służą do wykonywania warstw metalizowanych i izolacyjnych na wybranej płytce. Komplet składa się z pięciu masek.

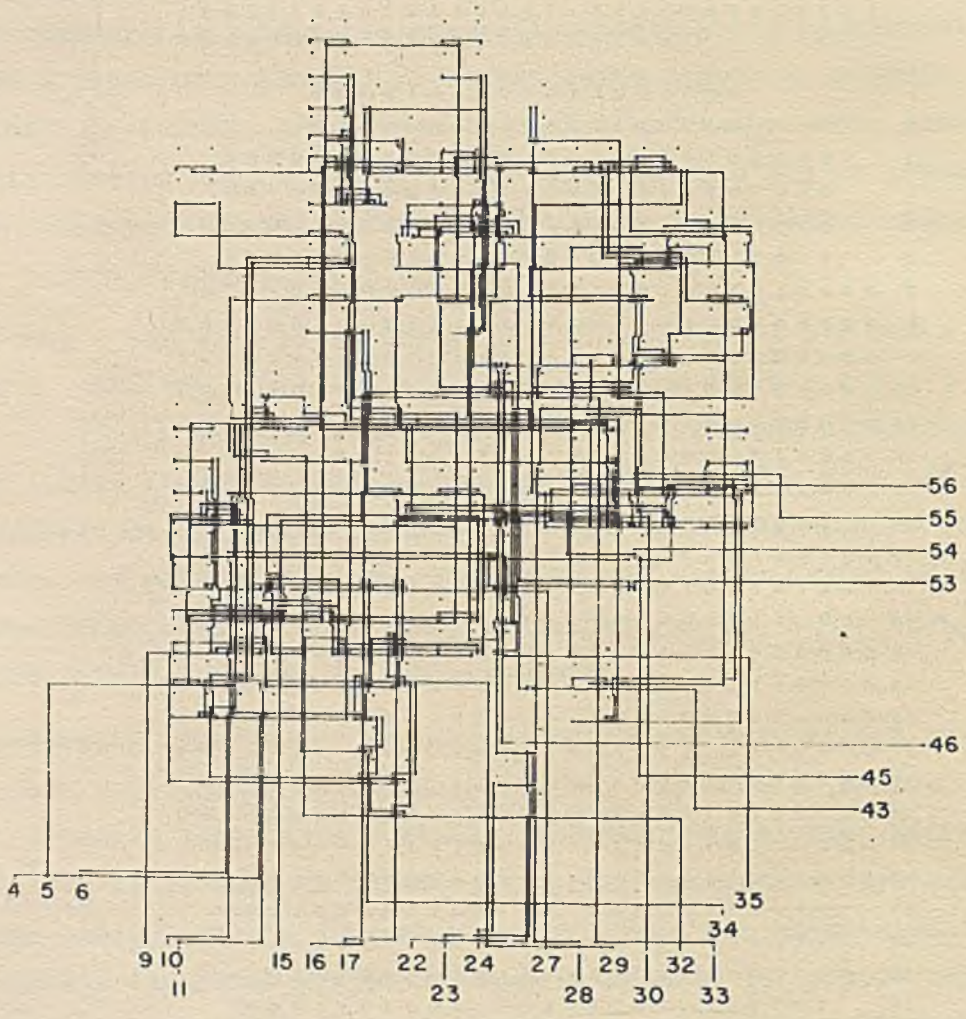
Prócz informacji wyjściowej o charakterze produkcyjnym, na wyjściu systemu można uzyskać szereg informacji kontrolnych, szczególnie istotnych ze

względu na eksperymentalny charakter systemu. Za przykład mogą służyć rys. 1, 2 i 3 przedstawiające odpowiednio karty kontroli płytki zawierającej wykaz złych i dobrych układów oraz nałożone na siebie obrazy połączeń pierwszej i drugiej warstwy połączeń /w oryginale pisak x-y kreśli je w kolorach/, a także obraz trzeciej warstwy połączeń wraz z obrysem połączeń zewnętrznych.

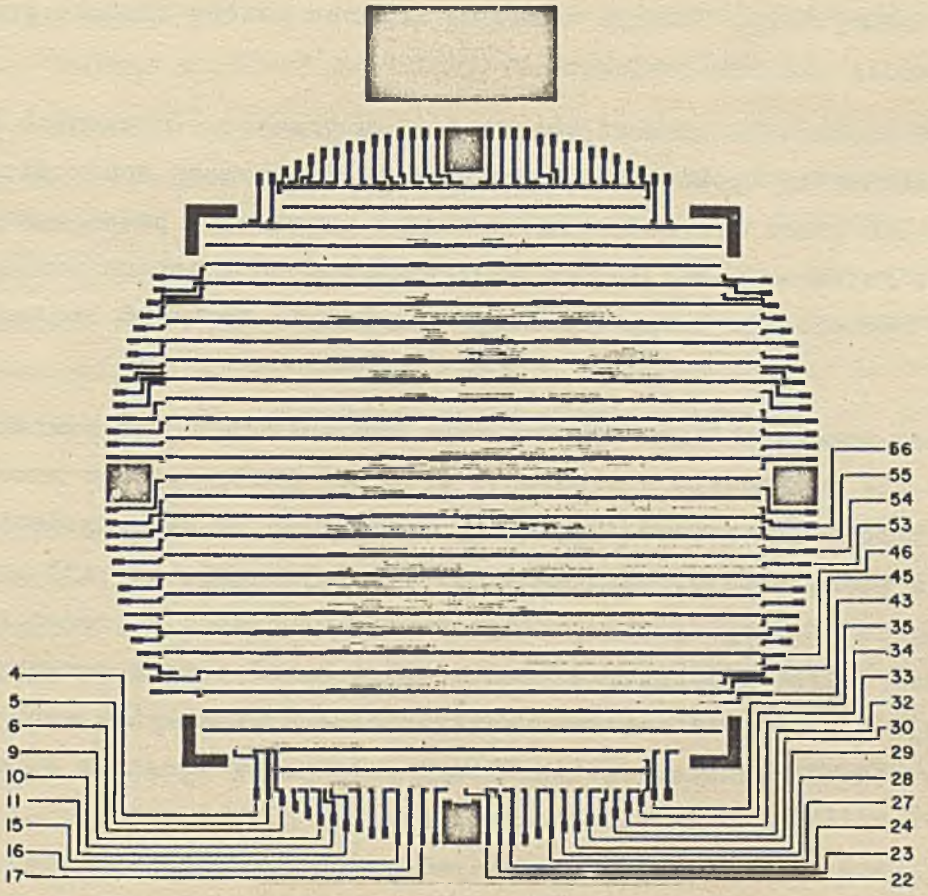


Rys. 1. "Karta jakości" układów na płytce krzemowej

Powyższy system wydaje się być dobrym przykładem tego, jak daleko posunęło się zespolenie wszystkich etapów: projektowania, wytwarzania, kontroli i kompleksowej automatyzacji tych czynności w najnowocześniejszej technologii elektroniki dotyczącej obwodów scalonych na wielką skalę.



Rys. 2. Schemat połączeń pierwszej i drugiej warstwy układu scalonego sporządzony na pisaku x-y



Rys. 3. Połączenia trzeciej warstwy łącznie z doprowadzeniami zewnętrznymi do złożonego układu scalonego - LSI

13.2. A u t o m a t y z a c j a w y b r a n y c h p r o c e s ó w k o n t r o l i

Utrzymując zasadę omawiania wybranych zagadnień również i w przypadku kontroli procesów wytwarzania układów cyfrowych - zatrzymamy się jedynie na takich typowych i masowo występujących operacjach, jak kontrola połączeń międzyzłączowych /b a c k w i r i n g/ oraz najnowsza metoda całościowej kontroli pakietów, wykorzystująca promieniowanie cieplne pracującego układu.

Równocześnie należy z całą mocą podkreślić, że w dziedzinie kontroli końcowej elementów i podzespołów elektronicznych ostatnie lata przyniosły kolosalne zmiany w zakresie precyzji i wszechstronności badań. O ile w początkowym okresie rozwoju elektroniki cyfrowej automatyczna kontrola ograniczała się do rdzeni pamięciowych, o tyle ostatnio rozszerzono ją na sze-

reg innych elementów elektronicznych, takich jak oporniki, kondensatory, diody, tranzystory. Jeszcze bardziej złożone metody zostały opracowane dla kontroli układów scalonych.

Ilość parametrów kontrolowanych i elastyczność stosowanych testów w sposób naturalny spowodowała wprzęgnięcie do procesu kontroli, bezpośrednio lub przez przygotowywanie taśm z programami badań - maszyn cyfrowych. Pojawienie się tanich maszyn cyfrowych o cenach poniżej 10 000 dolarów spowodowało istną rewolucję w zakresie techniki kontrolno-pomiarowej.

Szereg poważnych firm wykorzystuje koniunkturę w tym zakresie, specjalizując się gwałtownie w produkcji urządzeń pomiarowych o znacznie szerszym zakresie zastosowań [5], [6], bazujących na wykorzystaniu tych maszyn dla sterowania procesu kontroli i podejmowania decyzji przy selekcji. Użycie maszyny cyfrowej bezpośrednio włączonej w proces kontroli umożliwia dalsze zwiększenie efektywności badań, przez warunkową zmianę sekwencji stosowanych testów w zależności od poprzednich wyników. Możliwe jest też natychmiastowe uzyskiwanie statystyk badanych wyrobów.

13.2.1. Urządzenie do sprawdzania połączeń międzypakietowych

Automatyczne wykonywanie połączeń międzypakietowych /b a c k - p l a n e w i r i n g/ oparte na technologii połączeń okręcanych stało się codzienną praktyką większych firm produkujących maszyny cyfrowe. W związku z tym wydawałoby się, że sprawdzanie tych połączeń jest bezcelowe. Praktyka jednak wykazuje, że nawet przy automatycznym wykonywaniu połączeń mamy do czynienia z pewnym procentem /1-5%/ wadliwie wykonanych, względnie pominiętych połączeń. W obecnej sytuacji, której cechą charakterystyczną jest coraz większa złożoność urządzeń cyfrowych, odkładanie wykrycia tych błędów do czasu uruchomienia urządzeń funkcjonalnych byłoby bardzo ryzykowne.

Jak wiadomo, testy lokalizujące mogą pozostawić pewne niewykryte błędy montażowe, niemożliwe jest bowiem poddawanie urządzenia takiemu sprawdzeniu, które by obejmowało wszystkie możliwe stany. Ponadto, wykrycie pewnych błędów okablowania wymaga dłuższego czasu, jeśli je przeprowadzać na poziomie uruchamiania funkcjonalnego, i oznacza stratę czasu wykwalifikowanego personelu technicznego. W związku z tym korzystniejsze było przeprowadzanie sprawdzania poprawności okablowania dostępnymi środkami,

tzn. ręcznie, na podstawie tabel połączeń. W konsekwencji prowadziło to przy dużej produkcji do tego, że sprawdzanie połączeń międzypakietowych stawało się "wąskim gardłem" produkcyjnym w wielu firmach.

Sytuacja zmieniła się radykalnie z chwilą wprowadzenia automatów przeznaczonych do sprawdzania połączeń międzypakietowych. Przykładem takiego urządzenia może być analizator połączeń typ 6120 firmy DIT-MCO, opisany w artykule [7]. Istotnym zagadnieniem było tutaj zapewnienie połączeń między badanymi obwodami a urządzeniem pomiarowym. We wspomnianym urządzeniu połączenia te są wykonywane przez dość skomplikowane konstrukcyjnie sprężynujące szpilki dociskane do wyprowadzeń łączówek od strony okablowania.

Urządzenie to pozwala na sprawdzanie prawidłowości połączeń w okablowaniach o maksymalnej liczbie kontaktów 50 000. Konstrukcja mechaniczna uchwytu pomiarowego jest skomplikowana i wymaga dużej precyzji wykonania. Wymagana jest również dla zapewnienia prawidłowego kontaktu duża precyzja rozmieszczenia łączówek w kasetach sprawdzanych. Sterowanie pracą urządzenia odbywa się przy pomocy taśmy perforowanej, przygotowywanej ręcznie na podstawie tabel połączeń lub przez maszynę cyfrową. Możliwe jest również "samoprogramowanie". Polega ono na produkowaniu taśmy perforowanej w oparciu o "obiekt wzorcowy",posiadający wszystkie połączenia prawidłowe i podłączony do wspomnianego urządzenia.

Urządzenie to pracuje z szybkością około 3000 testów na minutę, jeśli sprawdza ciągłość połączeń między określonymi punktami i szybkością 2400 testów na minutę, jeśli dokonuje sprawdzania jakości izolacji.

13.2.2. Urządzenie do kontroli pakietów za pomocą promieni podczerwonych

W ostatnich latach obserwuje się zwiększone zainteresowanie metodami badania, polegającymi na pomiarze promieniowania podczerwonego /cieplnego/ emitowanego przez elementy badanego układu, znajdującego się w normalnych warunkach zasilania. Okazuje się bowiem, że uszkodzenia elementów układu, pomyłkowy montaż /np. zamiana biegunów kondensatora elektrolitycznego/, a nawet zmiany wartości elementów /np. oporności wmontowanego opornika/ powodują wyraźnie rozróżnialne zmiany ilości ciepła, wydzielanego przez poszczególne elementy układu.

Metoda badania promieniowania podczerwonego w związku z tym jest bardzo skutecznym narzędziem kontroli produkowanych układów, przewyższają-

cym pod pewnymi względami metody klasycznej kontroli elektrycznej. Ta ostatnia bowiem nie może wykryć w czasie badań pewnych uszkodzeń, jak wymienionego powyżej odwrócenia biegunów kondensatorów elektrolitycznych, ich zwiększonej upływności czy też zmian innych parametrów elementów, jeśli są one maskowane przez większe tolerancje pozostałych układów mieszczących się w pakiecie. Tak np. przedmiotem badania może być wzmacniacz zakończony układem ogranicznika. W takim układzie zmiany wzmocnienia, powodowane zastosowaniem niewłaściwych detali, mogą być przy badaniach elektrycznych maskowane działaniem ogranicznika i w związku z tym stać się niewykrywalne bez zastosowania badań przebiegów w poszczególnych punktach.

Podobnie, występowanie w badanym układzie tranzystorów lub diod o zwiększonej upływności może być trudne do wykrycia za pomocą zwykłych badań elektrycznych. Uszkodzenia takie z łatwością dają się wykryć przy pomocy metody badania promieniowania podczerwonego. Uszkodzenia takie powodują bowiem istotną zmianę emisji ciepła w porównaniu z elementami właściwie pracującymi.

Urządzenie wykorzystujące promieniowanie podczerwone do kontroli układów elektronicznych i znane pod nazwą Compare System zostało opracowane w amerykańskiej firmie Raytheon Company i opisane przez R. Vanzettiego w artykule [8]. Nazwa urządzenia /compare/ nawiązuje do jego istotnej cechy, polegającej na porównywaniu "obrazu" promieniowania podczerwonego, wydzielanego przez elementy elektroniczne badanego układu, z "obrazami" promieniowania dla pakietu wzorcowego /poprawnie funkcjonującego/ oraz dla pakietów tego samego rodzaju z typowymi uszkodzeniami lub błędami montażowymi. Obrazy te przechowywane są w pamięci taśmowej systemu.

Zasada działania tego urządzenia przedstawia się w skrócie następująco. Badany pakiet zostaje umieszczony w oprawie doprowadzającej wszystkie napięcia zasilające i po osiągnięciu równowagi termicznej zostaje umieszczony pod głowicą urządzenia mierzącego promieniowanie podczerwone. System optyczny, odpowiednio programowany, powoduje przekazywanie do czujnika podczerwieni promieniowania pochodzącego ze "ścieżki", przesuwanej kolejno przez powierzchnię pakietu. "Ścieżka" ta tworzy raster /podobny do telewizyjnego/ i obejmuje 180 linii na pakiecie o wymiarach maksymalnych 225 x 225 mm. Szybkość "czytania" wynosi 4 linie na sekundę - a więc łączny czas badania pakietu wynosi 45 sekund.

Sygnały wyjściowe z detektora podczerwieni są poddane konwersji analogowo-cyfrowej a następnie bramkowaniu, które powoduje wydzielenie z sygnału tylko tych jego partii, które odpowiadają promieniowaniu emitowanemu przez badane elementy konstrukcyjne. Sygnały sterujące bramkowaniem są swoiste dla każdego typu pakietu, gdyż dopuszczalny jest dowolny rozkład elementów w każdym typie pakietu. Sygnały te, odpowiednio zakodowane, są przechowywane w pamięci urządzenia.

Cyfrowy "obraz" promieniowania badanego pakietu zostaje przekazany do ferrytowej pamięci operacyjnej, po czym rozpoczyna się proces porównywania tego obrazu z obrazami typowych uszkodzeń /do 164 obrazów/, przechowywanymi w pamięci taśmowej. Proces porównywania trwa 55 sekund, po upływie których operator uzyskuje informację zawierającą pewną liczbę obrazów wzorcowych najpodobniejszych do obrazu badanego pakietu i równocześnie sumę wartości bezwzględnych odchyleń między tymi najpodobniejszymi obrazami i obrazem dla badanego pakietu.

Jeśli dana suma jest równa zeru, świadczy to o znalezieniu dokładnego odpowiednika obrazu aktualnego uszkodzenia, co pozwala na jego identyfikację na podstawie numeru obrazu, przechowywanego w pamięci. Jeśli suma jest różna od zera, oznacza to brak obrazu aktualnego uszkodzenia w ewidencji tych obrazów. W tym przypadku operator powoduje odpowiednim rozkazem wydruk pewnych danych pomagających zidentyfikować uszkodzenie. Na dane te składają się:

- Wartości bezwzględne intensywności promieniowania, odczytane dla badanego pakietu w punktach, w których mieszczą się detale elektroniczne tego układu.
- Odchyłki intensywności promieniowania w stosunku do wartości /przechowywanych w pamięci/ dla wzorcowego, poprawnie działającego układu danego typu.
- Wartości odchyłek tylko dla tych punktów, dla których przekraczają one pewną arbitralnie ustaloną wartość progową.

Identyfikacja danych opiera się na numerach testowych pól wybieranych przez omówione wyżej sygnały bramkujące. Pozwalają one na określenie każdego elementu układu, którego promieniowanie odbiega od normy o pewną wartość progową.

Dane tego typu pozwalają konstruktorowi pakietu stosunkowo łatwo ustalić charakter uszkodzenia lub błędu montażowego. Ponadto, na życzenie, obraz nowo wykrytego uszkodzenia może być włączony do ewidencji typowych uszkodzeń, mieszczących się na taśmie magnetycznej, umożliwiając znacznie szybszą diagnozę w przypadku powtarzania się uszkodzeń.

Cały proces badania i porównywania obrazów dla jednego pakietu zabiera łącznie 100 sekund, co oznacza bardzo znaczne zmniejszenie pracochłonności. R. Vanzetti podaje bowiem, że czas wykrycia uszkodzenia w przypadku skomplikowanego pakietu wynosił około jednej godziny. Zakładając 50% czasu zużywanego na reperację urządzenia /ta stosunkowo wysoka liczba wskazuje być może na niewielką jeszcze niezawodność urządzenia/ uzyskuje się przeciętnie możliwość sprawdzenia 18 pakietów na godzinę. Ponieważ do obsługi urządzenia wymagane są cztery osoby /inżynier, technik, operator i osoba prowadząca zapiski/ i tak oznacza to znaczny wzrost wydajności kontroli w porównaniu do tradycyjnej metody, która wymagała 18 jednoosobowych stanowisk kontroli dla uzyskania tego samego stopnia efektywności. Oczywiście koszt dodatkowego urządzenia jest znaczny, lecz kompensuje się kosztem wyposażenia stanowisk indywidualnych, które muszą być zwielokrotnianie przy produkcji wielkoseryjnej.

Należy tu podkreślić, że zalety urządzenia polegają nie tylko na zwiększaniu szybkości kontroli, ale przede wszystkim na zwiększeniu stopnia jej szczegółowości. Szczególnie cenna jest możliwość wykrywania wszelkich zwiększonych obciążeń termicznych elementów.

Urządzenie to może być używane przez konstruktorów w celu weryfikowania prawidłowości rozkładu obciążeń termicznych, założonych przy projektowaniu, co może się przyczynić do poprawienia projektu z punktu widzenia analizy niezawodnościowej. Ponadto może być wykorzystywane również do okresowej kontroli pakietów. Urządzenie takie bowiem umożliwia sprawdzenie czy zmiany parametrów następujące w trakcie eksploatacji nie powodują tak groźnego zwiększenia obciążeń termicznych pewnych elementów, które muszą doprowadzić do wystąpienia uszkodzeń zupełnych /katastroficznych/ w trakcie eksploatacji.

W sumie urządzenie tego typu można uznać za bardzo pożyteczne dla tych producentów, którzy badają niezawodność swych produktów w trakcie eksploatacji.

Należy jeszcze dodać, że za pomocą tego urządzenia można prowadzić badania, dotyczące wpływu tzw. uszkodzeń wtórnych, które mogą wyniknąć przez obciążenia termiczne wywołane uszkodzeniem pierwotnym. Na przykład zwarcie pewnego elementu /np. diody/ wywołuje często taką zmianę rozpływu prądów w układzie, która może być groźna dla pozostałych elementów.

Zazwyczaj, ze względu na pracochłonność obliczeń potrzebnych do takiej analizy, bierze się przy projektowaniu tylko pewne uszkodzenia, przy czym analiza ta ma często charakter przybliżony. Dysponując analizatorem promieniowania podczerwonego, można przeprowadzać pomiary zmian promieniowania wywołanego uszkodzeniami symulowanymi. Ponieważ wzrost mocy wydzielanej jest ściśle związany z zagrożeniem elementu, uzyskuje się możliwość dokładnego zbadania wpływu uszkodzeń pierwotnych na realny układ, będący wynikiem projektu.

Te dodatkowe korzyści mogą być poważnym argumentem za tym, aby duże zakłady projektujące i produkujące typowe pakiety stosowały wspomniane urządzenia kontrolne, oparte na promieniowaniu podczerwonym. Urządzenia te są niewątpliwie złożone i kosztowne, ale równie niewątpliwie zapewniają wysoką jakość produktów.

14. Satelitarny system kompleksowej półautomatyzacji w zakładach IBM w San Jose w Kalifornii

Do podstawowych problemów, jakie występują w wielkich zakładach produkcyjnych, należy sterowanie procesami wytwórczymi i kontrola produkcji. Najczęściej były one rozwiązywane przez zastosowanie tradycyjnej aparatury sterującej dla oddzielnych procesów oraz tradycyjnej aparatury kontrolno-pomiarowej dla kontroli poszczególnych wyrobów.

Specyficzne warunki występujące w przypadku produkcji zespołów i maszyn cyfrowych doby współczesnej, wysoki stopień złożoności tych wyrobów oraz ogromna dynamika zmian i udoskonaleń technicznych, a także ostra konkurencja na rynkach światowych stawiają przed producentami zadania redukcji czasu niezbędnego dla uruchomienia nowej produkcji lub wprowadzenia zmian do produkcji bieżącej przy jednoczesnej redukcji kosztów aparatury kontrolno-pomiarowej i podwyższeniu jakości produkcji przez uzyskanie większej jednorodności wyrobów.

Jednym ze sposobów radykalnie poprawiających sytuację we wspomnianym zakresie jest zastąpienie tradycyjnej wyspecjalizowanej aparatury - aparaturą standardową, bazującą na maszynach cyfrowych. Klasyczne, a jednocześnie, jak już poprzednio wspomniano, na razie jedno z nielicznych praktycznych rozwiązań tego rodzaju stanowi system satelitarny COMAT[1] wprowadzony w dwu fazach /1965-1966/ w zakładach IBM w San Jose [9].

Dostępne nam materiały dotyczące tego systemu umożliwiają jedynie podanie ogólnych jego cech bez wnikania w specyfikę badań zespołów maszyn cyfrowych produkowanych w zakładach San Jose, co niewątpliwie najbardziej interesowałoby czytelników.

14.1. Schemat organizacyjny systemu

Schemat blokowy organizacji systemu podano na rys. 4. Centralną pozycję zajmują na nim dwie maszyny IBM 1460 pracujące w systemie dublex, połączone za pośrednictwem przełącznicy /multiplexor/ z maszynami satelitarnymi. W pierwszej fazie realizacji systemu COMAT zastosowano tylko jedną maszynę centralną. W drugiej fazie została ona zdublowana, a jednocześnie rozszerzono możliwości jej współpracy z pamięciami zewnętrznymi, dokonano zmian w systemie przesyłania informacji oraz wprowadzono poza występującymi w fazie I końcowymi urządzeniami testującymi dodatkowe urządzenia końcowe sterujące i urządzenia gromadzenia danych /data acquisition/.

Rys. 4. Schemat blokowy organizacji systemu COMAT

[1] Computer Operated Manufactured and Test System - system sterowania i kontroli produkcji kierowany przez maszyny matematyczne

Urządzenia testujące, czyli testery, występujące w systemie COMAT są specjalizowanymi maszynami cyfrowymi z pamiętanym programem. Zastąpiły one konwencjonalne testery. Przełącznica służy w tym systemie do bezpośredniego, dowolnego łączenia urządzeń końcowych z maszyną centralną.

Zastosowane środki łączności umożliwiają komunikację urządzeń końcowych z maszyną z szybkością 1,25 megabitów/sek., jeśli maksymalna długość kabli koncentrycznych nie przekracza 1 mili. Wprowadzenie w drugiej fazie rozwoju systemu drugiej maszyny centralnej miało na celu znaczne zwiększenie pojemności magazynów informacyjnych /pamięci dyskowe o pojemności ca 200 mln znaków/, zwiększenie niezawodności systemu oraz jego możliwości obliczeniowych.

W drugiej fazie zostały także wprowadzone urządzenia sterujące, których zasadniczą część stanowią maszyny, a ściślej mówiąc, jednostki centralne maszyn IBM1441, wyposażone w niezbędne, specyficzne układy sterujące i połączone z centralnymi maszynami systemu COMAT. Sterujące maszyny satelitarne nie mają własnych urządzeń mechanicznych wejścia i wyjścia bezpośrednio do nich przyłączonych.

Trzeci rodzaj urządzeń końcowych stanowią urządzenia do gromadzenia danych, które w odróżnieniu od dwóch poprzednio omawianych rodzajów urządzeń nie są maszynami uniwersalnymi, lecz prostymi układami służącymi jako bufory wejścia i wyjścia w stosunku do centralnych maszyn systemu.

14.2. Składniki systemu i ich przeznaczenie

14.2.1. Testery

Do głównych wad poprzednio stosowanych testerów specjalizowanych można zaliczyć ich wysokie ceny, duży nakład pracy, długi czas realizacji, wysoki koszt eksploatacji oraz małą elastyczność, utrudniającą przeprowadzanie modernizacji badanych wyrobów i zmiany sposobu badań. Rozmaitość i niestałość wyrobów będących przedmiotem prób i badań, występująca w przypadku produkcji zespołów maszyn cyfrowych, naprowadziły na pomysł zastosowania testerów uniwersalnych, łatwo dostosowywanych do nowych zadań. Z kolei prowadziło to do możliwości daleko posuniętej unifikacji i co za tym idzie oszczędności w projektowaniu i eksploatacji testerów, a także do skrócenia terminów dostaw.

W wyniku analizy wymagań stawianych uniwersalnym testerom okazało się, że styk /i n t e r f a c e/ pomiędzy testerem a badanym wyrobem powinien się w zasadzie sprowadzać do wyjść z sygnałami napięciowymi, które powinny być badane w kolejności określanej przez sygnały z wejść. Jak stąd wynika tester powinien jedynie zapewniać odpowiednią sekwencję sygnałów.

Stosunkowo proste układy dopasowania umożliwiają wykorzystanie testera uniwersalnego do badań poszczególnych rodzajów wyrobów. Dokonywanie zmian zarówno ze względu na różne wyroby jak też sposób badań tego samego wyrobu wymaga, aby tester był łatwo programowalny, to znaczy, aby był urządzeniem z pamiętanym programem. Żądana prostota testera uniemożliwia zastosowania pamięci o pojemności wystarczającej do przechowywania kompletnych programów badań.

Racjonalnym rozwiązaniem okazało się powiązanie szeregu testerów o ograniczonej pojemności pamięci z maszyną centralną wyposażoną w obszerną pamięć w jeden system i przekazywanie odpowiednich fragmentów programów badań "porcjami" z maszyny centralnej do poszczególnych testerów - maszyn satelitarnych. Jednocześnie okazało się celowym wyposażenie testera w układy, które umożliwiają mu autonomiczne wykonywanie pewnych prostych operacji, takich jak np. dodawanie i odejmowanie binarne oraz porównanie. Wprowadzono ponadto kilka rejestrów umożliwiających przekazywanie danych i rozkazów dotyczących badań z testera uniwersalnego do układów dopasowania.

Do komunikacji pomiędzy obsługą a testerem wybrano drukarkę z klawiaturą, która służy zarówno do wywoływania programów testujących z maszyny centralnej jak i do zmiany sposobu testowania w ramach aktualnie realizowanego programu badań oraz do drukowania kontrolnych wyników badań dla obsługi. Poza tym mogą być również stosowane specyficzne wskaźniki i manipulatory związane z układami dopasowania konkretnych wyrobów.

Wydaje się, że zastosowanie drukarki, a nie popularnego monitora na lampie oscyloskopowej, związane jest z tym, że system COMAT był wprowadzany już kilka lat temu /w 1965 r./.

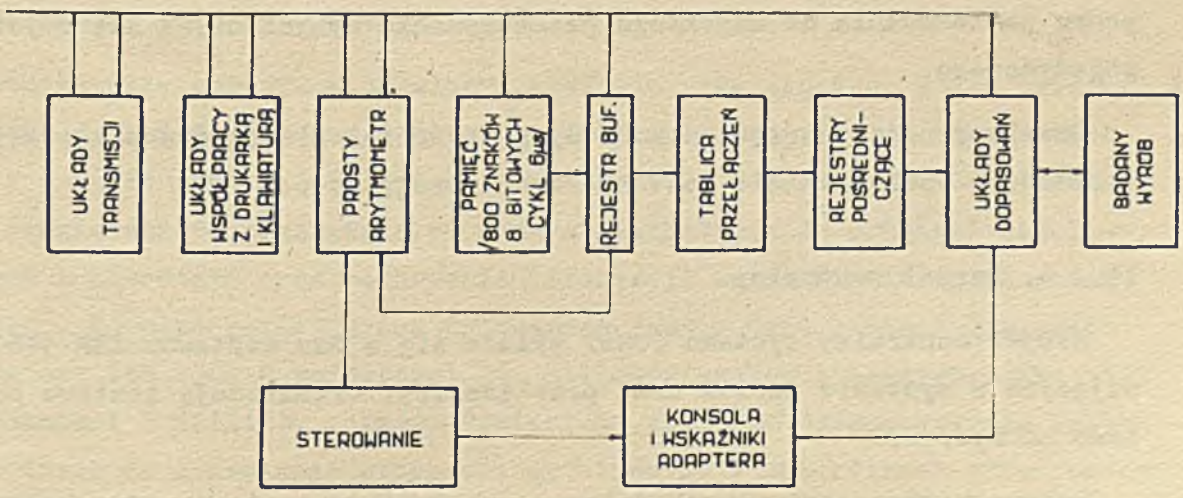
Na rys. 5 pokazano schemat blokowy testera. Pod względem struktury przepływu informacji oraz kodu rozkazowego tester uniwersalny przypomina nieco jednostkę centralną maszyny IBM1441.

14.2.2. Sterujące maszyny satelitarne

Dla sterowania złożonymi procesami wytwórczymi, jakie występują przy produkcji wielu zespołów maszyn cyfrowych, stosuje się zwykle albo aparaturę specjalnie zaprojektowaną dla określonych, konkretnych zadań, albo urządzenia sterowane taśmą dziurkowaną, albo wreszcie bezpośrednie sterowanie maszyną cyfrową. Zastosowanie dwu pierwszych metod jest na ogół nieuzasadnione z tych samych względów jakie podano przy omawianiu wyboru rozwiązania testerów. Za optymalne rozwiązanie uznano zastosowanie maszyny uniwersalnej prostej i niezawodnej, umożliwiającej dzięki łatwej wymianie programów pożądaną elastyczność zastosowań.

Maszyna taka, a raczej jednostka centralna maszyny IBM 1441, połączona poprzez stosunkowo proste układy dopasowania z obiektem, z drugiej zaś strony połączona poprzez linie łączności z centralnymi maszynami systemu i pozbawiona bezpośrednio współpracujących urządzeń wejściowo-wyjściowych, posiada szereg istotnych zalet. Należą do nich poza wspomnianą wyżej elastycznością: niska cena, wysoka niezawodność /usunięcie najczęściej ulegających uszkodzeniom urządzeń mechanicznych wejścia-wyjścia i przerzucenie czynności rejestracyjnych na maszyny centralne/, prosta obsługa oraz łatwość współpracy z poprzednio zrealizowanym w I etapie systemem COMAT, opartym na maszynie IBM 1460.

Przestudiowanie szeregu procesów wytwórczych stosowanych w zakładach IBM umożliwiło wytypowanie wyposażenia maszyny sterującej w modułowo dobierane następujące zestawy:



Rys. 5. Schemat blokowy testera

- przełączniki i wyłączniki sterowane programowo,
- czujniki kontaktowe, których stan może być badany przez program,
- kanały przekazywania danych /w dwu kierunkach - do i z maszyny/,
- konwertery a-c i c-a,
- liczniki czasu, mogące powodować przerwanie programu w określonych odcinkach czasowych.

14.2.3. Układy gromadzenia i wymiany danych

Jako trzeci rodzaj urządzeń końcowych w satelitarnym systemie COMAT wprowadzono urządzenia, będące w swej istocie układami wejścia i wyjścia między maszynami centralnymi systemu a pewnymi stanowiskami pracy. Mogą to być np. stanowiska kontroli technicznej, wykorzystujące standardowe urządzenia pomiarowe.

Dzięki tym urządzeniom wyniki pomiarów mogą być przekazywane do centralnej maszyny dla zarejestrowania ich w pamięci służącej jako archiwum wyników lub dla wykonania odpowiednich obliczeń /redukcji danych/ i przekazania wyników operatorowi stanowiska pomiarowego.

Drugim przeznaczeniem tych urządzeń jest bezpośrednie przekazywanie danych, np. programów sprawdzających przy badaniu części centralnej maszyny, bez pośrednictwa kart czy taśm perforowanych - bezpośrednio z banku informacji, znajdującego się w maszynie centralnej.

Ferrytowa pamięć buforowa układu może mieć zależnie od konkretnego przeznaczenia 800 znaków ośmio-bitowych lub 400 szesnastobitowych. W przypadku zastosowania do szybkiego przekazywania danych używa się rejestru pojedynczego.

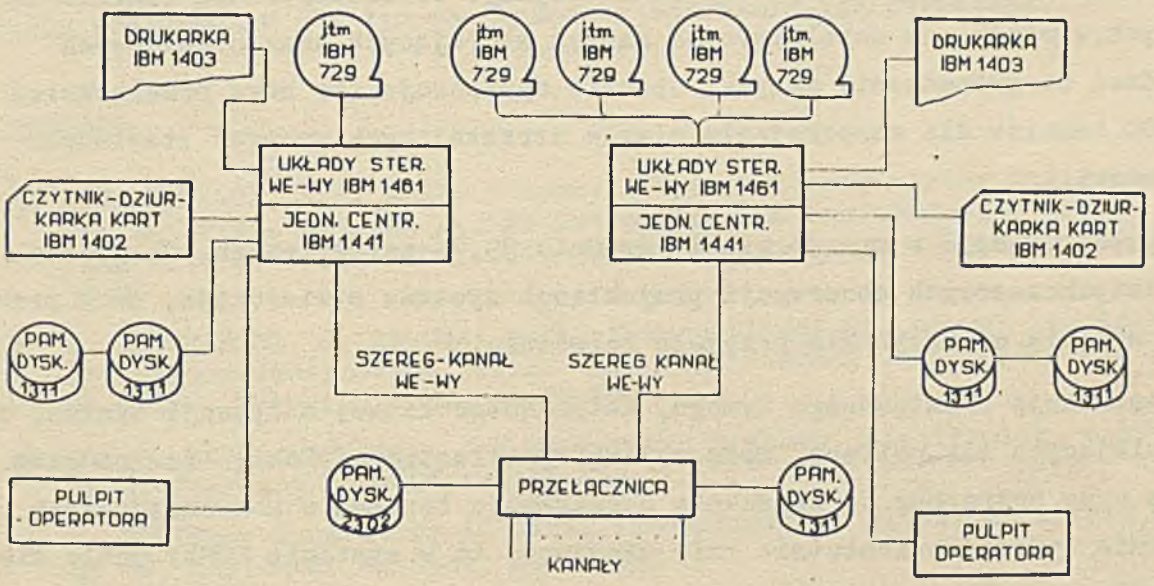
Omawiany rodzaj urządzeń końcowych w odróżnieniu od dwu pozostałych poprzednio opisanych nie jest sterowany programowo.

14.2.4. Zespół centralny

Zespół centralny systemu COMAT składa się z dwu zestawów IBM 1460 pracujących w systemie duplex oraz przełącznicy. Organizację zestawu pokazano na rys. 6.

Wyboru maszyn centralnych dokonano ze względu na ich bardzo korzystne cechy, jak wysoka wydajność przetwarzania informacji, szeroki wachlarz urządzeń zewnętrznych i prostota programowania przy stosunkowo niskich

kosztach. Jak wynika z odpowiednich publikacji firma IBM rozważa obecnie celowość zastąpienia zestawów IBM 1460 zestawami IBM serii 360 ze względu na większą szybkość przetwarzania i większą pojemność pamięci.



Rys. 6. Schemat zestawu urządzeń COMAT

Obydwie maszyny centralne omawianego systemu posiadają prawie jednakowe wyposażenie. Jedyna różnica polega na tym, że rezerwowa jednostka centralna jednej z tych maszyn ma o trzy jednostki taśmy magnetycznej więcej. Służą one poza głównymi zadaniami systemu COMAT realizowanymi na bieżąco do dodatkowego przetwarzania informacji np. sporządzania raportów produkcyjnych na bazie podziału czasu.

Istotną rolę odgrywa w omawianym systemie przełącznica, która wraz z kanałami szybkiej transmisji danych umożliwia współpracę maszyn centralnych z urządzeniami satelitarnymi. Przełącznica zapewnia komutację kanałów, dwukierunkowe przerwania od maszyn centralnych do urządzeń satelitarnych i odwrotnie oraz cechowanie informacji wskazaniami zegara czasu realnego. Ponadto przełącznica wyposażona jest w dwie pamięci dyskowe: zasadniczą IBM 2302 o pojemności 234 milionów znaków i rezerwową IBM 1311 o pojemności 2 milionów znaków. Pamięci te służą do przechowywania danych niezbędnych do sterowania procesami wytwórczymi i kontrolnymi przy pomocy maszyn satelitarnych.

Organizacja pracy systemu zapewnia jego wysoką niezawodność poprzez zdublowanie wszystkich newralgicznych zespołów i możliwość natychmiastowego przełączenia pracy systemu na reżim awaryjny.

Aktualnie działający system COMAT obejmuje 60 testerów dla badania 14 różnych wyrobów, 18 satelitarnych maszyn sterujących oraz 8 końcowych urządzeń do gromadzenia danych. Obecnie opracowuje się nową przełącznicę na 200 kanałów dla zaspokojenia ciągle narastających wymagań stawianych systemowi.

System pracuje w sposób ciągły średnio 99,7% całego czasu. Na podstawie dotychczasowych obserwacji projektanci systemu stwierdzają, że w praktyce spełnia on wszystkie przyjęte założenia.

Realizację podstawowego wymogu, dotyczącego łatwej adaptacji systemu do zmieniających się potrzeb, może najlepiej zilustrować fakt, że podczas kiedy czas potrzebny do uzyskania dodatkowego testera w konwencjonalnym systemie wynosił przeciętnie trzy miesiące, to w systemie COMAT udało się dzięki przesunięciu istniejących urządzeń i prostej ich adaptacji osiągnąć ten sam efekt w dwa tygodnie.

15. Zakończenie

Ze względu na dynamicznie rozwijający się w Polsce przemysł maszyn cyfrowych, przedstawione w niniejszym artykule zagadnienia muszą być starannie przeanalizowane z punktu widzenia istniejących i przewidywanych potrzeb produkcyjnych.

Aktualna sytuacja na niektórych odcinkach poruszanej problematyki stawia przed nami poważne możliwości właściwego zabezpieczenia przyszłych potrzeb, pod warunkiem jak najszybszego opracowania programu działania i zebezpieczenia potrzebnych środków. Dotyczy to w szczególności prac nad automatyzacją wytwarzania masek dla produkcji układów scalonych.

Niezależnie od rozwoju prac nad technologią wytwarzania obwodów scalonych należy intensywnie rozwijać zapoczątkowany i uwieńczony sukcesami szereg prac prowadzonych w IMM [2]. Nie wystarczy bowiem ograniczyć się do wykonania nawet bardzo doskonałej aparatury służącej do wytwarzania masek, lecz należy również zapewnić opracowanie odpowiednich języków i programów umożliwiających efektywne wykorzystywanie tej aparatury.

Można by w tym celu wykorzystać dobrze opisane w literaturze języki do produkcji taśm sterujących obrabiarkami [10], [11]. Języki te, po od-

powiedniej adaptacji i połączeniu z dostępnymi informacjami na temat języka LAGER [4], mogłyby w rezultacie doprowadzić stosunkowo szybko do powstania specjalizowanego języka ułatwiającego efektywne projektowanie układów scalonych w ścisłym powiązaniu z aparaturą już posiadaną.

Literatura

[1] J.W. LATHROP, R.S. CLARK i inni: A Discretionary Wiring System as the Interface Between Design Automation and Semiconductor Array Manufacture. Proc. IEEE, vol. 55, nr 11, November 1967, s. 1988-1997.

[2] J. GROSZYŃSKI, J. RELUGA: Maski fotograficzne dla nowych konstrukcji półprzewodnikowych. Biul. Inf. IMM, Nowości Techniczne, rok VI, nr 2/14/, kwiecień 1967, s. 71-79.

[3] R.C.M. BEEH: Improving the Mask-maker's Image. Electronics, vol.41, nr 3, February 5, 1968, s. 78-84.

[4] H. FREITAG: Generating IC Masks Automatically. Electronics,vol. 40, nr 18, September 4, 1967, s. 88-92.

[5] C. MOSKOWITZ: Instruments Makers Are Measuring up to Systems Engineering Standards. Electronics, vol. 40, nr 8, April 17, 1967, s. 161-164.

[6] Computer Analyzes Memory Performance. Electronics, vol. 40, nr 18, September 4, 1967, s. 167-170.

[7] P. WICKERSHAM: Rapid Validation of Interconnect Systems. Computer Design, vol. 6, nr 10, October 1967, s. 46-55.

[8] R. VANZETTI: A Revolutionary New Test Approach: The Compare System. Electronic Communicator, vol. 2, nr 5, Sept./Oct. 1967, s. 5-6.

[9] J.E. STUEHLER, R.V. WATKINS: A Computer-Operated Manufacturing and Test System. IBM Jour. Res. Dev., vol. 11, nr 4, July 1967, s. 452-460.

[10] S.A. BROWN i inni: A Description of the APT Language. Comm. ACM., vol. 6, nr 11, November 1963, s. 649-657.

[11] J.Y.S. LUH, R.J. KROLAK: A Mathematical Model for Mechanical Part Description. Comm. ACM., vol. 8, nr 2, February 1965, s. 125-129.

Mgr MARIA ŁĄCKA, Mgr inż. ZBIGNIEW ZORSKI
Katedra i Zakład Budowy Maszyn Matematycznych
Politechniki Warszawskiej

681.322.06

SYSTEM JS

1. Wstęp

W roku 1965/66 w Katedrze i Zakładzie Budowy Maszyn Matematycznych Politechniki Warszawskiej został opracowany system programowania dla elektronicznej maszyny cyfrowej UMC-10 nazwany Językiem Symbolicznym.

System JS został opracowany przez zespół pracowników Katedry i Zakładu Budowy Maszyn Matematycznych PW w składzie: Maria Łącka, Teresa Pajkowska-Wołyńska, Henryk Stelmasik, Zbigniew Zorski. Przy opracowaniu założeń systemu współpracowali Wanda Sawicka i Jacek Moszczyński.

System ten umożliwia programowanie w języku wewnętrznym maszyny, a jego cechą charakterystyczną jest wielopoziomowa współpraca pamięci operacyjnej z pamięciami zewnętrznymi. Pomimo, że pamięcią zewnętrzną obecnego modelu maszyny UMC-10 jest jedna pamięć bębnowa, to zasada organizacji Języka Symbolicznego umożliwia współpracę z wieloma urządzeniami pamięci zewnętrznej. Dodatkowo do systemu JS wprowadzono szereg instrukcji operacyjnych ułatwiających operatywne korzystanie z systemu.

Struktura kodowania w języku JS ułatwia pracę programisty, obciążając translator wykonaniem wielu mechanicznych i organizacyjnych czynności.

Podczas prowadzonych badań nad organizacją takiego systemu przeanalizowano programy wprowadzające dla maszyn pracujących w kraju. W wyniku analizy przyjęto język symboliczny o organizacji podobnej do organizacji języka SLIP opracowanego dla maszyny GIER, jako że wydawał się być najbardziej efektywnym. Zasadniczą zaletą tego systemu jest możliwość łatwego wykonania na jego bazie systemu automatycznego programowania, jak np. ALGOL, bądź też systemów specjalnych, np. do rejestracji czy sterowania.

W celu podkreślenia niektórych własności systemu JS należy zwrócić uwagę na:

- wprowadzenie etykiet oraz wskaźników bieżącego adresu pamięci ferrytowej jak i bębnowej, które w konsekwencji zwalniają programistę od obowiązku pieczołowitego numerowania kolejnych informacji programu oraz umożliwiają nanoszenie zmian,
- przyjętą strukturę blokową programów,
- organizację podprogramów operacyjnych i definiowanych, które zapewniają dogodną współpracę z pamięcią bębnową,
- podprogramy kontrolne ułatwiające uruchamianie programów.

Ze względu na to, że w kraju znajduje się w eksploatacji około 30 maszyn UMC-1, a maszyna UMC-10 zawiera w swojej organizacyjnej strukturze maszynę UMC-1, przyjęto sposób kodowania części operacyjnej rozkazów obowiązujący w powszechnie używanym dla tych maszyn systemie W-20. Przy realizacji translatora wykorzystane zostały niektóre algorytmy systemu W-20, jak również wykorzystano zasadę tworzenia części operacyjnej rozkazu opracowaną przez Tadeusza Kulikowskiego.

2. Alfabet języka JS

Alfabet języka JS składa się z następujących znaków:

- małych /albo dużych/ liter alfabetu łacińskiego
  a|b|c|d|e|f|g|h|i|j|k|l|m|n|o|p|q|r|s|t|u|v|w|x|y|z
- cyfr
  0|1|2|3|4|5|6|7|8|9
- znaków działań
  +|-|/
- przerywników
  .|,|;|'|=
- nawiasów
  (|)|[|]
- innych znaków
  *|:

W komentarzach oraz danych tekstów można używać wszystkich pozostałych znaków dalekopisowych.

3. Budowa programu w systemie JS

Program kodowany w języku JS składa się z jednego lub kilku bloków umieszczonych jeden za drugim lub jeden wewnątrz drugiego. Każdy blok programu zawiera informacje, które służą bezpośrednio do tworzenia programu wynikowego oraz informacje, które przekazują translatorowi JS wskazówki co do struktury programu i znaczenia użytych w jego tekście symboli.

< program > ::= < grupa >
< grupa > ::= < instrukcja > | < blok > | < grupa > < grupa >
< blok > ::= *b (< deklaracja bloku >) < grupa > *e;
< instrukcja > ::= < rozkaz > | < tekst > | < komentarz > | < instrukcja operacyjna >
< instrukcja operacyjna > ::= < znak sterujący > < odwołanie do podprogramu operacyjnego >

Blok jest częścią programu ograniczoną znakami "*b" i "*e", między którymi znajduje się:

- deklaracja bloku, i
- treść bloku /grupa/.

Deklaracja zawiera informacje dla translatora o sposobie wprowadzenia bloku do pamięci oraz o ilości użytych etykiet. Deklaracja składa się z definicji:

- bieżącego adresu pamięci ferrytowej,
- bieżącego adresu pamięci bębnowej, i
- etykiet.

Definicja bieżącego adresu pamięci ferrytowej polega na nadaniu początkowej wartości wskaźnikowi r. Podobnie, definicja bieżącego adresu pamięci bębnowej polega na nadaniu początkowej wartości wskaźnikowi g. Deklaracja etykiet o ustalonych literach początkowych polega na wymienieniu etykiet o indeksach nie mniejszych od indeksów używanych w bloku.

W tekście programu deklarację bloku pisze się bezpośrednio po znaku "*b" w nawiasach okrągłych, a po każdej z wyszczególnionych definicji składających się na deklarację bloku pisze się znak ",".

Przykład:

*b (r=100, g=6500, p8, v51, c7, i3,)

Treść bloku zawiera informacje wprowadzanego programu,tj.:

. rozkazy zapisane w kodzie JS lub w kodzie wewnętrznym /dziewięcioliterowym/,

. liczby całkowite i ułamkowe /w skali binarnej/,

. komentarze,

. teksty,

. znaki operacyjne, a także bloki wewnętrzne.

W systemie JS rozróżnia się bloki ferrytowe i bloki bębnowe. Blok ferrytowy jest to część programu wprowadzana bezpośrednio do pamięci operacyjnej i zajmująca kolejne komórki pamięci począwszy od zadeklarowanego adresu r. Treść bloku ferrytowego zajmuje obszar pamięci operacyjnej ograniczony zadeklarowanym adresem r i adresem bieżącym wyliczonym w czasie translacji. W bloku ferrytowym nie definiuje się wartości adresu bębnowego g. Każdy blok ferrytowy wewnętrzny stanowi fragment wnętrza bloku ferrytowego zewnętrznego.

< deklaracja bloku ferrytowego > ::= < puste > | r= < adres określony >,|
< deklaracja bloku ferrytowego > < etykieta >,

Blok bębnowy jest to część programu wprowadzana do pamięci bębnowej. Blok bębnowy składa się z deklaracji bloku i treści bloku, ograniczonych znakami "*b" i "*e".

< deklaracja bloku bębnowego > ::= r=< adres określony > , g= < adres określony >,| g= < adres określony > ,| < deklaracja bloku bębnowego >
< etykieta >

4. Rozkazy w języku JS

Rozkaz napisany w języku JS składa się z:

. kodu części operaoyjnej rozkazu,
. kodu części adresowej rozkazu, i
. znaku kończącego rozkaz (. , ;).

< rozkaz > ::= < część operacyjna > < adres dziesiętny > .|< część operacyjna > < adres dziesiętny > ,| < część operacyjna > (') < adres złożony > ;

Część operacyjna rozkazu maszyny UMC-10 określa układ mikrooperacji, który powoduje utworzenie odpowiednich dróg przesyłania - tworząc treść wykonywanego rozkazu. Część operacyjną rozkazu koduje się w języku JS przy pomocy jednej lub kilku liter. Znakiem sygnalizującym początek części operacyjnej jest znak dalekopisowy "litery". Dokładny opis kodowania znajduje się w pracy [1].

Część adresowa rozkazu wyznacza adres argumentu operacji dotyczącej pamięci, bądź określa parametr danej operacji. Część adresowa rozkazu w języku JS przedstawiona jest w postaci sumy algebraicznej, której składnikami są:

- adres dziesiętny,
- adres oktalny,
- r,
- g,
- etykieta,
- adres przesunięty.

Adres dziesiętny jest to liczba całkowita zapisana w systemie dziesiętnym ze znakiem lub bez znaku.

Adres oktalny jest to zapis liczby całkowitej przedstawionej w układzie minus dwójkowym notacji ujemnej, w którym trójkowym grupom przyporządkowane są cyfry /0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7/. Adres oktalny, dla odróżnienia od adresu dziesiętnego, poprzedza znak ":".

Przykłady:

:125 /wartość binarna 001 010 101/,
:367 /wartość binarna 011 110 111/.

Wskaźnik r jest to nazwa bieżącego adresu pamięci ferrytowej. Jego aktualną wartość stanowi bieżący adres komórki pamięci ferrytowej.

Wskaźnik g jest to nazwa bieżącego adresu pamięci bębnowej. Jego aktualną wartość stanowi bieżący adres komórki bębnowej.

Etykieta jest to nazwa wyróżnionego adresu albo określonego parametru.

< etykieta > ::= < litera początkowa > < indeks >

<litera początkowa> ::= p|i|v|c|l

<indeks> ::= <puste> | <liczba całkowita bez znaku>

Etykiety służą do wyróżnienia niektórych miejsc programu /rozkazy, liczby, parametry, miejsca robocze/ stanowiących punkty odniesienia przy układaniu programu lub też są nazwami tworzonych w czasie translacji programu parametrów. W tekście programów etykiety wypisuje się w nawiasach okrągłych bezpośrednio przed instrukcją /rozkazem, tekstem, komentarzem, instrukcją operacyjną/.

Przykłady:

```
(v10) st'-256;
(p) * y     macierz a [1:10, 1:100] ;
(c4)  [podprogram sin ((pi/2)x)]
(i7) * z liczby ';
(p2 = r+5)  wto+100.
```

W programie można określać etykiety w dwojaki sposób:

. metodą oznaczania instrukcji

(<etykieta>) <instrukcja>

przy której etykiecie zostaje nadana aktualna wartość bieżącego adresu pamięci ferrytowej, albo

. metodą definicji

(<etykieta> = <adres określony>)

przy której etykiecie zostaje nadana wartość wyrażenia nazwanego terminem adres określony.

<adres określony> ::= <składnik> | <adres określony><znak> <składnik>

<składnik> ::= <adres prosty> | <adres przesunięty>

<adres prosty> ::= <adres dziesiętny> | : <adres oktalny> | <etykieta określona> | g | r

Adres określony jest to liczba całkowita z przedziału liczb całkowitych w skali naturalnej maszyny.

W zbiorze etykiet wyróżniane są:

. etykiety określone,

. etykiety nieokreślone.

Etykieta określona jest etykietą, której została nadana wartość liczbowa wcześniej, niż nastąpiło do niej odwołanie w części adresowej rozkazu.

W czasie translacji wartość liczbowa takiej etykiety jest natychmiast wykorzystywana przy obliczaniu wartości adresu.

Etykieta nieokreślona jest etykietą, do której nastąpiło odwołanie w części adresowej rozkazu wcześniej, zanim została nadana jej wartość liczbowa w tekście programu. W czasie translacji wartość liczbowa takiej etykiety nie może być natychmiast wykorzystana przy obliczaniu wartości adresu. Dlatego też obliczana jest suma pozostałych wyrazów i dopiero po nadaniu etykiecie wartości obliczana jest wartość adresu.

Każda etykieta wykorzystywana w tekście programu może być etykietą określoną dla jednych rozkazów, a etykietą nieokreśloną dla innych.

Przykład:

```
      (p3)  r + 58.
            pov'p4+1;
      (p4)  sc'p3;
            pov.
```

Adres przesunięty jest to wartość jednego z wyżej omówionych wyrazów pomnożona przez potęgę liczby (-2) o wykładniku naturalnym. Wartość liczbowa tego wyrazu, przedstawiona w systemie o podstawie minus dwa notacji ujemnej, zostanie przesunięta w lewo o ilość pozycji równą wykładnikowi tej potęgi. W adresie przesuniętym wyraz przesuwany od przesunięcia oddziela znak "/". Wartość przesunięcia jest liczbą z przedziału $[0,33]$. Przesunięcie podaje się przy pomocy liczby całkowitej bez znaku lub etykiety określonej. Etykieta nieokreślona nie może występować jako wyraz przesuwany.

< adres przesunięty > ::= < adres prosty > / < przesunięcie >
< przesunięcie > ::= < liczba całkowita bez znaku > | < etykieta określona >

Adres złożony jest to część adresowa rozkazu przedstawiona w postaci sumy algebraicznej składników wymienionych w opisie części adresowej.

< adres złożony > ::= < adres określony > | < adres nieokreślony >
< adres nieokreślony > ::= < etykieta nieokreślona > | < adres określony >
< znak > < etykieta nieokreślona >

Każdy, zapisany w języku JS, rozkaz zajmuje jedną komórkę pamięci.

5. Liczby w języku JS

Liczby w języku JS zapisuje się w układzie dziesiętnym. Ze względu na sposób interpretacji wyróżniane są dwa typy liczb:

- liczby całkowite,
- liczby ułamkowe.

Liczby całkowite występują:

- bezpośrednio w programie jako parametry,
- w postaci bloków.

Liczby ułamkowe występują tylko w formie bloków.

Liczba całkowita w języku JS ma ten sam sens co w arytmetyce. Liczba całkowita zajmuje jedną komórkę pamięci, tj. 34 bity. Każda liczba całkowita x w języku JS jest z przedziału:

$$-5\ 726\ 623\ 061 \leqslant x \leqslant +11\ 453\ 246\ 122\ .$$

Liczby całkowite mogą być umieszczane w dowolnej części programu. Liczby całkowite koduje się pojedynczo lub grupami przez odwołanie się do systemu za pomocą litery "v". Każda liczba całkowita kończy się znakiem ".".

Przykłady:

```
v+120317.
 -1365.
 +27311.
```

Liczba ułamkowa w języku JS jest to ułamek dziesiętny, w którym znak "." oddziela część całkowitą od części dziesiętnej. Każda liczba ułamkowa zajmuje jedną komórkę pamięci, tj. 34 bity. Sposób przedstawienia liczby w komórce zależy od uprzedniego ustawienia tzw. skali binarnej, która wskazuje położenie kropki w liczbie. Numer skali określa ilość pozycji /bitów/ słowa maszynowego wydzielonego na część całkowitą liczby. Każda liczba ułamkowa x w języku JS jest z przedziału:

$$-\frac{1}{3}(-2)^k < x < +\frac{2}{3}(-2)^k,$$

gdzie k oznacza numer skali binarnej. Dla maszyny UMC przyjęto, że k = 0, 2, 4, ... 32, 34.

Liczby ułamkowe mogą być umieszczone w dowolnej części programu. Liczby ułamkowe wprowadzane są do maszyny w postaci bloków przy pomocy podprogramu operacyjnego o nazwie "liczby". Każda liczba ułamkowa kończy się znakiem ",".

Przykład:

```
*z liczby';
   +400,
   +628.31123,
   -0.929, ;
```

Komentarz

Pod pojęciem komentarza rozumie się dowolny ciąg znaków literowo-cyfrowych, zaczynających się od znaku "[", a kończący się znakiem "]". Wewnątrz komentarza mogą być zawarte dowolne znaki międzynarodowego kodu dalekopisowego Nr 2 z wyjątkiem znaku "]". W programie komentarze umieszczone są między wyrażeniami języka JS. Komentarze nie są wczytywane do pamięci maszyny, lecz mają jedynie charakter objaśnień poszczególnych fragmentów programów i czynią program bardziej przejrzystym.

Przykład:

```
v':2/32+:044/12+7;  [wzorzec druku liczb całkowitych]
```

Tekst

Tekst jest to ciąg znaków dalekopisowych wypisanych bezpośrednio po znakach " *y" a zakończony znakiem ";".

Znaki tekstu są wprowadzane do kolejnych komórek pamięci po 6 znaków dalekopisowych do jednej komórki. Ilość komórek k_t zajętych przez dany tekst wyznacza się ze wzoru:

$$k_t = \text{abs}\ (\text{entier}(-t/6)),$$

gdzie t ilość wszystkich znaków dalekopisowych składających się na tekst. Tekst jest elementem wydawnictwa i służy do opisywania wyników.

Przykład:

```
      *y
                macierz a [1:10,1:100] ;
```

Znaki operacyjne

W języku JS znaki operacyjne sterują działaniem translatora w trakcie wprowadzania programu do pamięci maszyny oraz w czasie wykonywania programu. Wspólną cechą wszystkich używanych znaków operacyjnych jest to, że rozpoczynają się od symbolu "*", po którym występuje jedna z następujących liter:

b|d|e|f|s|q|u|x|y|z

Szczegółowy opis został podany w pracy [1].

W zależności od spełnianej funkcji, znaki operacyjne dzielą się na:

. znaki organizacyjne,
. znaki sterujące,
. znaki wywołujące podprogramy.

Znaki organizacyjne (*b, *e, *f, *y) powodują właściwą interpretację przez translator wprowadzanych informacji.

Znaki sterujące (*e, *s, *u, *q, *d) powodują przejście do wykonywania programu bądź też powodują wykonanie dodatkowych czynności w czasie translacji.

Znaki wywołujące podprogramy (*z, *x) sygnalizują instrukcje sterujące /odwołania do podprogramów operacyjnych systemu/.

Podprogramy

W systemie JS rozróżnia się dwa typy podprogramów:

. podprogramy operacyjne, i
. podprogramy definiowane.

Podprogramy operacyjne są integralną częścią systemu - stanowią dopełnienie zbioru instrukcji operacyjnych. Mają one na celu:

. rozszerzyć zakres pojęć języka,
. uprościć organizację programów,
. ułatwić uruchamianie programów, oraz
. umożliwić kontrolę pracy translatora w pamięci maszyny.

Podprogramy operacyjne wywołuje się za pomocą odpowiedniej instrukcji, w której wyszczególnia się nazwę wywoływanego podprogramu oraz jego argumenty. Nazwa podprogramu operacyjnego jest ustalonym ciągiem liter, z których tylko pierwsze cztery posiadają właściwości identyfikujące. Ze względu na różne przeznaczenie podprogramów operacyjnych zostały one podzielone na dwie grupy:

. podprogramy o działaniu natychmiastowym,

. podprogramy działające w czasie przygotowania programu do translacji lub w czasie wykonywania programu przez maszynę.

W celu przejścia do natychmiastowego wykonywania jednego z podprogramów /suma, liczby, podprogram, zeruj, likwiduj/ należy wypisać instrukcję:

<*z> < nazwa podprogramu > <'> < adres określony > <;>

Po wykonaniu czynności określonych przez wywołany podprogram maszyna wraca do translacji dalszych wyrażeń języka JS.

W celu przejścia do wykonywania jednego z podprogramów drugiej grupy /sprowadź, czytaj z bębna, pisz na bęben, skala, stop, binarne, całkowite, ułamkowe, post mortem i adres/ należy wypisać instrukcję:

<*x> < nazwa podprogramu > <'> < adres złożony > <;>

Jeżeli do wymienionej ostatnio instrukcji dopisze się znak sterujący "*u", wówczas nastąpi natychmiastowe wykonanie danego /wyszczególnionego w instrukcji/ podprogramu operacyjnego.

Przykład:

```
*x post mortem'1;
  v'5/14+100;
*u
+100    s +112
+101    pov +70
+102    q   +0
+103    po  +113
+104    r   +134
```

Szczegółowe przepisy dotyczące sposobu posługiwania się podprogramami operacyjnymi opisane są w pracy [1].

Podprogramy definiowane są to wydzielone fragmenty programu wprowadzane do zewnętrznej pamięci maszyny wraz z informacjami umożliwiającymi ich wykonanie w dowolnym obszarze pamięci operacyjnej. Wprowadzanym podprogramom definiowanym przypisuje się liczby naturalne z przedziału [0,49], które służą do ich identyfikowania. Pozwala to równocześnie wykorzystać 50 podprogramów. Oprócz tego zostały umieszczone w pamięci maszyny dwa standardowe podprogramy definiowane o numerach -2 i -1 /wprowadzanie tekstu i liczb/.

Współpracę z podprogramami definiowanymi, tzn. ich wprowadzanie jak i wykorzystanie, zapewniają takie podprogramy operacyjne jak: podprogram, sprowadź, zeruj, likwiduj.

Sygnalizacja błędów

W czasie translacji programu w systemie JS, jak i w czasie wykonywania go, wykrywane są pewne błędy powstałe na skutek mylnie napisanego tekstu programu bądź omyłek przy perforacji taśmy. Przeprowadzana kontrola dotyczy przede wszystkim:

- składni programu,
- ograniczeń narzuconych przez translator, takich jak np.: ilość etykiet użytych w programie, ilość stałych użytych w adresach nieokreślonych,
- ograniczeń wynikających z parametrów maszyny, takich jak np.: pojemność pamięci, przedział liczb.

Zlokalizowane błędy sygnalizowane są przez informacje wyprowadzane na dalekopis albo perforator. Informacje te określają rodzaj błędu oraz dodatkowe parametry pozwalające umiejscowić ten błąd na tabulogramie. Szczegółowe dane dotyczące poruszonych tematów w tej publikacji znajdzie czytelnik w cytowanej kilkakrotnie pracy [1].

Uwaga

Pierwszym programem, który został całkowicie napisany w języku JS, był "program rekrutacji" kandydatów na 1 rok studiów Wydziału Elektroniki Politechniki Warszawskiej. Program ten został opisany w czasopiśmie "Maszyny Matematyczne 2/1967".

Na podstawie rocznych doświadczeń i pierwszego tak skomplikowanego programu, jakim była rekrutacja kandydatów na studia wyższe, należy stwierdzić, że system JS spełnia wszystkie wymagane warunki, jakie zakłada się tego rodzaju systemom.

Przykład programu w Języku JS

```
*b(r=100,p2,c3,)                    [blok ferrytowy]
   rt'c;
   rm'c1;
   zs+0.
   rt'p2;
   ck1+0.
```

```
*b(r=0,g=2000,p,)                    [blok bębnowy]
   rwox'p+1;
   y'p;
   xio'r+1;
   v+0.
   yb'p;
   rr'r-2;
   yb'p;
   ri'p+1;
(p)v'-17 480/5;
   v+0.
*e;                                  [koniec bloku bębnowego]

wox'p;
ryb-1323.
ry-1323.
(p2)v'496;
(p) v';
(c) v'2000;
(c1)v'10;

*e;                                  [koniec bloku ferrytowego]
```

Literatura

[1] ŁĄCKA M., PAJKOWSKA-WOŁYŃSKA T., STELMASIK H., ZORSKI Z.: Język Symboliczny dla Uniwersalnej Maszyny Cyfrowej UMC-10. Warszawa 1966 /druk wewnętrzny/.

[2] GRAM CH.: HELP and SLIP on GIER. Valby, October 1963.

[3] SZEWCZYK J.: Uniwersalna maszyna cyfrowa UMC-10 /konstrukcja, organizacja, programowanie/. Zeszyty Naukowe PW, seria Elektryka nr 51, 1967.

Mgr inż. MIROSŁAW MIKA
Zakład Elektroniki Cyfrowej

621.38.049.7-181.4:681.322

ZASTOSOWANIE PÓŁPRZEWODNIKOWYCH UKŁADÓW SCALONYCH DO KONSTRUKCJI EMC

C z ę ś ć II [x]

5. Mikroelektroniczne systemy cyfrowe

Poniżej przedstawiono kilka metod podejścia do opracowania konstrukcji systemów, w których zwrócono szczególną uwagę na sposób wykonania modułów podstawowych. Omawiam tutaj kolejno kwestie związane z dwustronnymi płytkami drukowanymi, z uproszczonymi formami wielowarstwowych płytek drukowanych oraz z wielowarstwowymi płytkami drukowanymi /WPD/.

5.1. S y s t e m f i r m y F a i r c h i l d S e m i c o n d u c t o r D i v

Przedstawiona tutaj konstrukcja jest modelem rozwojowym systemu cyfrowego, który odpowiada części centralnej cywilnej maszyny cyfrowej /cykl zegarowy 5 MHz/. Jest ona zbudowana z 5000 elementów logicznych w 1500 obudowach [20].

Blok cyfrowy składa się z 9 dwustronnych płytek drukowanych, osadzonych na jednej, jednostronnej płytce drukowanej. Każda z płytek odpowiada określonej funkcji logicznej /tab. 4/. Wszystkie płytki posiadają wymiary 14 x 12" /380 x 300 mm/. Na każdej z nich znajduje się około 242 układów scalonych w obudowie typu pająk /DIL/ rozmieszczonych w 11 rzędach po 22 układy. Wyprowadzenia układów scalonych umieszczono w metalizowanych otworach płytki, a połączenia wykonano przy pomocy urządzenia do lutowania na fali ciekłego lutu. Wejścia i wyjścia doprowadzono do

---

[x] Część I artykułu ukazała się w ETO Nowości Nr 2/1968. Tam znajduje się również spis literatury odnoszący się do całego artykułu.

162 kontaktów złącza. Przeciętnie wykorzystano około połowę kontaktów /tab. 4/.

Tabela 4. Układy scalone a wykorzystanie kontaktów złącza

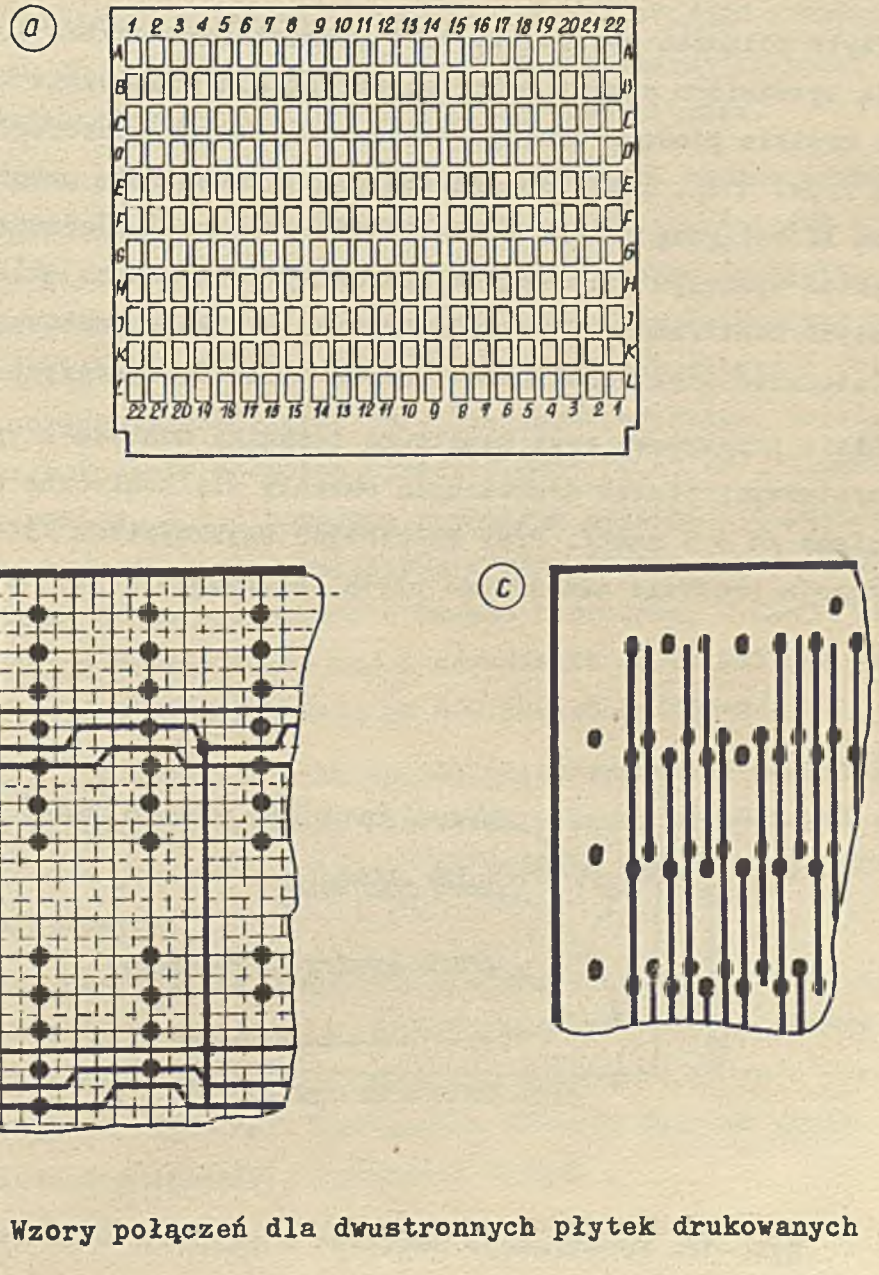
Moduły		Liczba układów scalonych	Liczba elementów logicznych /odpowiednik/	Liczba wykorzystanych kontaktów [x]	Liczba kontaktów przypadających na jeden element logiczny
Wejście/wyjście	- 1	110	275	78	0,28
Sterowanie	- 2	160	400	78	0,20
Rejestry	- 3	215	926	67	0,07
	- 4	215	926	67	0,07
	- 5	215	926	67	0,07
Jednostki	- 6	175	437	68	0,15
przetwarzające	- 7	210	525	127	0,24
	- 8	170	425	107	0,25
	- 9	80	200	67	0,33
R a z e m	- 9	1550	5040	-	-

Przy projektowaniu ścieżek drukowanych główny nacisk położono na uzyskanie maksymalnej gęstości ścieżek. Najbardziej ekonomiczne z tego punktu widzenia okazało się prowadzenie ścieżek w matrycy X - Y, to znaczy w kierunku poziomym po jednej stronie i pionowym po drugiej stronie dwustronnej płytki drukowanej.

Projekt połączeń rozpoczęto od wstępnego rozmieszczenia układów na powierzchni odpowiadającej rzeczywistym wymiarom płytki /rys. 11a/. Plan rozmieszczenia i schemat połączeń logicznych jest podstawą do spo-

[x] złącze posiada 162 kontakty

rządzania tabeli bezpośrednich połączeń między układami. W następnej kolejności wykonano właściwy projekt. W tym celu wykorzystano arkusz papieru z nadrukowaną siatką pomocniczą /rys. 11b/. Ciemniejsze linie siatki rozmieszczono w odległości 0.2" /5,1 mm/, aby po dwukrotnym zmniejszeniu powierzchni arkusza korespondowały one z rozstawieniem wyprowadzeń układów scalonych. Jasne linie rozmieszczono w odległości 0.1" /2.54 mm/ celem wyrysowania ścieżek pomiędzy polami lutowniczymi metalizowanych otworów. Na wstępie zaznaczono położenie otworów i narysowano krążki o średnicy 0.08" /2 mm/, odpowiadające otoczce z folii miedzianej o średnicy 0.04" /1 mm/ wokół otworów o średnicy 0.022" + 0.025" /0,57 ÷ 0,63 mm/.



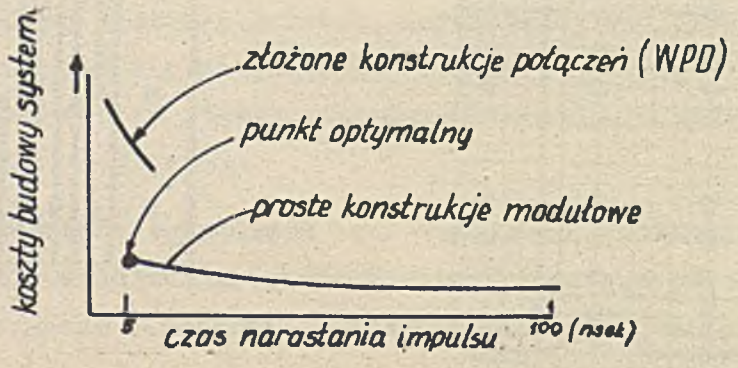
Rys. 11. Wzory połączeń dla dwustronnych płytek drukowanych

Następnie "zygzakowatymi", poziomymi liniami zaznaczono położenie ścieżek zasilających. W ostatnim etapie na arkuszu przezroczystej folii, którą umieszczono na wykonanym wzorze połączeń zasilających, wrysowano poziomo-pionowe ścieżki połączeń logicznych wzdłuż wolnych linii siatki pomocniczej

Linie poziome przewidziane do wytrawienia na dwustronnej płytce drukowanej po stronie układów scalonych zaznaczono jednym kolorem, a pionowe od strony lutowania innym kolorem. W trakcie rysowania zaznaczono również przejścia z jednej strony płytki na drugą, odpowiadające położeniom metalizowanych otworów, które mają realizować ciągłość elektryczną pomiędzy warstwami. Skończony wzór połączeń przenosi się na matryce, które służą do wykonania nadruku po obu stronach dwustronnej płytki drukowanej.

Płyta połączeń poziomu II jest jednostronną płytką drukowaną, która posiada wytrawione owalne pola lutownicze dla wlutowania kontaktów złącza oraz krótkie pionowe odcinki ścieżek łączących poszczególne kontakty ze sobą /rys. 11c/. Taka konstrukcja płyty ma na celu prostotę połączeń poziomu II osiąganą dzięki rozbudowaniu poziomu I. Jednocześnie jest to przykład wykorzystania tanich, masowo produkowanych układów scalonych w prostych konstrukcjach na dwustronnych płytkach drukowanych do budowy dostatecznie szybkich i nowoczesnych systemów cyfrowych.

Linie przesyłowe oraz kosztowne techniki montażu z wykorzystaniem wielowarstwowych płytek drukowanych okazały się konieczne przy dużych szybkościach /1 ÷ 5 nsek/. Przy mniejszych szybkościach /5 ÷ 10 nsek/, wystarczają prostsze dwustronne płytki drukowane /rys. 12/.



Rys. 12. Konstrukcje modułowe a szybkość układów scalonych

5.2. System firmy Sylvania Electric Products Inc.

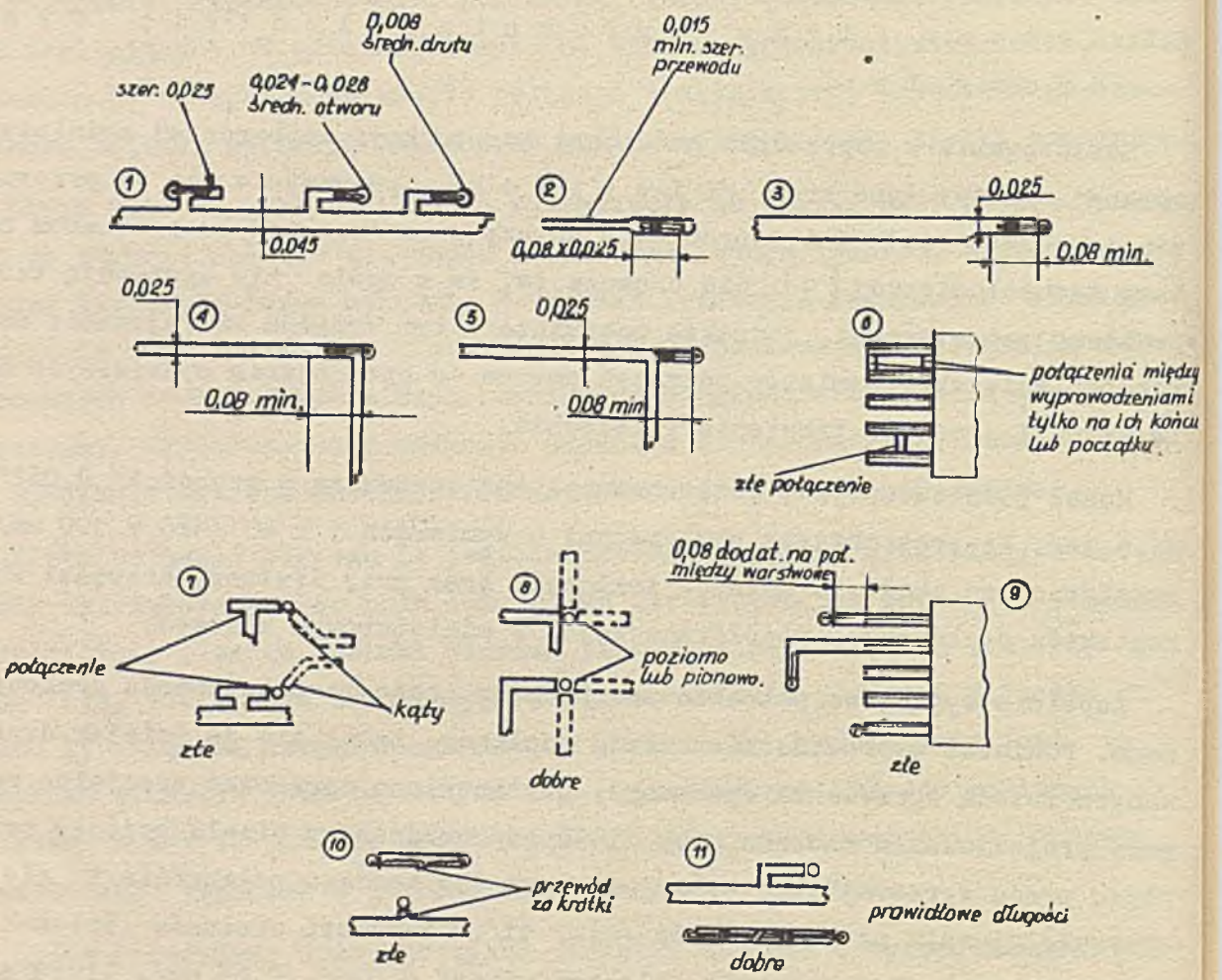
Zastosowanie w poprzednio omówionej konstrukcji najbardziej zminiaturyzowanej obudowy typu krab /f l a t p a c k/ przyczynia się do przesunięcia punktu ciężkości z problemów natury geometrycznej ku problemom natury technologicznej [9]. Nie oznacza to, że w ogóle nie występują tutaj problemy geometryczne, jednakże oczywiste w tym wypadku zmniejszenie szerokości ścieżek i wymiarów połączeń zmusza do opracowania specjalnych materiałów i procesów trawienia i łączenia.

Moduł podstawowy jest dwustronną płytką drukowaną o grubości 0.062" /1,6 mm/. Na prostokątnej powierzchni o wymiarach 5 x 4" /120 x 100 mm/ rozmieszczono około 36 układów scalonych oraz przy dłuższej krawędzi 28 kontaktów drukowanych współpracujących z miniaturowym złączem.

Zupełnie wyjątkowo potraktowano problem projektowania obwodu drukowanego. Ponieważ wyprowadzenia układu scalonego łączy się do ścieżek drukowanych metodą zgrzewania oporowego, postanowiono opracować specjalne reguły projektowania nadruku, aby ilość odprowadzanego ciepła podczas przepływu prądu zgrzewającego była jednakowa dla każdego połączenia i nie wpływała ujemnie na jego jakość /rys. 13/. Szerokość odcinków ścieżek przeznaczonych dla wykonania połączeń wynosi 0.025" /0.63 mm/. Ilustracje oznaczone numerami 1, 2 i 3 pokazują geometrię ścieżek dla połączeń międzywarstwowych, które zostały zrealizowane przy pomocy przeprowadzenia złoconego odcinka drutu wykonanego z Dumetu o średnicy 0.008" /0,2 mm/ przez otwór o średnicy 0.025" /0,63 mm/ i zgrzewanie go do ścieżki po obu stronach płyty /niektóre zestawy mają po 400 takich połączeń/.

Pod numerem 4, 5 i 6 pokazano taki sposób przeprowadzania odgałęzień, który nie zmienia szerokości ścieżek. Pozostałe rysunki przedstawiają właściwą i niewłaściwą geometrię ścieżek, do których zgrzewa się druty połączeń międzywarstwowych.

Ponadto przyjęto następujące standardy szerokości ścieżek: dla uziemienia wzdłuż obwodu płyty niemniej niż 0.045" /1,1 mm/, dla przewodów rozprowadzających napięcie dodatnie nie mniej niż 0.025" /0.63 mm/, oraz dla ścieżek sygnałów 0.025" /0,63 mm/. Maksymalna długość ścieżek wynosi 8" /200 mm/ i odpowiada dopuszczalnej oporności 0.19 Ω .

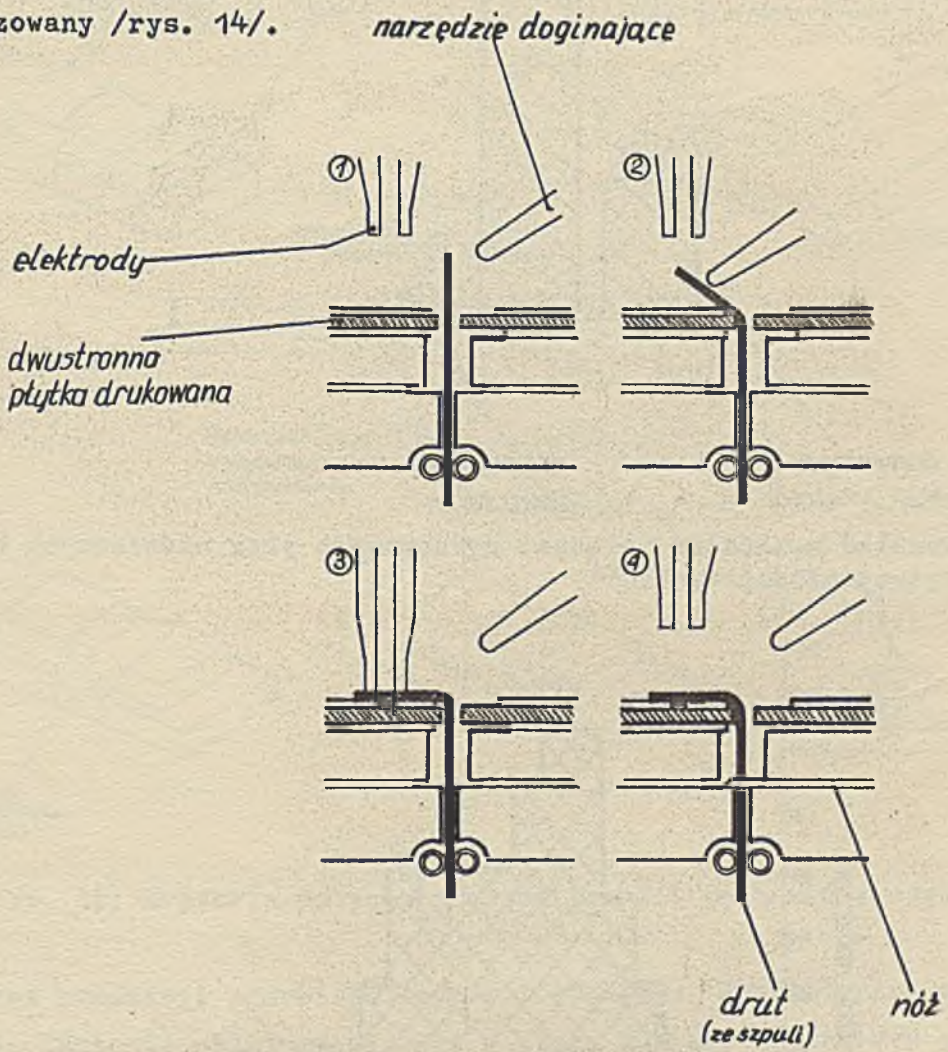


Rys. 13. Wzory ścieżek drukowanych dla połączeń zgrzewanych /wymiary w calach/

Złożone kształty i wymiary ścieżek wynikają z zastosowania folii oporowej niezbędnej dla wykonania połączeń zgrzewanych. Szczególnie istotny jest wybór materiału na ścieżki. Zgrzewanie do niskooporowej miedzi okazało się niemożliwe ze względu na zbyt duży prąd i związaną z tym ilość wydzielanego ciepła oraz zmienną grubość folii miedzianej /nie ma praktycznych metod utrzymania stałej grubości folii miedzianej/. Kovar jako stop żelaza łatwo koroduje, a jego oporność jest tak duża, że uniemożliwia wykorzystanie go do połączeń. Próbowano zastosować pokrycia kombinowane takie jak miedź - nikiel - złoto lub aluminium - żelazo - nikiel, ale one również nie zdały egzaminu. Ostatecznie zastosowano laminat szklano-epoksydowy o grubości 0.062" /1,6 mm/ z dwustronnym pokryciem niklowym o grubości 0.003" /0.077 mm/. Jednak okazało się, że trawienie wąskich ścieżek jest możliwe tylko w przypadku bardzo czystego niklu

/99,9%/, przy czym skuteczność trawienia zależy od szerokości i kształtu ścieżki.

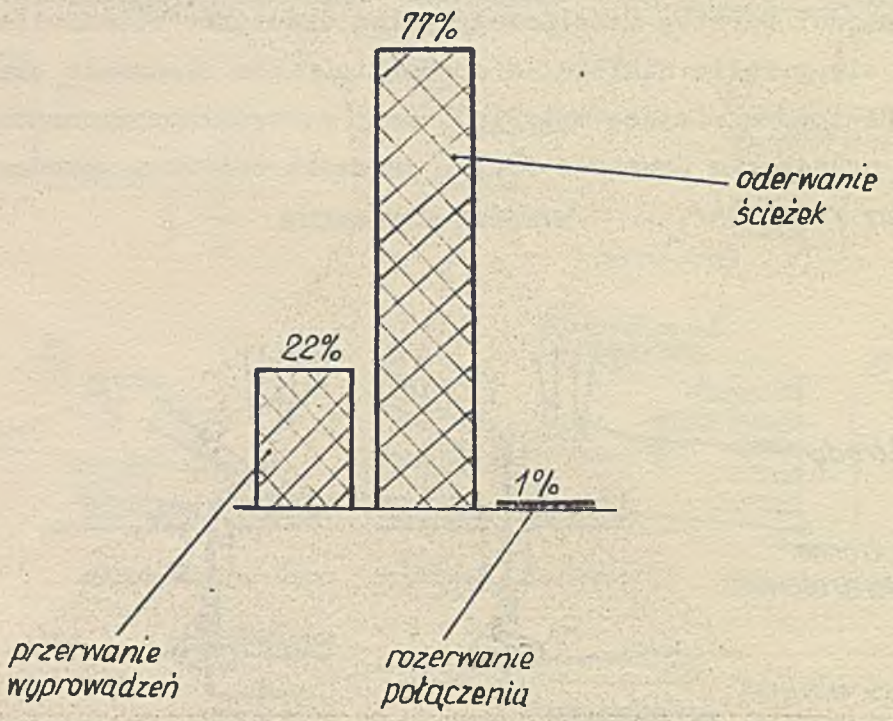
Początkowo połączenia między warstwami obwodu drukowanego realizowano za pomocą metalizacji otworów. Zazwyczaj w tym procesie następuje redukcja miedzi na powierzchni otworu uczulonej palladem, a następnie zwiększenie grubości warstwy metalicznej przez osadzenie elektroliczne. Miedź nie łączy się z folią niklową, a osadzanie niklu skończyło się niepowodzeniem. Dlatego w miejsce metalizowanych otworów wprowadzono bardziej kosztowne połączenia drutowe. Proces łączenia został z powodzeniem zmechanizowany /rys. 14/.



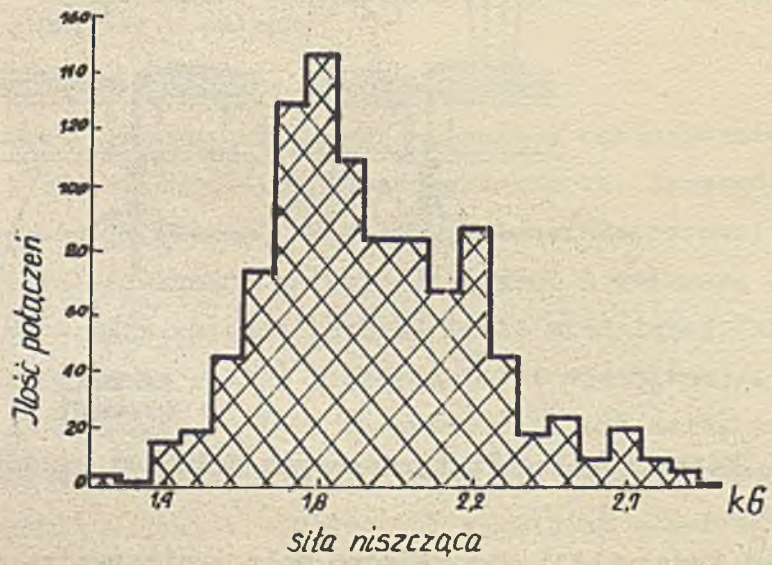
Rys. 14. Etapy realizacji zgrzewanych połączeń międzywarstwowych

W omówionej konstrukcji wprowadzono małe i niezawodne połączenia zgrzewane. Z podanych uprzednio względów wprowadzono również złocenie części łączonych /patrz pkt. 3/.

Połączenie takie wykazuje wytrzymałość na zerwanie średnio 1,8 kG w kierunku równoległym i 0,7 kG w kierunku prostopadłym. Podczas badania wytrzymałości mechanicznej połączeń okazało się, że z 1000 próbek tylko 10 /1%/ uległo zniszczeniu /rys. 15/. Przy pomocy specjalnie skonstruowanego urządzenia do przeprowadzania testów wytrzymałościowych określono rozkład wytrzymałości mechanicznej dla tych samych próbek /rys. 16/.



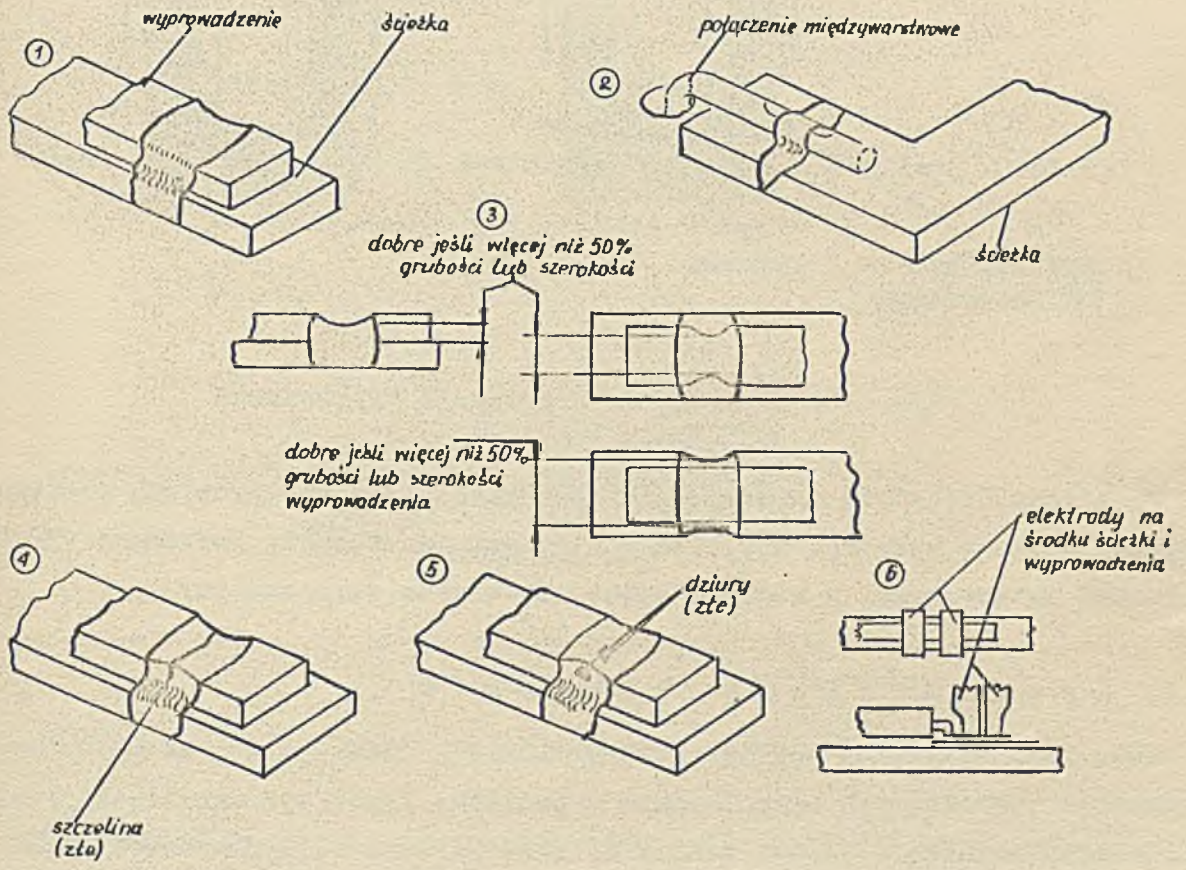
Rys. 15. Rozkład uszkodzeń połączeń zgrzewanych przy niszczących badaniach wytrzymałościowych



Rys. 16. Rozkład wytrzymałości mechanicznej połączeń zgrzewanych /wielkość próbki 1000 złącz/

Testy wytrzymałościowe wykazały, że małe niewłaściwości w doborze materiałów i parametrach zgrzewania dyskwalifikują połączenia, ograniczając stosowanie zgrzewanych konstrukcji w produkcji masowej.

W danym wypadku okazało się, że ocenę połączeń można opierać na 100% kontroli wizualnej. Kryteria oceny określono na podstawie testów wytrzymałościowych, kontroli metalograficznej i innych badań niszczących /rys. 17/. Pomiary elektryczne jakości połączeń zostały odrzucone, ponieważ nie pomagały w wykryciu zimnych lub przegrzanych połączeń zgrzewanych.

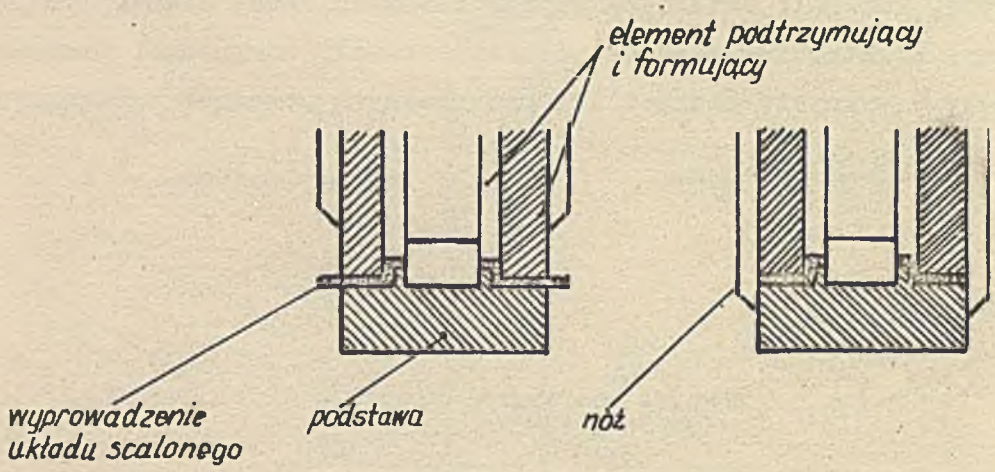


Rys. 17. Kryteria optycznej oceny jakości połączeń zgrzewanych

Proces produkcji przebiega szybko i sprawnie. Automatyczna zgrzewarka wykonuje łączenie układu scalonego w ciągu 30 sek. Zestaw dwu równolegle usytuowanych elektrod posiada stałą szerokość szczeliny. Ustalony jest również czas trwania impulsu prądu zgrzewającego. Poza tym zależnie od rodzaju połączenia ulega zmianie napięcie kondensatora w zasilaczu mocy, napięcie impulsu zgrzewającego i nacisk elektrod.

Aby nie uszkodzić hermetycznej obudowy układu scalonego wykonano odpowiednie urządzenie, przy pomocy którego kształtuje się wyprowadzenia

układów /rys. 18/. Po wykonaniu połączeń następuje zabezpieczenie dwustronnej płytki drukowanej przez pokrycie jej powłoką uretanową, która w wyniku przeprowadzonych badań, okazała się bardziej odporna od powłok epoksydowych i daje się łatwo usuwać umożliwiając wykonanie ewentualnych napraw.



Rys. 18. Przyrząd do krępowania wyprowadzeń

Po blisko dwuletnim okresie prób opanowano wszystkie problemy produkcyjne i obecnie wykonuje się trwałe i niezawodne zespoły /wykonano 750.000 połączeń zgrzewanych, z których żadne nie uległo uszkodzeniu/.

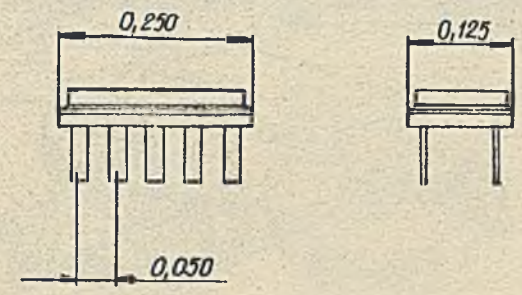
5.3. S y s t e m f i r m y F l y i n g C o.

Nowa obudowa układu scalonego typu Axpack z pionowym usytuowaniem wyprowadzeń wychodzących bezpośrednio z podstawy /rys. 19/ umożliwiła realizację niezawodnych i bardzo tanich modułów zarówno dwuwymiarowych, podobnych do wyżej omówionych, jak i trójwymiarowych z powodzeniem konkurujących z modułami wielowarstwowymi [14].

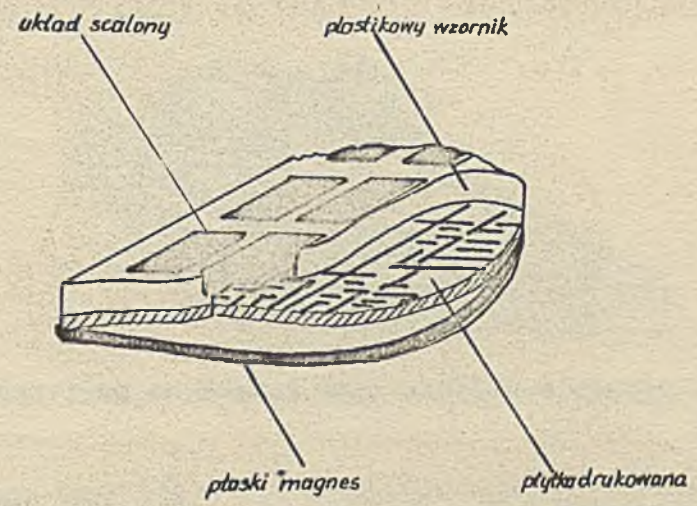
Najistotniejszą cechą tego rozwiązania jest to, że w przeciwieństwie do typowych układów w płaskiej obudowie z wyprowadzeniami osiowymi, układy tego typu montuje się na płytkach obwodów drukowanych, wykonując wszystkie połączenia lutownicze w ramach jednej operacji.

Do powierzchni pocynowanych ścieżek obwodu drukowanego przykłada się na styk krótkie wyprowadzenie układów scalonych o długości 0.025" /0,63 mm/ i rozmieszcza się je odpowiednio w plastikowym wzorniku /rys. 20/. Z drugiej strony płytki drukowanej umieszcza się płaski magnes, dzięki któremu

kovarowe wyprowadzenia układu scalonego zostają dociskane do ścieżek drukowanych. Następnie zanurza się cały zestaw w oleju orzechowym podgrzanym do temperatury 210°C na czas 1 min, dzięki czemu następuje jednoczesne przylutowanie wszystkich wyprowadzeń układów.



Rys. 19. Obudowa układu scalonego typu Axpack /wymiary w calach/



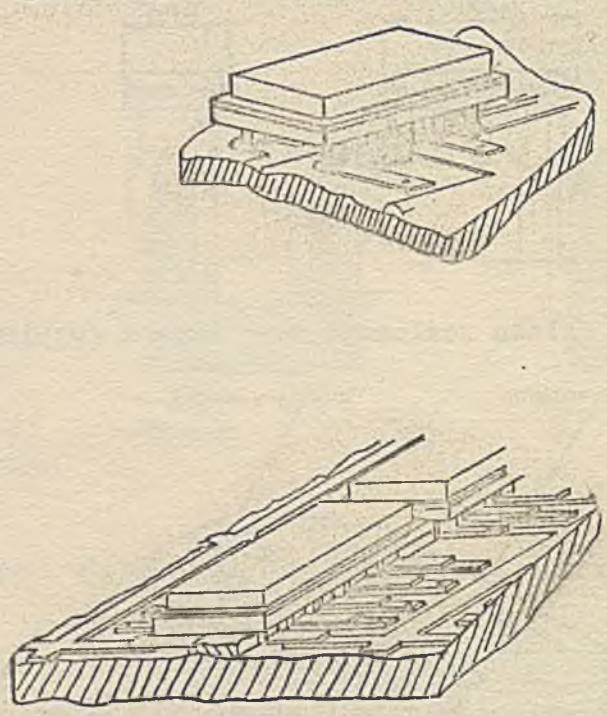
Rys. 20. Zestaw do lutowania zanurzeniowego układów scalonych typu Axpack

Odpowiedniej grubości warstwa lutu zabezpiecza powierzchnię ścieżek obwodu drukowanego przed utworzeniem się mostków lutowniczych.

Właściwie wykonane połączenia lutownicze są bardzo trwałe. Układ z 10 wyprowadzeniami wytrzymuje pionowy ciężar rzędu 3 kG, podczas gdy typowy układ typu krab wytrzymuje obciążenie rzędu 1 kG. Układy można łatwo usuwać przez lokalne podgrzanie płytki.

Proces produkcji jest bezpieczny i ekonomiczny. Oprzyrządowanie sprowadza się do trzech kadzi z gorącym olejem, ciekłym lutem /do cynowania płytek drukowanych/ i trójchloroetylenem lub inną substancją usuwającą olej z powierzchni płytki drukowanej.

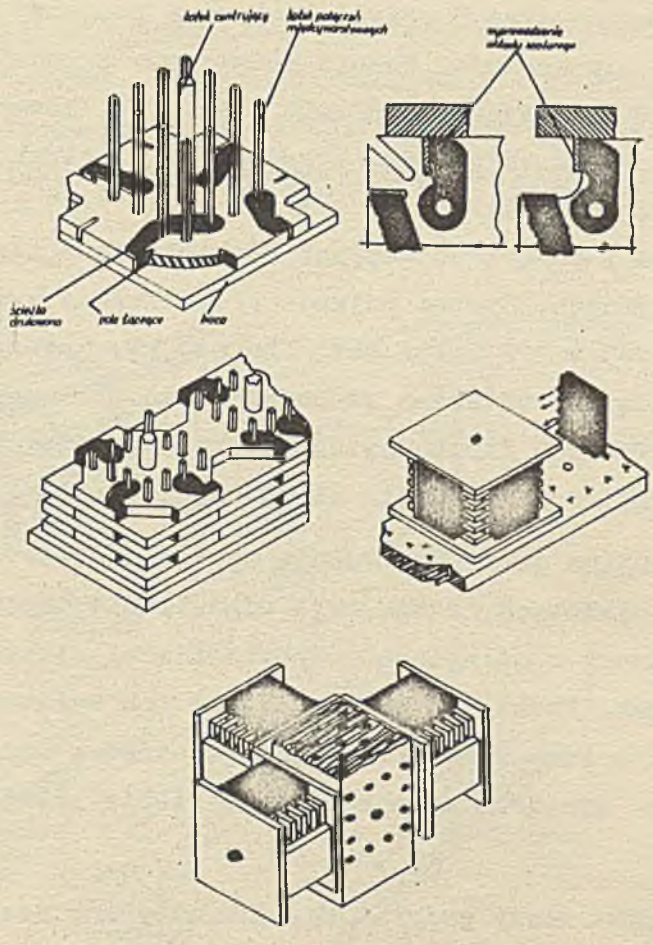
Opisana konstrukcja modułu podstawowego nie jest jedynym możliwym rozwiązaniem. Można również zaginać wyprowadzenia równolegle do podstawy obudowy i stosować wszystkie metody łączenia typowego dla układów typu krab /rys. 21/. Można także umieścić wyprowadzenie w otworach /nie metalizowanych/ płytki drukowanej, zagiąć je wzdłuż ścieżki po drugiej stronie płytki i lutować lub zgrzewać jak normalne elementy dyskretne.



Rys. 21. Sposoby ułożenia układów typu Axpack na powierzchni płytki drukowanej

Ponadto zaproponowano niezwykle skuteczne i proste formy montażu objętościowego /rys. 22/. Blok elementarny składa się z tylu płytek drukowanych ile jest par wyprowadzeń w obudowie układu scalonego.

Płytki umieszcza się jedna nad drugą, nasadzając je na prostokątne kołki połączeń międzywarstwowych. Metalizowanie szczelin, w których umieszcza się wyprowadzenia układów scalonych jest związane z maskowaniem powierzchni nie przeznaczonej do metalizacji. Można także wycinać z folii wzory połączeń i przedzielać je warstwami izolującymi. Wyprowadzenia układów łączy się w blokach przez lutowanie lub zgrzewanie. Bloki z kolei można łączyć ze sobą przy pomocy płytek drukowanych lub poprzez połączenia owijane. W blokach tego rodzaju uzyskuje się gęstość upakowania układów rzędu kilku sztuk na cm^3.



Rys. 22. Montaż objętościowy układów typu Axpack

Konstrukcja tego typu zdaje się posiadać duże możliwości rozwoju. Dlatego też firmy amerykańskie Hughes Aircraft i The Weldmatic Div. of the United Corp. przystąpiły do konstrukcji odpowiednich urządzeń produkcyjnych.

5.4. System firmy Raytheon Co.

Mikroelektroniczne systemy cyfrowe Raytheon Co. są odpowiednikiem systemów zbudowanych na elementach dyskretnych w ramach programu Apollo i Polaris [25]. Jak we wszystkich urządzeniach tego typu główne zadanie polegało na wykonaniu systemu o bardzo małych rozmiarach, lekkiego i działającego niezawodnie w trudnych warunkach eksploatacji. Z innych powodów system musi mieć ponadto elastyczną konstrukcję, która umożliwiłaby dokonywanie szybkich zmian w jego ogólnej organizacji.

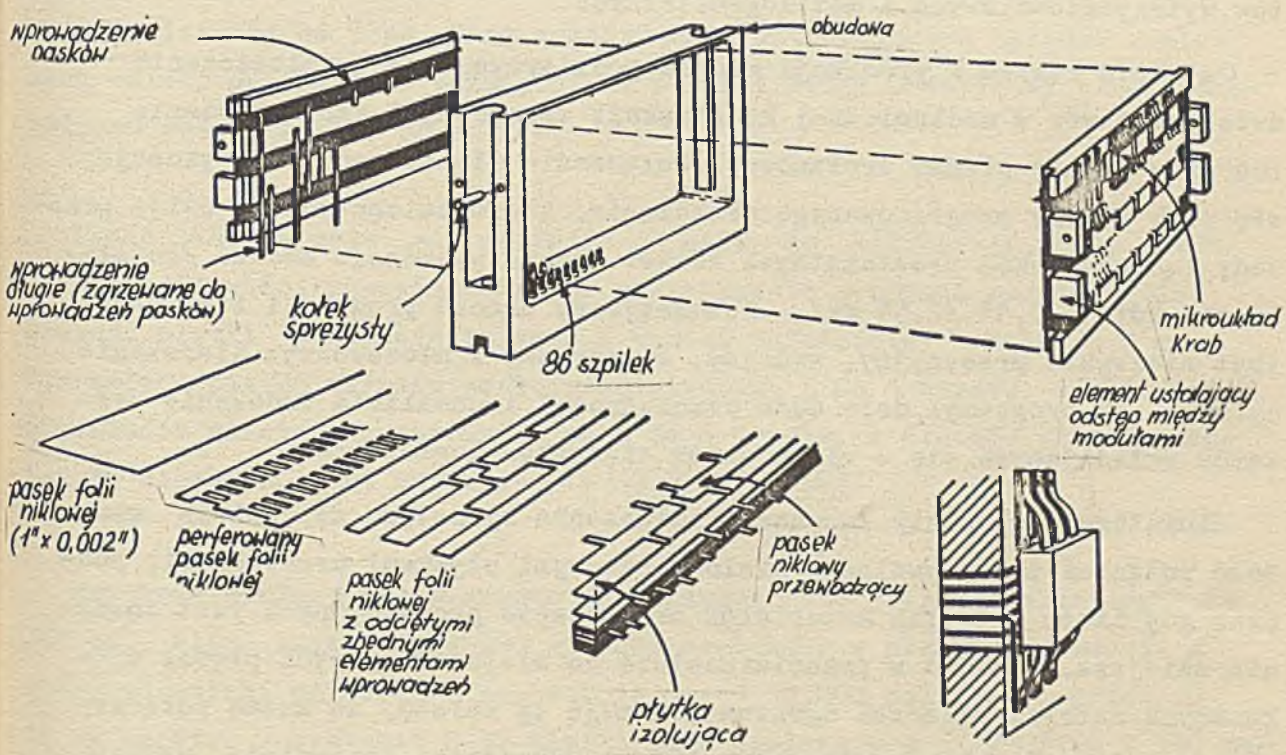
Rozpatrywane urządzenie składa się z 14 modułów zawierających 850 elementów logicznych scalonych oraz 3 modułów o bardzo podobnej konstrukcji z elementami o technice dyskretnej. Moduły podstawowe składają się z dwóch jednostek po 21 układów scalonych w obudowie typu krab /konstrukcję modułów można łatwo przystosować do układów hybrydowych i elementów dyskretnych/. Moduły podstawowe o wymiarach 2" x 1 1/2" x 1/2" /51 x 38 x 12 mm/ umieszczono obok siebie i połączono poprzez 86-kontaktowe złącza nadające się do połączeń owijanych. System zajmuje przestrzeń o wymiarach 2" x 6 1/2" x 7" /51 x 165 x 178 mm/ i waży około 3 kG. Należy podkreślić, że połączenia owijane są już od dawna stosowaną metodą łączenia na poziomie II /w systemach cyfrowych firmy Raytheon wykonano ponad 2 1/2 miliona połączeń owijanych, z których żadne nie uległo uszkodzeniu/.

Szczególnie interesująca jest konstrukcja modułu podstawowego /rys.23/. Jest to zestaw pasków niklowych, które mają odpowiednio usytuowany zespół języczków, rozmieszczonych w odległości odpowiadającej rozstawieniu wyprowadzeń obudowy typu krab. Paski, po przedzieleniu ich warstwą laminatu szklano-epoksydowego lub inną taśmą izolującą, złożono w laminatowy stos połączeń odpowiadający wymiarom maksymalnie do siebie zbliżonych obudów układów scalonych.

Do sporządzania pasków służy programowy, pneumatyczny zespół wykrojników, które w odstępie 0.050" /1,27 mm/, korespondującym z położeniem wyprowadzeń w układach scalonych, wycinają kolejno prostokątne szczeliny, usuwają niepotrzebne języczki i wykonują otwory centrujące dla laminatowania stosu oraz wybijają numery kolejnych odcinków zgodnie z ustalonym programem połączeń. Urządzenie to nie przekracza łącznej tolerancji 0.002" /0.051 mm/ na długości paska 10" /254 mm/ i jest zdolne do wykonania zespołu pasków dla 50 modułów podstawowych w ciągu 8 godz.

Jako materiał konstrukcyjny pasków służy taśma z ciągliwego niklu o szerokości 1" /25,4 mm/ i grubości 0.002" /0.051 mm/. Nadmiar materiału na końcach i po bokach ukształtowanego paska, początkowo pomocny przy manipulowaniu, jest usuwany po laminowaniu stosu. Paski po wycięciu układa się jeden na drugim przedzielając je kolejno izolująco-przyczepną taśmą lub tkaniną ze szklanej, impregnowanej, niezupełnie spolimeryzowanej żywicy epoksydowej. Po laminowaniu i wykończeniu następuje zestawienie kilkuwarstwowych układów pomiędzy dystansownikami i zagięciami wystających języczków zgodnie z przewidywanym planem połączeń i rozmieszczeniem

wyprowadzeń. Wykonany zestaw jest sprawdzony przez tester cyfrowy. Następnie nakłada się izolującą taśmę dwustronnie przyczepną na wysokości stosów wielowarstwowych, tzn. w miejscu, na którym będą umieszczone układy scalone /przyczepione do tej taśmy/. Po umieszczeniu układów scalonych następuje zgrzewanie wyprowadzeń do zagiętych języczków.



Rys. 23. Konstrukcja modułu podstawowego firmy Raytheon Co.

Służące do tego celu automatyczne urządzenie do zgrzewania oporowego jest wyposażone w dwa zasilacze i pięć głowic zgrzewających. Programowany system sterujący wybiera głowicę odpowiednią dla danego typu połączenia /zależnie od rodzaju części łączonych/ oraz jednocześnie przesuwa stos z układami scalonymi do takiego położenia, w którym przeznaczone do zgrzewania połączenie znajdzie się na wysokości elektrod wybranej głowicy i wówczas uruchamia tę głowicę i wyzwala impuls zgrzewający o dobranych parametrach. Połączenie jest sprawdzane automatycznie i w razie potrzeby przesuwane do poprawki. Przy pomocy tego samego urządzenia wykonuje się połączenia międzywarstwowe po drugiej stronie stosu.

Zgrzewanie oporowe uznano na ogół za najbardziej niezawodne i wytrzymałe. Dla zabezpieczenia wysokiej jakości połączeń przeprowadza się systematyczną kontrolę materiałów na drodze szczegółowej analizy chemicznej i spektralnej. Jakość połączeń ocenia się na podstawie kontroli wizualnej i oporowych testów elektrycznych. Dokonanie jakichś zmian w materiałach lub w regulacji urządzenia wymaga przeprowadzenia szczegółowych testów wytrzymałościowych i metalograficznych.

Ostatnim etapem w produkcji modułu podstawowego jest umieszczenie dwóch zestawów w mechanicznej konstrukcji wsporczej i zabezpieczenie ich przy pomocy pianki uretanowej. Połączenia między modułami wykonuje się przy pomocy programowanego urządzenia, które automatycznie owija przewody łączące wokół prostokątnych kołków złącza wybranego modułu /rozstawienie kołków 0.1" /2,54 mm/. Automatyczny proces produkcji i kontroli jest niezwykle precyzyjny, wydajny, elastyczny i niezawodny. Sterowanie cyfrowe /4 programy/ daje duże oszczędności i umożliwia budowanie systemów składających się z wielu setek elementów logicznych.

Miniaturowe elementy łączące i połączenia zgrzewane zapewniają gęstość połączeń porównywalną z wielowarstwowymi płytkami drukowanymi, podczas gdy ilość użytych materiałów oraz etapów produkcyjnych jest znacznie mniejsza. Ponadto w przeciwieństwie do wielowarstwowych płytek drukowanych matryce połączeń zgrzewanych mają tę zaletę, że każde połączenie jest łatwodostępne /dla kontroli/, a wykrojniki zapewniają wyższą dokładność niż trawienie.

Wielowarstwowe płytki drukowane /WPD/ wymagają długotrwałego procesu projektowania i produkcji oraz wyposażenia w zespół bardzo precyzyjnych przyrządów do wykonywania matryc i nadruków, do trawienia, wiercenia, metalizowania i lamitowania przy wielokrotnym powtarzaniu tych samych etapów. Zmiana projektu nie jest łatwa.

6. Wielowarstwowe płytki drukowane

Wielowarstwowe płytki drukowane /WPD/, a szczególnie płytki z największą gęstością połączeń, są najbardziej dojrzałą formą łączenia układów scalonych w systemach cyfrowych i innych o bardzo dużej szybkości działania. Dla materiałów szklano-epoksydowych o stałej dielektrycznej $\varepsilon = 4,5$, opóźnienie 1 ns występuje na odcinku przewodu o długości 150 mm.

Ze względu na układy scalone należy ograniczyć opóźnienia wprowadzane przez przewody łączące do 20% opóźnienia układów, czyli dla opóźnienia 1 ns długość połączeń powinna wynosić 30 mm. W wielowarstwowych płytkach drukowanych ścieżki sygnałów posiadają przeciętnie długość od 20 do 50 mm i nie przekraczają 150 mm w ogóle.

Możliwe jest więc realizowanie systemów z układami scalonymi o szybkości mniejszej od 5 ns. Przy zastosowaniu ultraszybkich układów scalonych należy projektować połączenia w postaci linii przesyłowych ze szczegółowym rozpatrzeniem przeników.

Ilość warstw może się zmieniać od kilku do kilkunastu, przy czym dzięki możliwości zmniejszania lub powiększania grubości warstw ogólna grubość płytki pozostaje ta sama i wynosi najczęściej około 1,5 mm. Dla połączenia 25 układów scalonych wystarczy 3 do 4 warstw, dla 50 do 60 układów należy zabezpieczyć już 5 do 6 warstw, a dla 450 układów scalonych niezbędne jest zastosowanie 12 warstw [16].

Wojskowe systemy firmy Automatics składają się z płytek mniejszych od 300 cm^2, które łączą ponad 500 układów scalonych w płaskiej obudowie z wyprowadzeniami osiowymi i zapewniają ponad 10.000 połączeń poprzez 10 do 12 warstw. W systemie D-37 płytki mają wymiary 4 x $5^1/2$" /100 x 140 mm/ oraz 160 wyjść do złącza i skupiają 150 układów scalonych. W systemie D-26C płytki mają wymiary $3^1/2$ x $11^1/2$" /89 x 291 mm/ oraz 360 wyjść i 500 układów scalonych [7].

Poszczególne warstwy jako jedno lub dwustronne arkusze laminatu szklano-epoksydowego foliowanego miedzią posiadają grubość od 0,1 do 0,3 mm. Przeciętna grubość folii wynosi 0,035 mm. Stosuje się tu ścieżki o szerokości 0,25 mm, przy czym odległości między nimi mają wielkość rzędu 0,15 mm. Najmniejsza średnica otworów wynosi 0,5 mm.

Z elektrycznego punktu widzenia ścieżka o szerokości 0,25 mm posiada oporność 2,4 mΩ/cm. Pojemność między ścieżkami przy odległości 0,25 mm na tej samej warstwie wynosi 0,12 pF/cm, a dla równoległych linii sąsiednich warstw 1,2 pF/cm.

Stosowane są różne sposoby prowadzenia ścieżek. W konstrukcji standardowej ścieżek prowadzi się je prosto i równolegle na każdej warstwie

i pod kątem 90° na warstwach sąsiednich. Dla kąta 45° między warstwami występują najmniejsze pojemności i związane z tym przeniki. Dla kąta 60° i falistych linii ścieżek uzyskujemy największą gęstość rozmieszczenia ścieżek.

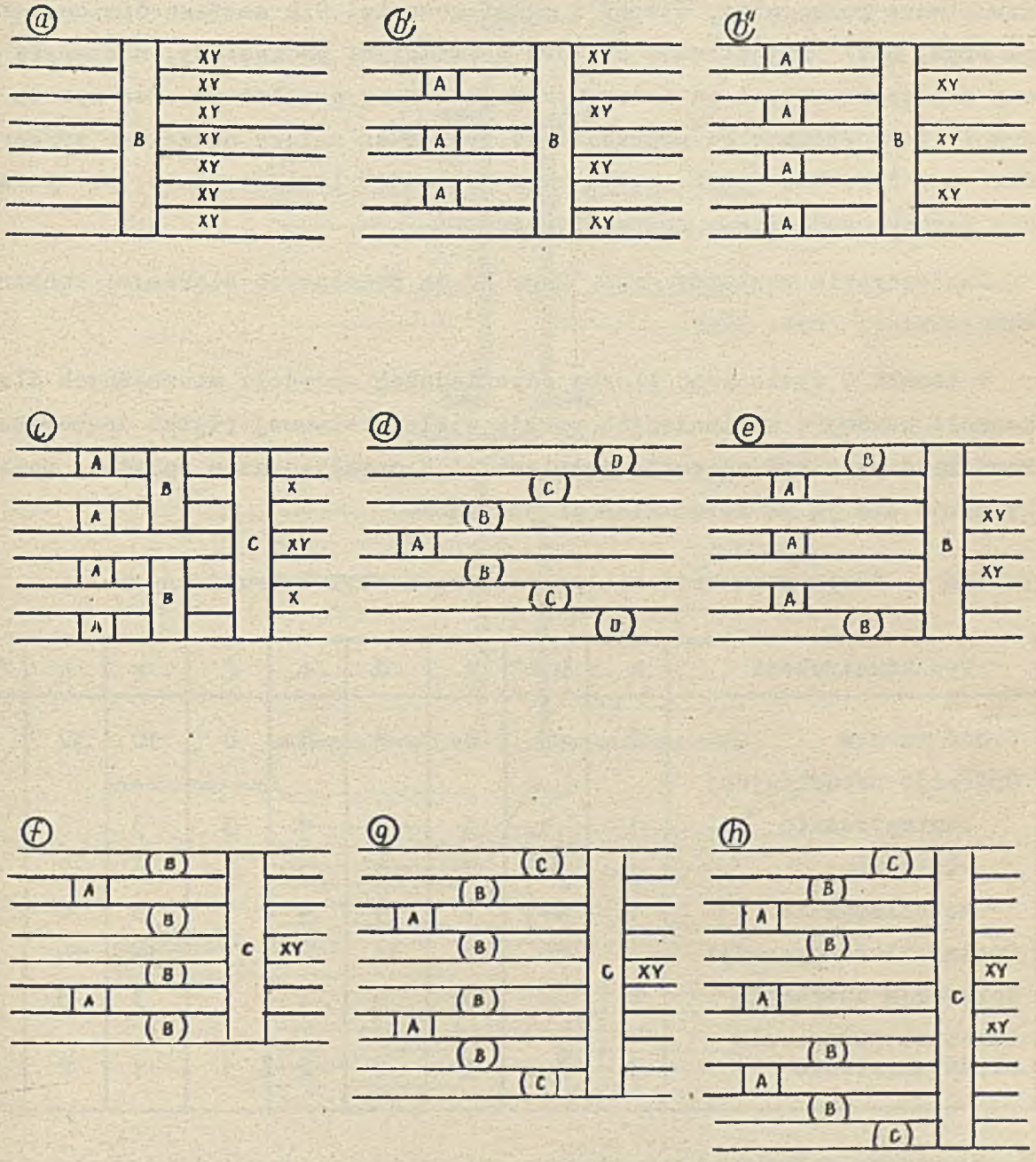
Znamy 8 typów konstrukcji a zarazem metod produkcji wielowarstwowych płytek drukowanych /rys. 24/. W chronologicznym porządku występują konstrukcje z otworami przelotowymi /rys. 24a, b, c/, sekwencyjne /rys. 24d/ oraz kombinowane /rys. 24e, f, g, h/.

Konstrukcja z otworami przelotowymi /rys. 24a/ zapewnia najmniejszą gęstość połączeń, ponieważ każdy z otworów zajmuje miejsce we wszystkich warstwach. Płytka jest najprostsza w projektowaniu i produkcji, ponieważ każdy otwór służy do zrealizowania tylko jednego połączenia międzywarstwowego. Nieco większą gęstość zapewniają odmiany tej metody zrealizowane przez wprowadzenie ślepych otworów pośrednich - płytka z jednostronnymi warstwami zewnętrznymi /rys. 24b'/, stosowana w wypadku gdy wyprowadzenia są umieszczane wewnątrz metalizowanych otworów oraz płytka z dwustronnymi warstwami zewnętrznymi /rys. 24b"/, stosowana w wypadku kiedy wyprowadzenie łączy się do ścieżek drukowanych na powierzchni płytki. Trzecia odmiana tej techniki złożona z dwu podzestawów laminatowanych po ich wykonaniu daje znaczne korzyści, jeśli chodzi o zwiększoną gęstość połączeń /rys. 24c/.

Konstrukcja sekwencyjna /rys. 24d/ daje największą możliwą gęstość połączeń /4 razy więcej od najprostszej konstrukcji, rys. 24a/ i pozwala na największą swobodę w rozmieszczeniu otworów i ścieżek drukowanych. Płytki tego rodzaju otrzymuje się za pomocą dodawania jednostronnych warstw do każdej strony dwustronnej płytki podstawowej.

Połączenia międzywarstwowe wykonuje się przez chemiczne trawienie ślepych otworów i metalizowanie ich kolejno w każdej warstwie laminatu szklano-epoksydowego w miejscach dowolnie zaplanowanych połączeń międzywarstwowych. Sekwencyjna metoda jest najbardziej użyteczna dla trzy- lub czterowarstwowych płytek drukowanych, które mogą być wykonane w jednym cyklu produkcji.

Metody kombinowane łączą w sobie wszystkie korzyści w sensie projektowania i produkcji jakie zapewnia konstrukcja z tzw. przelotowymi otworami i konstrukcja sekwencyjna [7]. W pierwszym wypadku /rys. 24e/ laminatuje



Rys. 24. Metody produkcji wielowarstwowych płytek drukowanych

Oznaczenia:

A - połączenie międzywarstwowe formowane przed laminatowaniem,

B, C, D - połączenia międzywarstwowe formowane po pierwszym, drugim i trzecim laminatowaniu,

x - warstwy, które nie mogą być łączone jako pojedyncza para,

y - para połączeń zakazanych

się trzy dwustronne płytki drukowane z dwoma jednostronnymi warstwami zewnętrznymi w jednym procesie laminatowania. Po laminatowaniu wykonuje się zewnętrzne połączenia, otwory i metalizowanie. Dla zestawu ośmiowarstwowego /rys. 24f/ przygotowuje się dwa sekwencyjne podzestawy, następnie łączy się je ze sobą i na końcu wykonuje otwory przelotowe. Ten sposób produkcji jest droższy od poprzedniego, ponieważ należy dodatkowo przeprowadzać metalizowanie podzestawów oraz dwukrotne laminatowanie, po jednym dla każdego podzestawu sekwencyjnego.

Dwa ostatnie warianty /rys. 24g, h/ są podobne do pierwszej konstrukcji kombinowanej /rys. 24e/.

W tabeli 5 wymieniono liczbę odpowiednich operacji niezbędnych dla wykonania każdej z wymienionych wersji wielowarstwowej płytki drukowanej. Pominięto przy tym operację trawienia lub metalizowania ścieżek, ponieważ wykonuje się ją we wszystkich przypadkach.

Tabela 5. Etapy produkcji wielowarstwowych płytek drukowanych

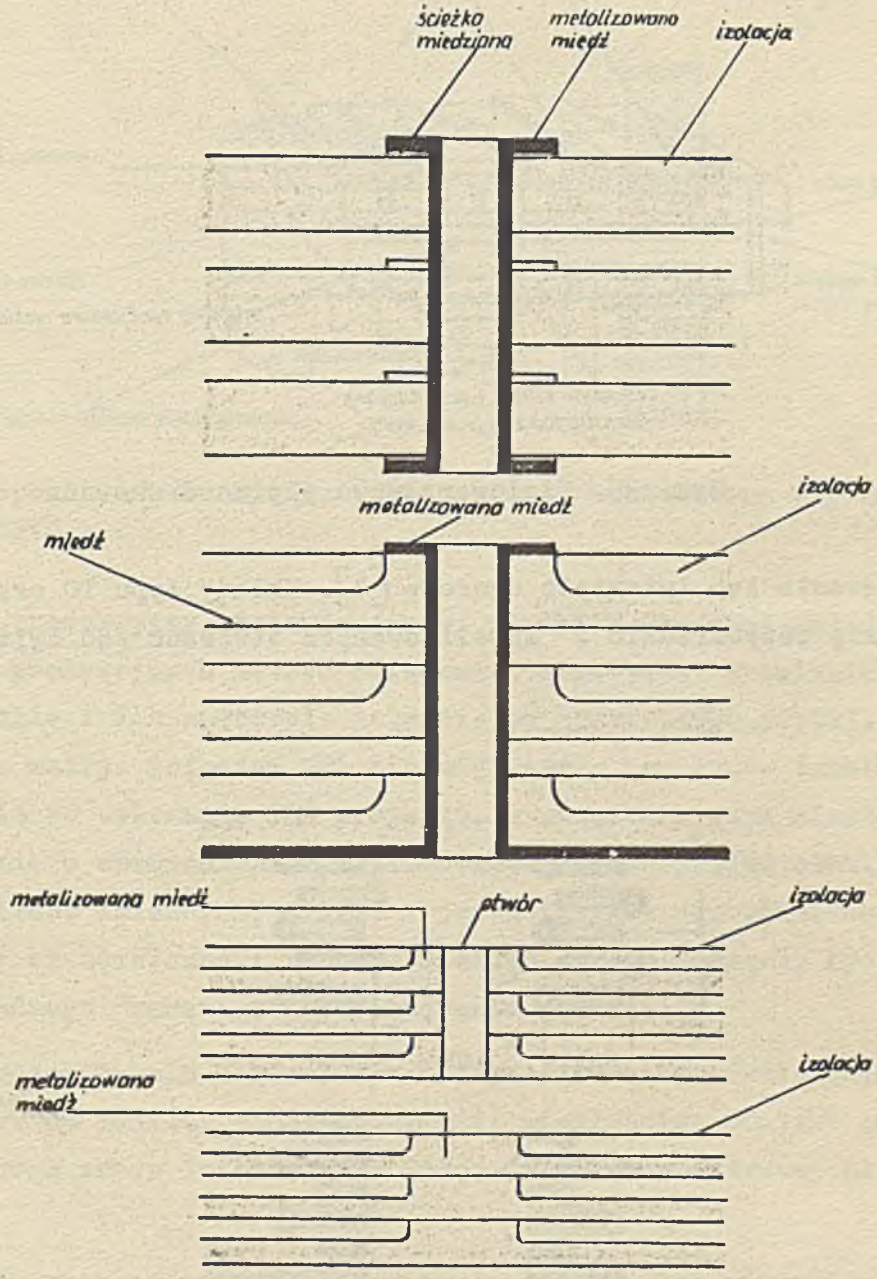
Typ konstrukcji	a	b,b"	c	d	e	f	g	h	POD*
Ilość warstw	8	8	8	8	8	8	10	12	2
Operacje produkcyjne:									
laminatowanie	1	1	3	3	1	3	3	3	0
wiercenie	1	4–5	7	4	5	5	6	7	1
metalizowanie	1	4–5	7	4	4	5	5	6	1
Ogólna ilość operacji	3	10	17	11	10	13	14	16	2
Sekwencja operacji	2	2	3	4	2	3	3	3	1
Zakazane połączenia międzywarstwowe	7	3-7	3	0	2	1	1	2	0

* dwustronna płytka obwodu drukowanego

Połączenia między warstwami otrzymuje się za pomocą:

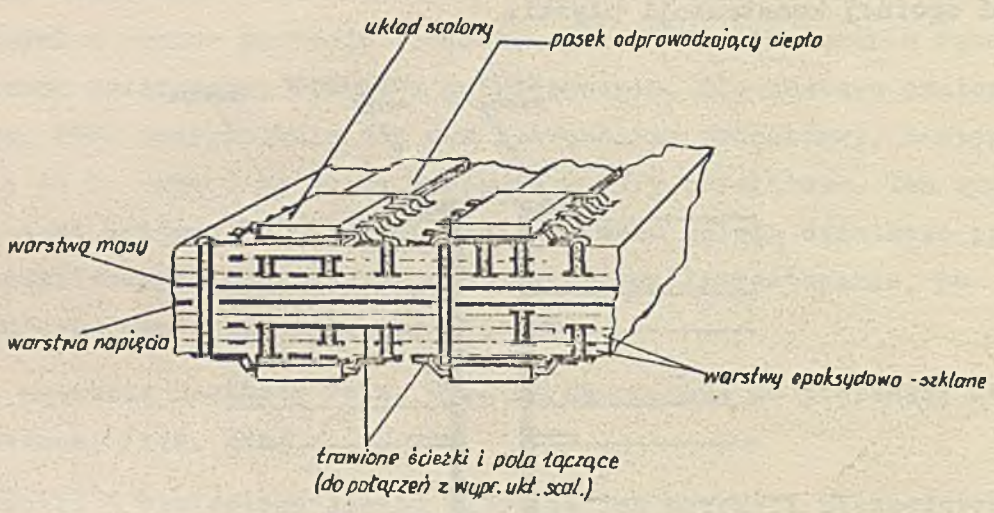
- metalizowania otworów w laminacie lub wypełniania ich kołkami lub lutem,
- sekwencyjnego formowania połączeń w trakcie produkcji płyty,
- kombinacji tych metod.

Zastosowanie określonego typu połączenia międzywarstwowego /rys. 25/ zależy od ogólnej konstrukcji płytki.



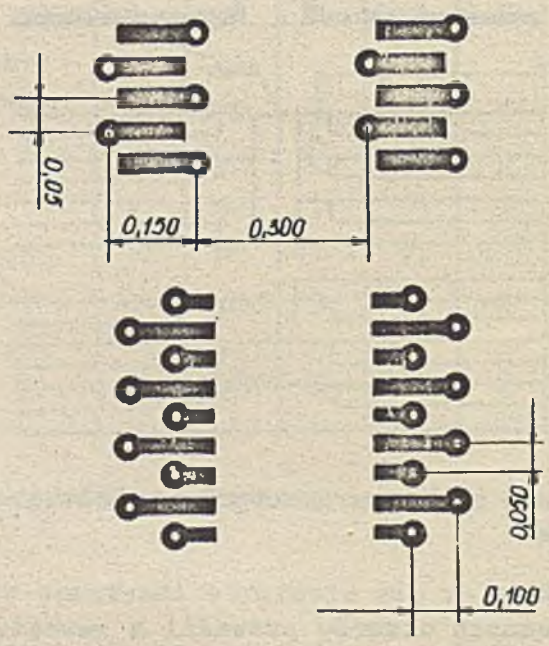
Rys. 25. Typy połączeń międzywarstwowych w wielowarstwowych płytkach drukowanych

Większość metalizowanych otworów prowadzi z wewnętrznych warstw do pól łączących na powierzchni płytki /rys. 26/. Jest rzeczą nader istotną, aby położenie otworów pozwalało na prowadzenie ścieżek między tymi otworami /rys. 27/. Wyprowadzenia układów typu krab łączy się do pól na powierzchni płytki. Do najpopularniejszych metod łączenia tych układów

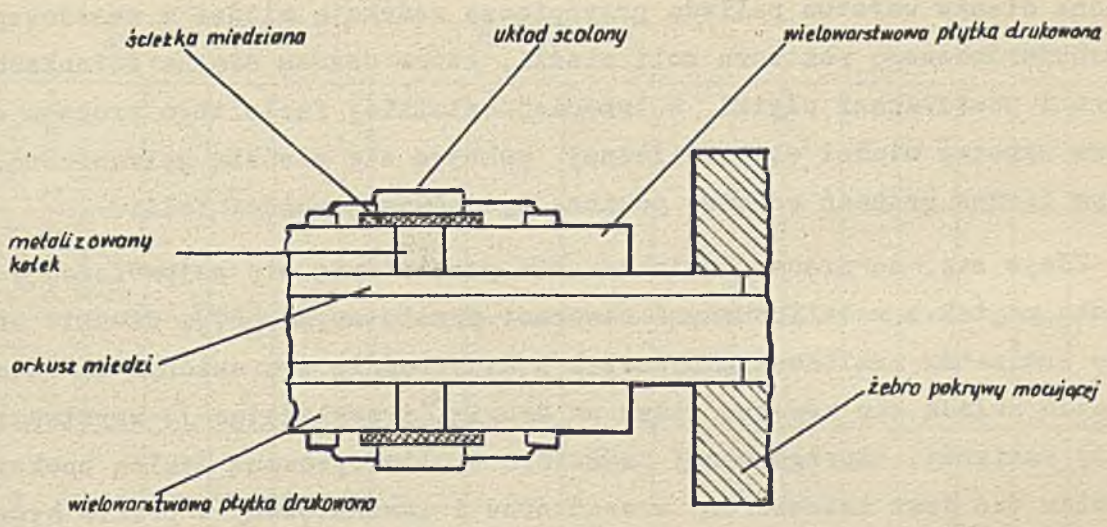


Rys. 26. Wielowarstwowa płytka drukowana

należy zgrzewanie lub lutowanie oporowe [4]. Układy typu TO oraz typu pająk lutuje się bezpośrednio w metalizowanych otworach /do cylindra otworu/.



Rys. 27. Zygzakowate rozmieszczenie pól łączących na powierzchni wielowarstwowej płytki drukowanej do łączenia wyprowadzeń układów scalonych /wymiary w calach/



Rys. 28. Sposób odprowadzania ciepła w wielowarstwowych płytkach drukowanych

Proces produkcyjny wielowarstwowej płytki drukowanej składa się z przygotowania precyzyjnych matryc połączeń i negatywów, trawienia, wiercenia, metalizowania i laminatowania zależnie od konstrukcji płytki. Przy projektowaniu matryc połączeń wyłania się szereg problemów topologicznych, szczególnie po wykonaniu 80% projektu, w związku z czym niektóre firmy pokusiły się o wprowadzenie programowanych metod projektowania [16]. Jednakże ilość zmiennych, a więc i przygotowanie odpowiednich programów jest nader czasochłonne i trudne. Dlatego należy z reguły być przygotowanym do żmudnego "ręcznego" projektowania rozkładu.

Etap projektowania i kreślenia matryc jest niezmiernie ważny i ma istotny wpływ na końcowy efekt produkcji. Niewłaściwy projekt lub matryce połączeń mogą wręcz uniemożliwić wykonanie wielowarstwowej płytki drukowanej.

W ramach procesu produkcyjnego bardzo ważny etap stanowi wiercenie otworów [11]. Istotny wpływ na efekt pracy ma w tym wypadku szybkość obrotów wiertła i sposób jego wprowadzania w materiał. Ostre wiertła wykonane z węglików spiekanych powinny obracać się z bardzo dużą szybkością, aby zapobiec zgniotowi i ścinaniu pól lutowniczych oraz rozwarstwianiu laminatu. Całkowite oczyszczenie otworów z opiłek epoksydowych jest możliwe jedynie na drodze trawienia chemicznego.

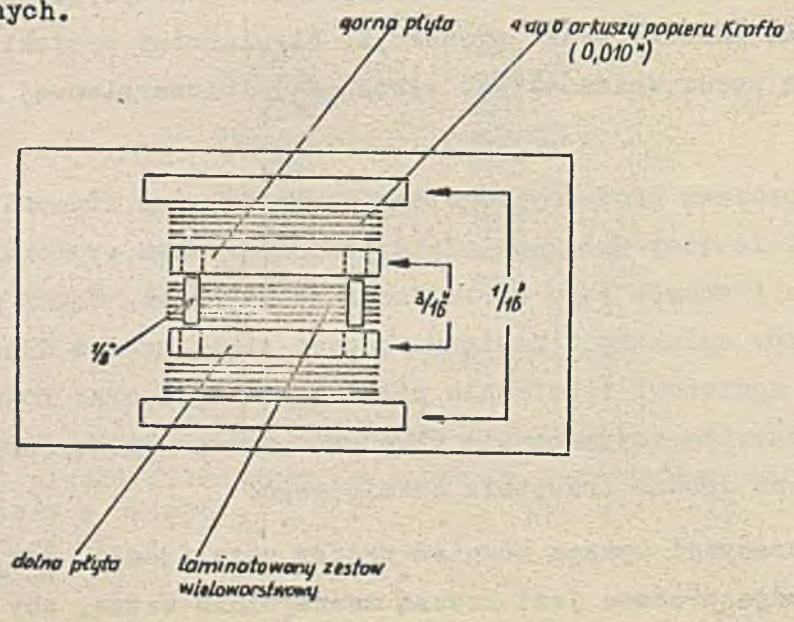
Znacznej precyzji wymaga również proces metalizacji [11]. W początkowej fazie tego procesu jest rzeczą szczególnie ważną, aby roztwór zwilżał całą wewnętrzną powierzchnię otworu. Zaleca się przytem postępowanie kilkustopniowe. W pierwszej fazie tego procesu przy pomocy palladu uczu-

la się powierzchnię dla następnego osadzania miedzi. W drugiej fazie osadzona cienka warstwa palladu przyśpiesza redukcję miedzi z zasadowego aldechydmrówkowego roztworu soli miedzi, która osadza się na ściankach otworu i powierzchni płytki. W trzeciej ostatniej fazie tego procesu otrzymaną warstwę miedzi elektrolicznej pokrywa się miedzią galwaniczną, przy czym łączna grubość warstwy powinna być równa grubości folii.

Zdaje się, że proces laminatowania przedstawia się najprościej w przypadku płytek z metalizowanymi otworami przelotowymi [27]. Cienkie arkusze laminatów szklano-epoksydowych z dwustronnie wytrawionym układem połączeń składa się wówczas jeden na drugim, przekładając je warstwami tkaniny szklanej, impregnowanej częściowo spolimeryzowaną żywicą epoksydową. Zestaw ten jest umieszczony w osadzarce i laminatowany w prasie hydraulicznej, celem właściwego uformowania płytki /rys. 29/. Ciśnienie prasy zmienia się w zakresie od 0,4 do 40 kG/cm^2, a jej powierzchnia robocza wynosi przeciętnie około 120 cm^2.

Istnieją dwie metody laminatowania. Jedna starsza polega na szybkim podgrzewaniu /elektrycznie lub na parze/ osadzarki z przeznaczonym do laminatowania stosem do temp. około 170°C i natychmiastowym przeniesieniu jej do prasy. Druga metoda polega na umieszczeniu osadzarki w prasie, stopniowym doprowadzaniu ciepła i podnoszeniu temperatury z szybkością kilku °C/min. Z punktu widzenia skuteczności laminatowania, prostoty oprzyrządowania i obsługi bardziej nowoczesna jest metoda druga.

Wyżej wymienione prasy są niezwykle precyzyjnym i drogim urządzeniem, szczególnie przy bardziej złożonych metodach produkcji wielowarstwowych płytek drukowanych.



Rys. 29. Schemat prasy do laminatowania wielowarstwowych płytek drukowanych

Tabela 6. Rodzaje oraz prawdopodobne przyczyny uszkodzeń wielowarstwowej płytki drukowanej

Linie pionowe podziału	Konstrukcja			Produkcja							Eksploatacja	
	Geo-me-	Wyko-nanie matryc	Elektr. i ter-miczna	Maga-zyno-wanie	Kamera foto. i wy-woły-wanie	Po-kry-cie	Wier-cenie	Tra-wie-nie	Kleje-nie	Bada-nie i kon-trola	Mon-taż i prze-nosze-nie	Zabez. piecz. i wzmoc-nienie
Nieciągłość ścieżek		-		+	-			+	-	-		
Oporność ścieżek	+	+	+	+		-		+		-		
Nieciągłość pokrycia otworu						+	+			-	-	-
Nadmierna szerokość ścieżki	+	+			-	-		+		-		
Niedost. szerokość ścieżek	+	+			-	-		+		-		
Zwarcia ścieżek i pól lutowniczych	-	-			-	-		+		-		
Zwarcie ścieżki do otworu	-	-			-	-	+			-		
Przerw. pola lut.	+	-			-		+	-	+	-		
Brak zewn. pola lut.				+					-		+	-
Brak zewn. ścieżki				+					-		+	-
Rozwarstwienie			-	+					+		-	-
Uszkodz. pokrycia				-						-		
Niepraw. opor. całk.	+	-	+	-								
Niska opor. czynna				+				+				-

+ przyczyna
- czynnik sprzyjający

Firmy, które nie posiadają dużych możliwości stosowania obróbki chemicznej i tłoczenia powinny ograniczyć się do produkcji płytek z metalizowanymi otworami przelotowymi /rys. 24b/. Produkcja ta jest nadzwyczaj trudna. Nie można uzyskać dobrych wyników, jeśli występują takie usterki, jak rysy, pęknięcia, szczeliny oraz wilgoć czy zanieczyszczenia materiałów lub też jeżeli nie zapewnia się właściwego przebiegu procesu i jakości kontroli. W tabeli 6 podano różne rodzaje oraz prawdopodobne przyczyny uszkodzeń wielowarstwowych płytek drukowanych [11].

Każda warstwa powinna być dokładnie sprawdzona przed sklejeniem. Badanie ciągłości elektrycznej połączeń powinno być przeprowadzone w sposób możliwie zupełny. Nie ma natomiast praktycznej możliwości pełnego sprawdzenia zwarć i upływności /dla płytki, która ma 1000 połączeń należy przeprowadzić 500.000 elementarnych sprawdzeń/. Doświadczenie wskazuje, że częściowe sprawdzanie ciągłości, kontrola wizualna i metalograficzna pozwalają na wykrycie większości błędów.

Dobre wyniki dają badania przy pomocy promieni rentgenowskich oraz badania rozkładu energii promieniowania podczerwonego. Programowany przeszukiwacz podczerwieni sporządza charakterystyki rozkładu temperatury dla całej struktury płytki. Złe połączenie daje się określić na podstawie stosunkowego przyrostu temperatury.

Ogólnie uważa się wielowarstwowe płytki drukowane za konstrukcje zbyt złożone, trudne do projektowania, modyfikacji i naprawy, a ponadto bardzo drogie. Wytwórcy cywilnych systemów cyfrowych sądzą, że nie są one przystosowane do metod masowej produkcji i eksploatacji. Nieco inaczej traktuje się ten problem w systemach wojskowych, w których przekłada się ponad wszystko dużą szybkość, niezawodność oraz małą objętość i ciężar jako nieodłączne cechy mikroelektronicznych systemów cyfrowych.

Mgr inż. ZBIGNIEW DUDEK
Katedra i Zakład Budowy Maszyn Matematycznych
Politechniki Warszawskiej

681.322.004,1

ORGANIZACJA I OPIS FUNKCJONALNY SPECJALISTYCZNEJ MASZYNY CYFROWEJ GEO-1

1. Ogólna charakterystyka GEO-1

Struktura wewnętrzna GEO-1 jest podobna do struktury maszyn serii UMC. Jest to maszyna mikroprogramowana poziomo. Wykorzystuje zapis minus dwójkowy notacji ujemnej, działania logiczne i arytmetyczne są w niej wykonywane szeregowo. Słowo zawiera 36 bitów. Podobieństwo do maszyn UMC pozwala na wykorzystanie - po niewielkiej adaptacji - istniejącej biblioteki programów, opracowanych dla maszyn serii UMC.

Cała maszyna mieści się w konstrukcji wielkości biurka, zawierającej zasilacz, pamięć bębnową i 16 płatów, na których umieszczono wszystkie układy elektroniczne. Opis i fotografię maszyny podano w [1].

Przy projektowaniu maszyny położono nacisk na prostotę obsługi i niezawodność. Przewidziano szereg ułatwień dla operatora. Przyciski sterujące maszyną umieszczono na dwóch pulpitach. Na jednym z nich, zwanym pulpitem technicznym, znajdują się przyciski potrzebne do kontroli i konserwacji maszyny.

Podczas normalnej pracy pulpit techniczny jest zakryty. Do obsługi maszyny wystarczy drugi pulpit - pulpit operatora. Znajdują się na nim klawisze wywoływania programu wprowadzania i programów kontrolnych, przyciski wybierania bloku pamięci pomocniczej, rodzaju pracy dalekopisu, zatrzymywania i uruchamiania maszyny. Ponadto umieszczono na nim tablicę, której pola są podświetlane w zależności od stanu specjalnego rejestru sygnalizacyjnego. Podaje ona instrukcje dla operatora i informuje go o obliczeniach wykonywanych przez maszynę.

Jako urządzenie wejściowo-wyjściowe zastosowano dalekopis o szybkości 10 znaków na sekundę z wbudowaną dziurkarką i czytnikiem taśmy dziurkowanej. Dalekopis można wykorzystywać dla celów nie związanych bezpośrednio z obliczeniami; na przykład przy wyłączonej maszynie można dziurkować taśmę z danymi lub kopiować wyniki. Czytnik dalekopisowy przystosowano do pracy start-stopowej. Dzięki temu wczytywanie rozkazów i danych może odbywać się bez udziału operatora.

Urządzeniem pamięciowym maszyny cyfrowej GEO-1 jest bęben magnetyczny o pojemności 8192 słów, z czego jedną połowę - 4096 słów zajmuje pamięć operacyjna, a pozostała część stanowi pamięć pomocniczą, która jest podzielona na cztery bloki. Każdy z nich może być podstawiany zamiast 1024 słów pamięci operacyjnej. W pamięci pomocniczej zapisane są systemy programów stałych. Programy te łatwo się wymienia, dzięki czemu łatwo jest dostosować zestaw programów do potrzeb użytkownika maszyny. Każdy system programów stałych posiada swoją tablicę, umieszczaną na pulpicie operatora. Bloki pamięci pomocniczej są dołączane do pamięci operacyjnej przez wciśnięcie odpowiedniego klawisza na pulpicie operatora. Opis pamięci GEO-1 znajduje się w [2].

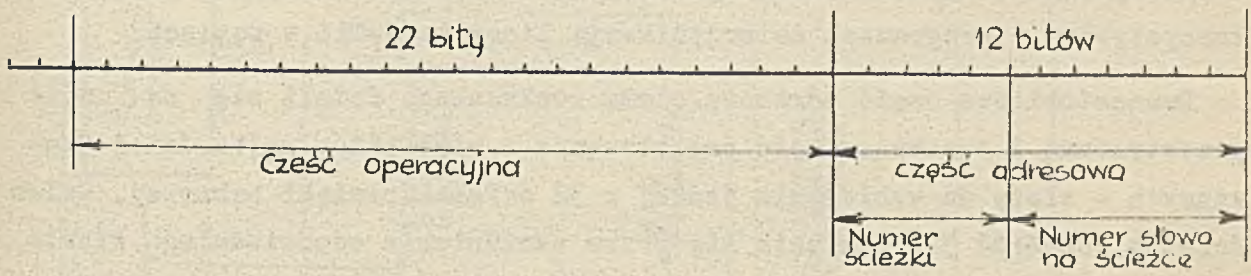
Układy podstawowe GEO-1 są zrealizowane w dynamicznej technice tranzystorowo-diodowej o częstotliwości 220 kHz. Podstawowymi funktorami logicznymi, z których są zbudowane bloki funkcjonalne maszyny są: iloczyn i suma boole'owska, negacja iloczynu i sumy oraz elementy opóźniające: linie i przerzutniki. Elementy opóźniające działają na zasadzie tranzystorowego regeneratora Havensa [3]. Na wyjściu każdego układu podstawowego znajduje się wtórnik emiterowy. Cała elektronika za wyjątkiem kilkunastu tranzystorów jest wykonana na podzespołach polskiej produkcji.

Maszyna GEO-1 posiada system programów podstawowych W-GEO, zapisanych na stałe do jednego z bloków pamięci. Opracowano go w Zakładzie Rachunku Wyrównawczego i Obliczeń Geodezyjnych Instytutu Geodezji i Kartografii. System W-GEO zawiera programy wprowadzania rozkazów i liczb, programy druku tekstów i liczb, programy kontrolne i szereg programów funkcji elementarnych oraz używany w obliczeniach geodezyjnych algorytm K.

2. Budowa słowa maszyny

Słowo maszynowe reprezentujące liczbę zajmuje w zasadzie 34 bity. Pozostałe dwa bity są wykorzystane wyłącznie do przechowywania nadmiaru w akumu-

latorze. Liczba jest przedstawiona w systemie minus dwójkowym notacji ujemnej [4]. Zakres liczb reprezentowanych w maszynie zawarty jest w przedziale otwartym -1/3, +2/3.



Rys. 1. Słowo rozkazowe GEO-1

Słowo rozkazowe zajmuje również 34 bity. Przedstawiono je na rys.1. Część operacyjna zajmuje 22 bity, a 12 najmniej znaczących bitów przeznaczono na część adresową. Każdemu bitowi części operacyjnej odpowiada jedna mikrooperacja. Na przykład najbardziej znaczący bit, r_{33}, odpowiada mikrooperacji odczytu z pamięci, bit r_{32} - odczytowi z rejestru dalekopisowego itd. W GEO-1 zachowano - ze względu na wykorzystanie istniejącej biblioteki programów - takie samo przyporządkowanie mikrooperacji poszczególnym bitom części operacyjnej, jakie zastosowano we wszystkich maszynach UMC. Szczegółowy opis tego przyporządkowania jest podany w [5] lub [6].

Teoretyczna liczba rozkazów GEO-1 jest równa 2^{22}, jednak praktycznie jest ich mniej, ponieważ nie wszystkie są sensowne. Możliwości maszyny są rozszerzone przez dodanie siedmiu mikrooperacji tworzonych. Są to Są to mikrooperacje:

DP - łączne przesuwanie akumulatora i mnożnika,
XP - odczyt pamięci na prawą stronę sumatora,
BZ - badanie zera liczby na wyjściu sumatora,
SN - sumowanie bitów nadmiarowych akumulatora,
SK - operacja tzw. skoku ze śladem,
SZ - zapis do rejestru sygnalizacji,
PP - utworzenie poprzednika liczby wychodzącej z sumatora.

Pierwsza i czwarta mikrooperacja tworzona ułatwia działania na liczbach długich /słowa o podwójnej długości/. Druga - XP - pozwala na prze-

syłanie słowa odczytanego z pamięci na prawą stronę sumatora. Trzecia powiększa możliwości tworzenia rozkazów warunkowych. Mikrooperacja SK redukuje do jednego rozkazu skoki do podprogramów. Szósta mikrooperacja tworzona powoduje zapis nowej wartości do rejestru sygnalizacji, a ostatnia - zmniejszenie o jeden liczby wychodzącej z sumatora. Jest ona często wykorzystywana w programach do modyfikacji licznika cykli w pętlach.

Dwunastobitowa część adresowa słowa rozkazowego dzieli się na część przestrzenną i czasową. Część przestrzenna - pięć bitów najbardziej znaczących - służy do wybierania jednej z 32 ścieżek pamięci bębnowej. Osiem ścieżek /spośród 32/ zamienia się przez naciśnięcie odpowiedniego klawisza na pulpicie operatora. Na bębnie jest pięć podstawianych zespołów ścieżek, przy czym zawsze tylko jeden z nich jest częścią pamięci operacyjnej.

Część czasowa adresu /siedem najmniej znaczących bitów słowa/ określa jedno z 128 słów, mieszczących się na ścieżce.

3. Organizacja GEO-1

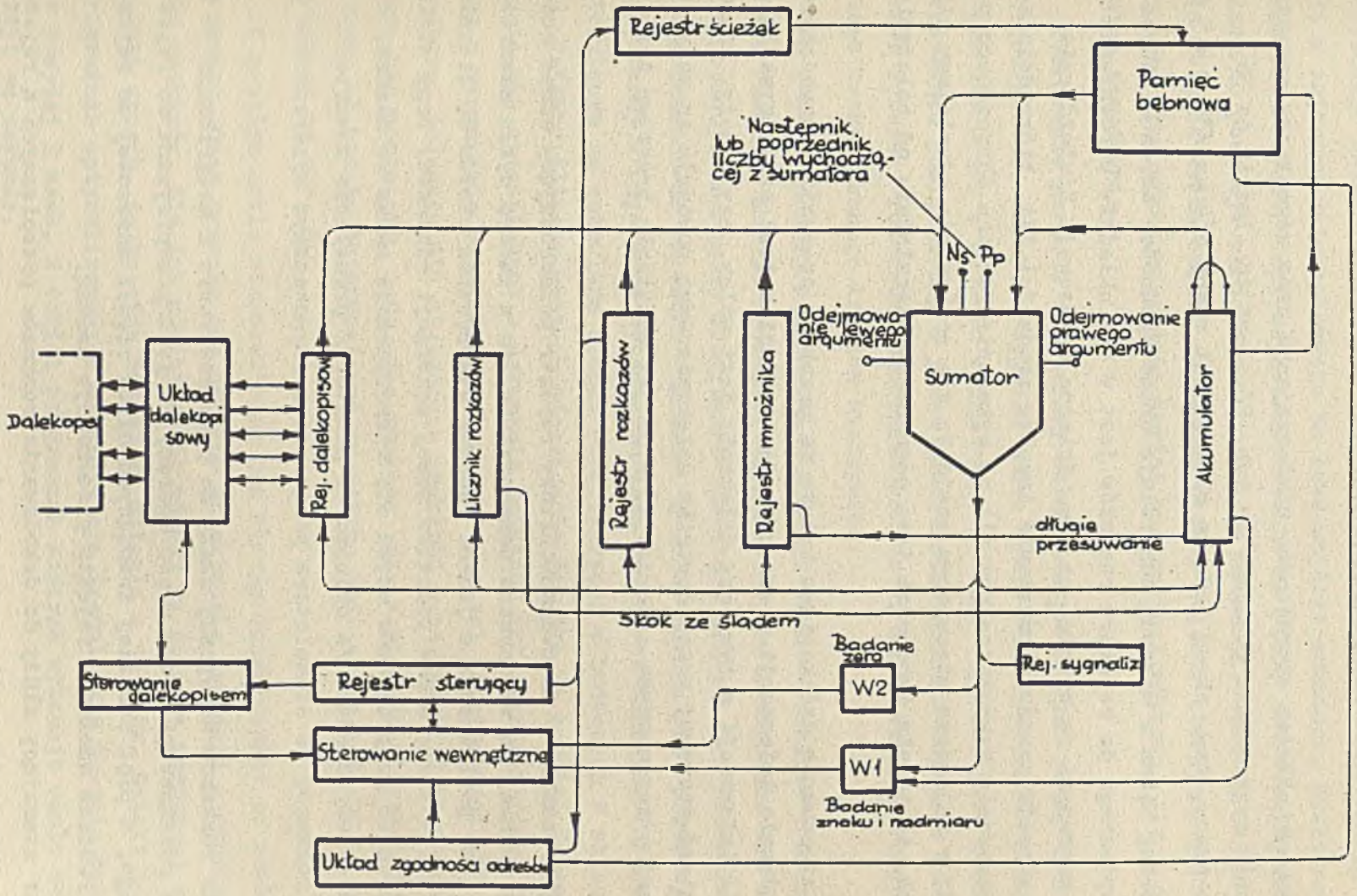
Bloki funkcjonalne GEO-1 można podzielić na następujące grupy:

- układy sterujące,
- jednostka arytmetyczna,
- układy współpracy z urządzeniami zewnętrznymi,
- układy związane z pamięcią,
- układy związane z pulpitami.

Podany podział nie jest jednoznaczny, ponieważ niektóre elementy maszyny można umieścić w dwu grupach, ale ma tę zaletę, że pozwoli w przejrzysty sposób opisać organizację maszyny. Na rys. 2 pokazano uproszczony schemat blokowy maszyny. Współdziałanie poszczególnych bloków zaznaczono, łącząc je liniami ciągłymi. Kierunek przesyłania informacji oznaczono strzałkami. W dalszej części artykułu zostaną omówione zgodnie z podanym podziałem zadania poszczególnych elementów funkcjonalnych maszyny.

3.1. U k ł a d y s t e r u j ą c e

Do tej grupy układów należą: sterowanie wewnętrzne, sterowanie dalekopisem, układ zgodności adresów, rejestr sterujący, układ warunku, licznik rozkazów i rejestr rozkazów. Ich zadanie polega na wymuszaniu pracy maszy-



Rys. 2 Uproszczony schemat GEO-1

ny w odpowiednim takcie, pobieraniu rozkazów, dekodowaniu operacji i adresu, otwieraniu i zamykaniu odpowiednich bramek we właściwych okresach czasu.

Podstawowym układem sterującym, odmierzającym czas wewnętrzny maszyny, jest licznik zegara /nie pokazany na rys. 2/. Jest to licznik do 36. Cykl jego pracy, tzw. okres jednego słowa, jest równy 164 μs /36 x 4,5 μs/.

Współpracę bębna z maszyną kontroluje układ zgodności adresów. Adres rozkazu wpisanego do rejestru rozkazów jest w tym układzie porównywany z adresami nagranymi na bębnie, na tzw. ścieżce adresowej. Stwierdzenie równości adresów powoduje powstanie impulsu zgodności IZA, który działając na sterowanie wewnętrzne pozwala na wykonanie rozkazu dotyczącego pamięci. Gdy w rejestrze sterującym znajduje się rozkaz nie odwołujący się do pamięci, to impuls zgodności jest generowany niezależnie od położenia bębna.

Układ sterowania dalekopisem wpływa na przebieg operacji wprowadzania i wyprowadzania informacji z maszyny. Jego zadaniem jest przekazywanie do sterowania informacji o tym, czy dalekopis jest wolny, czy zajęty. Ponadto przy start-stopowej pracy czytnika dalekopisowego powoduje on wczytywanie żądanej przez maszynę informacji, a po jej wczytaniu przerywa pracę czytnika.

Licznik rozkazów - to dwunastobitowy rejestr przechowujący adres rozkazu. Gdy rozkazy są wykonywane sekwencyjnie, to w każdym cyklu zawartość licznika jest powiększana o jeden. Podczas wykonywania skoków do licznika rozkazów wpisuje się adres początku nowej sekwencji rozkazów. Przy skokach wykonywanych do podprogramów używa się mikrooperacji skoku ze śladem, która powoduje bezpośrednie /z ominięciem sumatora/ przesłanie zawartości licznika rozkazów do akumulatora połączone z równoczesnym wyzerowaniem akumulatora.

Rejestr rozkazów zazwyczaj służy do przechowywania i modyfikacji 34 bitów słowa rozkazowego. Jego część operacyjna jest przepisywana do rejestru sterującego, a pięć bardziej znaczących bitów części adresowej do rejestru ścieżek. Podczas mnożenia rejestr przechowuje mnożną.

Rejestr sterujący służy do dekodowania rozkazów przepisanych z rejestru rozkazów. Składa się z 29 przerzutników, z których każdy odpowiada jednej mikrooperacji. Przerzutniki działają na odpowiadające im bramki. Na przy-

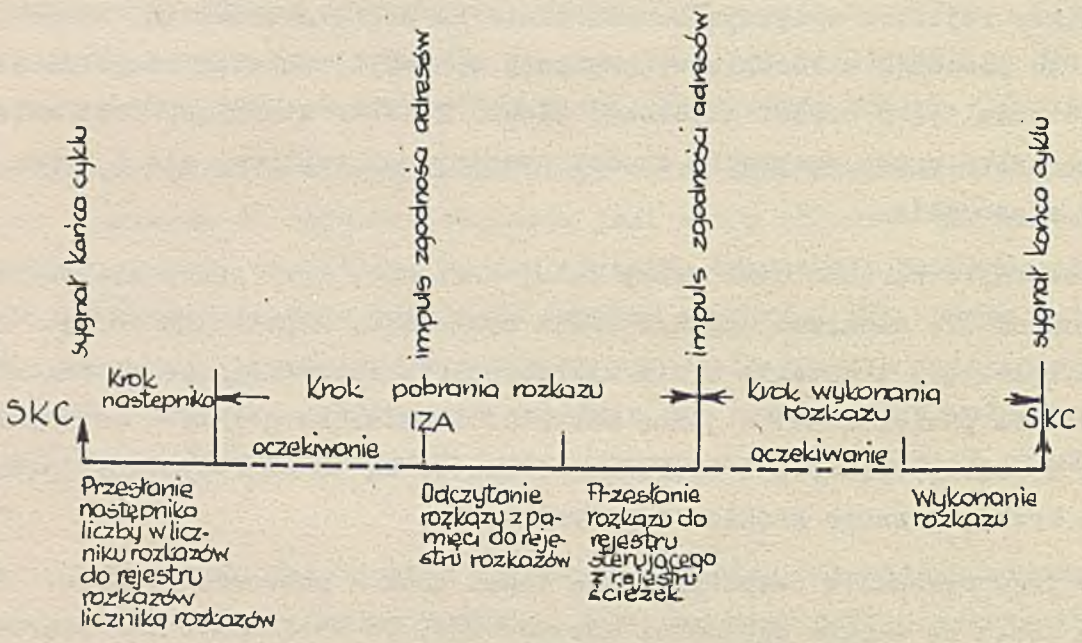
kład przerzutnik PDO, odpowiadający mikrooperacji odczytu rejestru dalekopisowego działa na iloczyn IDO, otwierający drogę przesyłania informacji z rejestru dalekopisowego na lewe wejście sumatora. Niektóre z przerzutników rejestru wpływają bezpośrednio na pracę sterowania, na przykład PAD powoduje skrócenie wykonywanej operacji, wskutek czego działania dotyczą tylko części adresowej słowa. Rejestr sterujący jest ustawiany nie tylko przez wczytanie części operacyjnej rozkazu, ale i przez impulsy sterowania.

Sterowanie narzuca cykl pracy całej maszynie. Cykl pracy sterowania rozpoczyna się impulsem sygnału końca cyklu SKC. Impuls SKC zeruje rejestr sterujący i ustawia w nim mikrooperacje odpowiadające rozkazowi przesłania powiększonej o jeden zawartości licznika rozkazów do rejestrów: ścieżek, rozkazów i licznika rozkazów. Są to mikrooperacje pierwszego kroku, zwanego krokiem następnika.

Po jego wykonaniu rozpoczyna się drugi krok - pobranie rozkazu. Maszyna czeka na impuls zgodności adresów IZA. Po otrzymaniu IZA sterowanie powoduje szeregowe odczytanie rozkazu z pamięci i przesłanie go przez sumator do rejestru rozkazów. Z kolei rozkaz jest przepisywany i dekodowany w rejestrze sterującym oraz rejestrze ścieżek. W rejestrze sterującym są ustawione bramki mikrooperacji wchodzących w skład rozkazu. Rejestr ścieżek wybiera odpowiednią ścieżkę na bębnie. Teraz rozpoczyna się ostatni krok - wykonanie rozkazu. Krok ten zazwyczaj składa się z wyszukania potrzebnego słowa na wybranej ścieżce oraz wykonania rozkazu, jednakże dla niektórych rozkazów - na przykład warunkowych - może być pominięty, a np. dla rozkazu tzw. stopu dynamicznego trwa tak długo, aż będzie interweniować operator. Podstawowy cykl pracy maszyny, pokazano na rys. 3.

W zwykłym cyklu sterowania są dwa okresy oczekiwania: na rozkaz i na argument. Czas trwania obu okresów oczekiwania decyduje o czasie wykonania rozkazów. Dla ich zmniejszenia adresy na ścieżce adresowej nagrano w taki sposób, że kolejne adresy są odległe o 13 słów. Dzięki temu w programach optymalizowanych uzyskuje się średni czas trwania cyklu nieco powyżej 2 msek. W takich programach maszyna wykonuje około 480 operacji na sekundę.

Dla celów kontrolnych przewidziano - niezależnie od normalnej pracy cyklicznej - trzy rodzaje pracy sterowania, w poważnym stopniu ułatwiające wykrycie uszkodzenia w przypadku awarii.



Rys. 3. Podstawowy cykl sterowania GEO-1

GEO-1 celem realizacji rozgałęzień w programach posiada dwa jednobitowe rejestry warunku. Przewidziano trzy rodzaje rozkazów ustawiających rejestry warunku. Przewidziano trzy rodzaje rozkazów ustawiających rejestr warunku: rozkazy z badaniem znaku, nadmiaru i zera. Znak i zero liczby jest badane na wyjściu sumatora, a nadmiar w akumulatorze. Pierwsze dwa typy rozkazów wpływają na stan rejestru warunku W1 /zob. rys. 2/, a trzeci - na rejestr W2. Zapalenie rejestru warunku W1 /W1 = 1/ powoduje opuszczenie wykonania rozkazów warunkowych /ściślej trzeciego kroku w cyklu/. Rozkazy z badaniem zera działają inaczej; gdy zostanie wykryte zero na wyjściu sumatora następny rozkaz jest zawsze niewykonywany.

3.2. A r y t m o m e t r

Do drugiej grupy układów można zaliczyć sumator, rejestry akumulatora i mnożnika, automatykę mnożenia oraz w pewnej mierze rejestr rozkazów i pamięć. W układach tych wykonywane są wszystkie operacje arytmetyczne i logiczne.

Sumator GEO-1 /szeregowy, minus dwójkowy/ dodaje dwa argumenty, odejmuje je lub spełnia operację iloczynu logicznego. Zmiana znaku liczby wchodzącej na jedno z wejść sumatora odbywa się przy pomocy jednej z dwóch mikrooperacji: OD - zmiany znaku lewego argumentu i OA - zmiany znaku prawego argumentu. Gdy w rozkazie pojawią się równocześnie OA i OD, sumator wykonuje operację iloczynu logicznego. Sumę logiczną dwóch argumentów uzyskuje się przez równoczesne ich przesłanie na jedno z wejść sumatora. Na lewe wejście sumatora mogą być posłane zawartości rejestrów: dalekopisowego, rozkazów, mnożnika i licznika rozkazów oraz pamięci /zob. rys. 2/ a na prawe - akumulatora lub pamięci. Przesyłaniem sterują mikrooperacje bramek odczytu rejestrów. O tym, czy argument odczytany z pamięci zostanie posłany na lewą lub prawą stronę sumatora, decyduje mikrooperacja XP. Oprócz mikrooperacji OD i OA na działanie sumatora wpływają mikrooperacje następnika NS i poprzednika PP. Pierwsza powoduje dodanie +1, a druga -1 do liczby wychodzącej z sumatora. Obie są używane do modyfikacji liczników w pętlach. Sumator wykonuje operacje na pełnym słowie tj. na 36 bitach.

Rejestr akumulatora jest pełnym rejestrem 36-cio bitowym, jedynym w maszynie, do którego można wpisać i odczytać całe słowo - a więc i bity nadmiarowe. Dlatego badanie nadmiaru odbywa się w akumulatorze. Mikrooperacje AL i AP powodują odpowiednio wydłużanie i skracanie normalnej pętli akumulatora, wskutek czego jego zawartość przesuwa się w lewo lub w prawo. Dodanie w rozkazie do AL lub AP mikrooperacji tworzonej tzw. długiego przesuwania DP umożliwia łączne przesuwanie akumulatora i mnożnika. Z akumulatorem jest też związana mikrooperacja SN, która powoduje dodanie dwóch bitów nadmiarowych, traktowanych jako bity najmniej znaczące, do liczby przechowywanej w tym rejestrze.

Drugi rejestr arytmetyczny - rejestr mnożnika - jest również rejestrem 36-bitowym, ale można do niego wpisać i z niego odczytać tylko 34 bity. Rejestr mnożnika - podobnie jak akumulator - skraca lub wydłuża swą pętlę, gdy w rozkazie jest mikrooperacja DP.

Ważną rolę w jednostce arytmetycznej spełnia pamięć, która jest traktowana jako specjalny rejestr arytmetyczny. Odczyt z pamięci do sumatora został już opisany. Zapis do pamięci odbywa się wyłącznie z akumulatora. W pamięci przechowywane są 34 bity słowa.

Mnożenie w GEO-1 jest wykonywane przy pomocy układu nazwanego automatyką mnożenia /nie pokazano go na rys. 2/. Podczas mnożenia rejestr rozkazów spełnia rolę rejestru arytmetycznego; przechowywana jest w nim mnożna. Mnożnik znajduje się w rejestrze mnożnika. W trakcie mnożenia badane są dwa najmniej znaczące bity mnożnika. Kolejne iloczyny cząstkowe są zapisywane do akumulatora, a najmniej znaczące bity iloczynów cząstkowych są wpisywane na najstarsze pozycje rejestru mnożnika. Podczas każdego kroku mnożenia akumulator i mnożnik są łącznie przesuwane o dwa miejsca w prawo. Po ukończeniu mnożenia bardziej znacząca część iloczynu mieści się w akumulatorze, a mniej znacząca - w mnożniku. Mnożenie trwa przez okres 18 słów. Maszyna GEO-1 nie ma oddzielnego licznika kroków mnożenia. Kroki mnożenia są odliczane w rejestrze dalekopisowym. Operacja dzielenia jest w GEO-1 wykonywana podprogramem, wchodzącym w skład systemu programów podstawowych.

3.3. P o z o s t a ł e e l e m e n t y m a s z y n y

Przejdźmy teraz do omówienia układów wyprowadzania i wprowadzania informacji do maszyny. Są to - rejestr i układ dalekopisowy.

Rejestr dalekopisowy spełnia rolę bufora między dalekopisem i jednostką centralną maszyny. Jest to statyczny rejestr pięciobitowy, w którym każdy przerzutnik odpowiada jednemu bitowi znaku na taśmie dziurkowanej. Zapis i odczyt z rejestru dalekopisowego do jednostki centralnej odbywa się szeregowo, a do układu dalekopisowego równolegle. Rejestr jest zerowany przed każdym wpisaniem nowego znaku. Podczas mnożenia spełnia dodatkowo rolę licznika kroków.

Z rejestrem dalekopisowym jest bezpośrednio związany układ dalekopisowy. Jego zadaniem jest - przy wprowadzaniu zapisania sygnału dalekopisowego do rejestru dalekopisowego, a przy wprowadzaniu - zamiana informacji wpisanej przez maszynę do rejestru dalekopisowego na sygnał dalekopisowy. Jest on tak skonstruowany, że dalekopis podłączony do GEO-1 może pracować na pięć sposobów:

- bez udziału maszyny - "na siebie",
- z maszyną, z drukiem wprowadzanej informacji,
- z maszyną, bez druku,
- ze start-stopową pracą czytnika, z drukiem wprowadzanej informacji,
- ze start-stopową pracą czytnika, bez druku.

Jest to bardzo wygodne dla użytkowników maszyny. Przy wprowadzaniu impulsy z układu dalekopisowego wpływają na pracę sterowania dalekopisem. Wyprowadzanie jest wykonywane na żądanie maszyny.

Następną grupą układów są zespoły związane z pamięcią bębnową: układ zgodności adresów i rejestr ścieżek. Zostały one już omówione uprzednio.

Pozostałe układy - rejestr sygnalizacyjny i generator adresów /generator jest pominięty na rys. 2/ są związane z pulpitem operatora. Rejestr sygnalizacyjny jest rejestrem statycznym o pojemności trzech bitów. Wpisywane są do niego trzy najmniej znaczące bity słowa. Zapisywanie odbywa się, gdy w rejestrze sterującym przerzutnik mikrooperacji SZ jest w stanie "jeden". Stan rejestru jest wyświetlany w kodzie plus dwójkowym na pulpicie operatora. Oświetlanie pól informacyjnych powiadamia operatora,co aktualnie wykonuje maszyna lub też co należy zrobić.

Na pulpicie operatora znajdują się cztery klawisze oznaczone literami W, K, R, S. Naciśnięcie jednego z nich powoduje przejście maszyny do wykonania odpowiadającego mu programu. Na przykład naciśnięcie klawisza K uruchamia program kontrolny, znajdujący się w systemie programów podstawowych. Przejście maszyny do wykonywania żądanego programu jest realizowane przez generator adresów. Układ ten wysyła ciąg zerojedynkowy odpowiadający adresowi skoku i działa bezpośrednio na sterowanie i rejestr sterujący, wymuszając ustawienie i wykonanie rozkazu skoku.

Podany zarys organizacji maszyny i zadania poszczególnych jej zespołów uwidaczniają prostotę struktury logicznej GEO-1. Zachowano w niej wszystkie zalety maszyn UMC, a ponadto przewidziano szereg dodatkowych udogodnień ułatwiających programowanie oraz obsługę i dostosowujących je do zadań maszyny specjalistycznej. Przy projektowaniu GEO-1 starano się uzyskać jak największą prostotę zespołów logicznych, nawet dla tak skomplikowanych elementów maszyny jak sterowanie, co niewątpliwie ułatwi jej konserwację.

4. Zakończenie

Założenia GEO-1 zostały opracowane na podstawie sześcioletnich doświadczeń Instytutu Geodezji i Kartografii. Z tego powodu maszyna ta jest przystosowana przede wszystkim do obliczeń geodezyjnych, ale w miarę potrzeb można bez większych trudności zaopatrzyć ją w inne systemy programów,związanych z innymi zastosowaniami.

Operator obsługujący maszynę GEO-1 nie musi mieć kwalifikacji programisty.

Nauka programowania na GEO-1 jest łatwa. Zwięzły język W-GEO posiada wiele udogodnień. Obliczenia są prowadzone w systemie dziesiętnym, przewidziano łatwą zamianę skal, specjalne programy ułatwiają druk tekstów i liczb. Przy uruchamianiu złożonego programu programista może korzystać z pulpitu technicznego, obserwując wykonanie każdego rozkazu.

Konserwacja GEO-1 nie powinna - sądząc z półrocznych doświadczeń na modelu - sprawiać większych trudności. W systemie W-GEO przewidziano szereg programów kontrolnych. Konserwację ułatwia pulpit techniczny. Konstrukcja maszyny zapewnia łatwy dostęp do każdego punktu. Jedynym urządzeniem,które wymaga większej uwagi jest dalekopis.

Literatura

[1] J. GAŹDZICKI, J. SZEWCZYK: Specjalistyczna maszyna cyfrowa do obliczeń geodezyjnych GEO-1. Maszyny matematyczne, 1968, Nr 3, str. 14-16.

[2] S. DOTRYW: Wymienne bloki pamięci w specjalistycznej maszynie GEO-1. Maszyny matematyczne, 1968, Nr 5, str. 17-18.

[3] Z. GROCHOWSKI, J. SZEWCZYK: Tranzystorowy regenerator impulsów cyfrowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej, Elektryka, nr 51, s. 45-60, Warszawa 1967.

[4] Z. PAWLAK, A. WAKULICZ: Use of Expansion with a Negative Basis in the Arithmometer of a Digital Computer. Bull. Acad. Pol. Sc., c III, vol. V, No 3, 57, 233-236.

[5] A. KILIŃSKI i in.: Maszyny cyfrowe cz. II. Wydawnictwa Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1965.

[6] J. SZEWCZYK: Uniwersalna maszyna cyfrowa UMC-10. Zeszyty Naukowe Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1965, Elektryka, nr 51, s. 5-28.

Mgr inż. RYSZARD PATRYN
Zakład Urządzeń We-Wy IMM

681.327.64

REJESTRATORY MAGNETYCZNE

1. Wstęp

W ostatnich latach pojawiły się nowe urządzenia służące do przygotowania na taśmie magnetycznej danych dla maszyny cyfrowej. Są to urządzenia znane pod nazwą I n c r e m e n t a l m a g n e t i c ' r e c o r d e r s, które u nas proponuje się nazywać rejestratorami magnetycznymi. Głównym przeznaczeniem rejestratorów magnetycznych jest zapisanie na taśmie magnetycznej danych z prędkością do kilkuset znaków na sekundę. Odbywa się to w systemie pracy asynchronicznej i w taki sposób, który umożliwia bezpośrednie jej wykorzystanie w pamięci taśmowej maszyn cyfrowych.

2. Zasada działania rejestratora magnetycznego

W rejestratorze magnetycznym stosowany jest przeważnie zapis 7- lub 9-ścieżkowy na 1/2 calowej cyfrowej taśmie magnetycznej. Zapis odbywa się w następujący sposób: sygnał na wejściu rejestratora powoduje powstanie impulsów zapisujących w zespole głowic, przemagnesowujących nośnik taśmy, oraz uruchomienie mechanizmu przesuwu taśmy. Taśma zostaje przesunięta o odległość odpowiadającą przyjętej gęstości zapisu i urządzenie jest gotowe do przyjęcia następnego sygnału.

Czas potrzebny na wykonanie cyklu zapisu i przesunięcie taśmy wynosi 2-3 milisekundy, co wyznacza częstotliwość graniczną rejestrowanych sygnałów. Parametry zapisu w większości rejestratorów magnetycznych odpowiadają normom przyjętym dla pamięci taśmowych EMC.

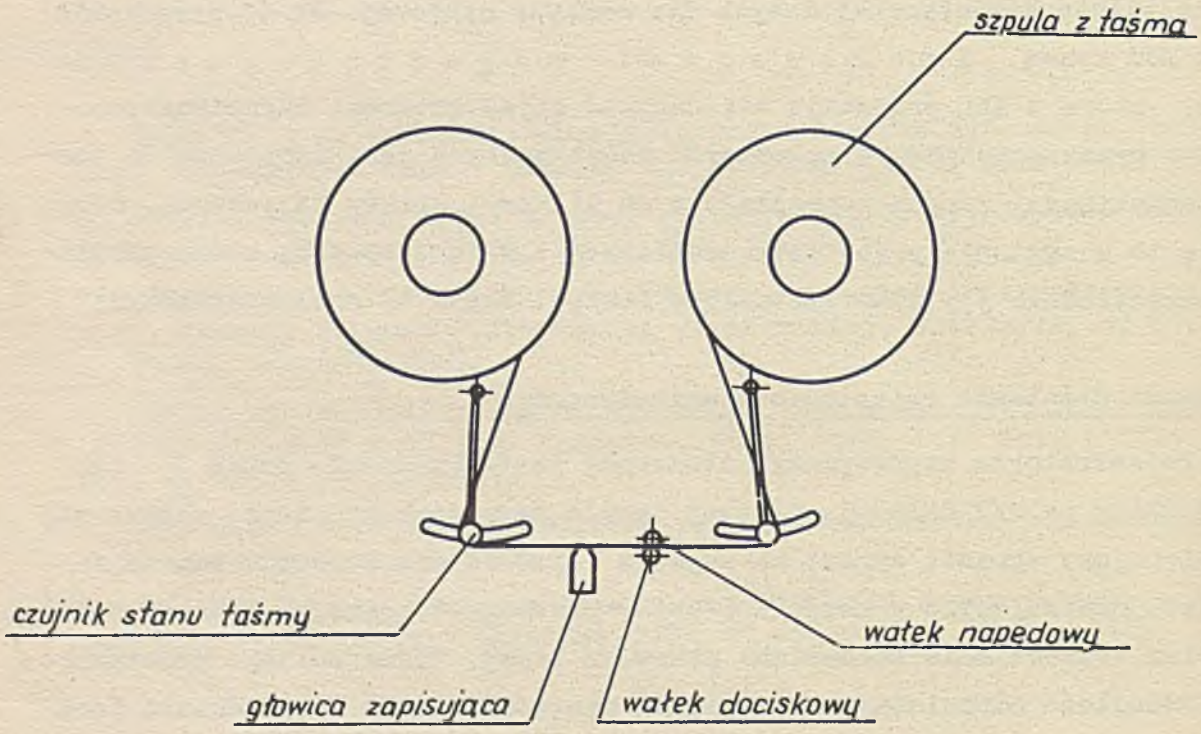
3. Budowa rejestratora magnetycznego

3.1. U k ł a d p r z e s u w u s k o k o w e g o

Charakterystycznym zespołem w omawianych rejestratorach jest mechanizm skokowego przesuwu taśmy. Rys. 1 przedstawia schemat układu przesuwu taś-

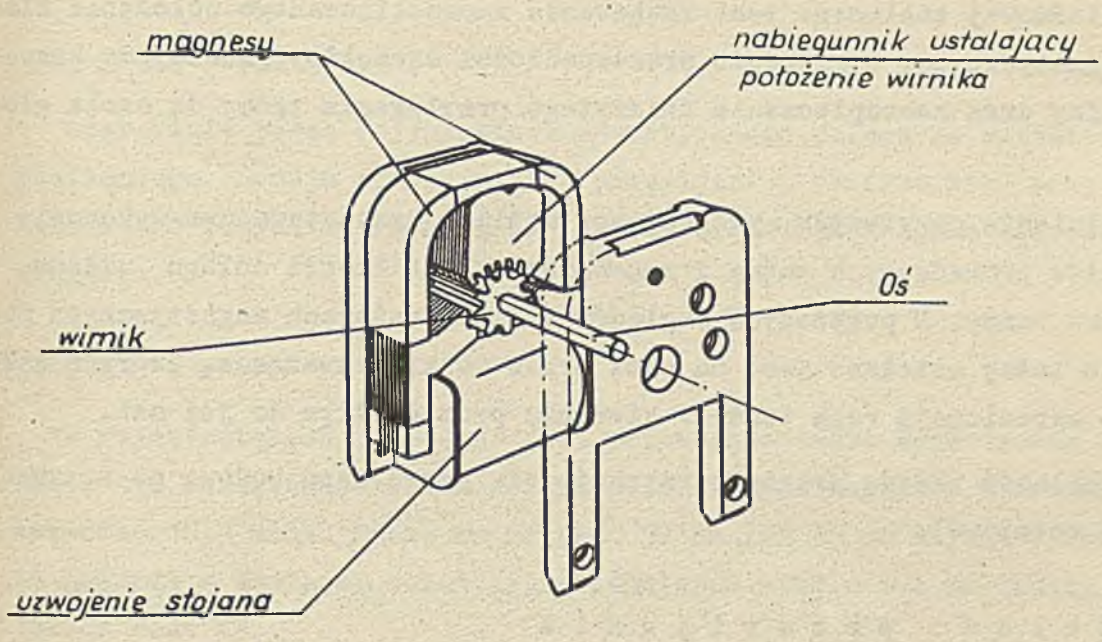
my typowego rejestratora magnetycznego. Taśma magnetyczna jest dociśnięta do wałka napędowego przez gumową rolkę dociskową. Wałek napędowy wykonuje na jeden obrót do kilkuset przesunięć kątowych, zależnie od stosowanej gęstości zapisu i od średnicy wałka. Napędzany on jest przez odpowiednią przekładnię, silnikiem o obrocie skokowym.

Na ogół dąży się do uzyskania dużych prędkości rejestracji, co wymaga zmniejszenia czasu przesuwu taśmy; w tym celu zmniejsza się bezwładność elementów biorących udział w przesuwie skokowym. Dla zmniejszenia bezwładności przesuwanej taśmy, ruch skokowy taśmy odbywa się jedynie na odcinku między czujnikami, natomiast reszta taśmy umieszczona na szpulach przeciągana jest w sposób ciągły. Czujniki separują część taśmy o ruchu skokowym, od części poruszanej ruchem ciągłym.



Rys. 1. Uproszczony układ przesuwu taśmy rejestratora magnetycznego

Na rys. 2 przedstawiono w sposób uproszczony budowę silnika o obrocie skokowym firmy Sigma. Silnik ten pracuje na zasadzie silnika reluktancyjnego, z magnetycznym ustalaniem położenia spoczynkowego. Silnik zasilany jest impulsami prądu o kierunkach na przemian zmiennych. Wirnik ma 10 ząbków, każdy impuls prądu powoduje jego przesunięcie kątowe o 1/20 pełnego obrotu.



Rys. 2. Budowa silnika o obrocie skokowym

Średnica wirnika wynosi ca 9,5 mm, a rząd wielkości momentu obrotowego i momentu ustalającego położenie spoczynkowe wynosi około dwieście gcm. Z powodu małej bezwładności wirnika silnik przy odpowiednim wytłumieniu może wykonywać do kilkuset skoków w ciągu sekundy. Ze względu na wymagane małe przesunięcia kątowe wałka napędowego oraz wymaganą małą bezwładność, pomiędzy silnikiem i wałkiem napędowym stosuje się przekładnie ślimakowe.

3.2. U k ł a d p r z e s u w u c i ą g ł e g o

Niektóre rejestratory magnetyczne zawierają dodatkowo mechanizm przesuwu ciągłego, wykorzystywany głównie do wytwarzania przerw międzyblokowych lub odczytywania zapisanych sygnałów w rejestratorach wyposażonych w układy odczytu. Można także wykorzystywać przesuw ciągły do zapisywania sygnałów przy pracy synchronicznej, jednak nie jest to typowy rodzaj pracy rejestratora magnetycznego.

Do przesuwu ciągłego służy odrębny wałek napędowy wraz z rolką dociskową. Wałek napędowy na ogół jest zakończeniem osi silnika asynchronicznego lub synchronicznego umożliwiającego przesuw taśmy z prędkością ca 30 cali/s.

3.3. Prowadzenie taśmy

W celu prawidłowego zapisania taśmy, a następnie odczytania jej w pamięci taśmowej konieczne jest zachowanie znormalizowanego położenia śladów magnetycznych, utrzymanie prostopadłości szczeliny głowicy do krawędzi taśmy oraz zabezpieczenie należytego przylegania taśmy do czoła głowicy.

Spełnienie powyższych wymagań jest możliwe przy starannym wykonaniu elementów prowadzących taśmę i zapewnieniu stabilności całego układu przesuwu taśmy. Z powyższych względów w rejestratorach magnetycznych położenie taśmy ustalano jest na ogół przez kołki prowadzące, których kołnierze ograniczają ruch taśmy w kierunku prostopadłym do jej osi.

Stabilność układu przesuwu uzyskuje się przez jego budowę na sztywnej płycie metalowej.

3.4. Układ przewijania

Taśma w rejestratorze magnetycznym przewijana jest ze szpuli podającej na szpulę odbierającą, przy czym prędkość zwijania w czasie zapisu zależy od średniej prędkości rejestracji. Po zakończeniu zapisu taśmę przewija się na szpulę podającą tym razem możliwie szybko /np. 3 m/s/.

Napęd szpul uzyskiwany jest z silników asynchronicznych, o małej bezwładności i dużym momencie rozruchowym, przy czym każda szpula napędzana jest osobnym silnikiem. Celem uzyskania możliwie stałego naciągu taśmy, moment obrotowy każdego z silników regulowany jest w układzie ujemnego sprzężenia zwrotnego z wykorzystaniem sygnałów z czujników stanu taśmy. Dla zwiększenia skuteczności działania układu regulacyjnego stosowane są również serwomechanizmy sterujące pracą silników przewijających.

3.5. Układ elektryczny

Układ elektryczny rejestratora zawiera: wzmacniacze zapisu /niekiedy również wzmacniacze odczytu/, wzmacniacze sterujące pracą silników, układy do zdalnego sterowania rejestratorem, układy do wytwarzania przerw międzyblokowych, układy do wytwarzania bitów kontrolnych oraz zasilacz sieciowy.

Układy elektryczne montowane są zwykle na płytkach z wykorzystaniem techniki obwodów drukowanych. Przez stosowanie odpowiednich łączówek

uzyskuje się łatwą wymianę poszczególnych płytek z układami elektrycznymi.

3.6. S t e r o w a n i e

Sterowanie pracą rejestratora magnetycznego polega na ustawieniu odpowiedniego rodzaju pracy: zapis, przewijanie, przerwa itp. przy pomocy właściwego przycisku /klawisza/ lub odpowiedniego w razie sterowania zdalnego.

3.7. N o ś n i k

W rejestratorach stosowana jest przeważnie taśma magnetyczna o szerokości 1/2 cala, umieszczona na znormalizowanych szpulach o średnicy najczęściej 10,5 cala. Taśma ma grubość 52 µm lub 35 µm i jest wykonywana na podłożu z acetatów celulozy, polichlorku winylu lub poliestru /np. Mylar du Pont'a/.

Taśma o szerokości 1/4 cala stosowana jest w małych rejestratorach i umieszczona bywa na szpulach w łatwo wymiennych specjalnych kasetach.

4. Zasadnicze parametry techniczne

Poniższe zestawienie podaje wartości zasadniczych parametrów technicznych oraz cen współczesnych rejestratorów magnetycznych:

Parametr	Wartości graniczne		Wartości parametrów najczęściej spotykane
	min	max	
Metoda zapisu	NRZ1	NRZ1	NRZ1
Gęstość zapisu /bitów/cal/	200	800	200
Maksymalna prędkość zapisu /znaków/s/	50	650	300
Ilość ścieżek	7	9	7 lub 9
Średnica szpul /cali/	5,5	10,5	10,5
Długość taśmy /m/	40	1100	750
Cena /$/	1200	10000	średnio 4000

5. Zastosowanie

Jak już wspomniano rejestratory magnetyczne przeznaczone są do przygotowania dla maszyn cyfrowych takich danych, których zapis w systemie pracy synchronicznej byłby utrudniony ze względu na zmienną lub nietypową częstotliwość występowania sygnałów.

Rejestratory magnetyczne znajdują zastosowanie i są nieodzowne we wszystkich dziedzinach, gdzie wymagana jest szybkość rejestracji danych rzędu do kilkuset znaków/s, a występowanie sygnałów jest aperiodyczne. Mogą one pracować w układach samodzielnych, w systemie transmisji danych, w punktach źródła informacji /np. w punktach sprzedaży, w punktach dokonywania tranzakcji bankowych jako rejestratory czasu, jako rejestratory w urządzeniach telemetrycznych, licznikach, zegarach, różnego rodzaju miernikach itp.

Rejestrator magnetyczny jest wygodnym i ekonomicznym urządzeniem, pozwalającym wielokrotnie wykorzystywać taśmę dla zapisu, a ponadto jest łatwy w obsłudze. Taśmy przygotowane w rejestratorze w sposób znormalizowany pozwalają na ekonomiczne wykorzystanie czasu maszyny, przy przetwarzaniu danych.

6. Porównanie zapisu na taśmie magnetycznej z dziurkowaną taśmą papierową

- Rejestratory magnetyczne umożliwiają osiągnięcie większych prędkości zapisu /rzędu 600 znaków na sekundę, podczas gdy najszybsze dziurkarki osiągają do 300 znaków na sekundę/.
- Stosowanie taśmy magnetycznej umożliwia uzyskanie dużo większej ilości informacji przy tej samej objętości nośnika z powodu większej gęstości zapisu oraz mniejszej grubości nośnika. Np. na szpuli taśmy rejestratora o średnicy 10,5 cala można zmieścić ca 9,6 miliona znaków, natomiast na szpuli taśmy papierowej tej wielkości można wydziurkować ca 120 tys. znaków.
- Koszt nośnika w przypadku rejestracji danych na taśmie magnetycznej jest mniejszy niż przy stosowaniu dziurkowanej taśmy papierowej dla takiej samej ilości znaków.
- Taśma w rejestratorze magnetycznym może być wykorzystywana do zapisu wielokrotnie.
- Taśma zapisana w rejestratorze magnetycznym /przy zachowaniu wymagań normalizacyjnych /może być użyta bez jakichkolwiek operacji w pamię-

ci taśmowej maszyny cyfrowej, natomiast dane z taśmy papierowej wymagają zaangażowania maszyny przy przepisywaniu informacji z taśmy papierowej do pamięci.

- Rejestratory pracują ciszej niż dziurkarki taśmy papierowej, przez co mniej przeszkadzają osobom znajdującym się w sąsiedztwie urządzeń zapisujących.
- Cena rejestratora magnetycznego o prędkości zapisu do 300 zn/s jest porównywalna z ceną dziurkarki taśmy papierowej o prędkości ponad 100 zn/s.
- Wadą systemu zapisu na taśmie magnetycznej jest trudność sprawdzenia danych, a ponadto niemożność wprowadzenia poprawek na taśmie.

7. Możliwość zastosowania rejestratorów magnetycznych w Polsce

Obserwując rozwój rejestratorów magnetycznych w krajach zachodnich, szczególnie w USA, gdzie produkuje się około 20 typów tych urządzeń, można przewidywać, że również w Polsce znajdą one szerokie zastosowanie.

Dla rozpowszechnienia rejestratorów do przygotowywania danych, niezbędne jest uruchomienie ich produkcji w kraju. Można przewidywać, że opracowanie konstrukcji i wdrożenie do produkcji polskiego rejestratora magnetycznego nie natrafi na większe trudności, mając na uwadze odpowiednie doświadczenia z pamięciami taśmowymi i magnetofonami.

W przyszłości można spodziewać się dalszego zagęszczenia zapisu na taśmie i niewielkiego wzrostu prędkości rejestracji. Postęp w zakresie rejestracji magnetycznych będzie związany z postępem w dziedzinie pamięci taśmowych, ponieważ parametry zapisu magnetycznego muszą odpowiadać parametrom takich pamięci.

Zwiększenie zakresu zastosowań rejestratorów magnetycznych nastąpi zapewne po opracowaniu urządzeń pozwalających na łatwe sprawdzenie danych zapisanych na taśmie magnetycznej i ich korekcji.

Literatura

[1] J.S. CRAVER: Incremental Magnetic Recorder. Datamation 11.1966.

[2] M. KOLER, P. SEIFERT: Nebenbereitung von Informationsträgern für EDV-Systeme - ein aktuelles Datenverfassung Problem. Rechentechnik, Datenverarbeitung, 5.1967.

[3] E. NOWAK, J. SZMYD: Pamięci zewnętrzne maszyn matematycznych. Biuletyn Informacyjny IMM Nowości Techniczne, 2/1967.

[4] Prospekty rejestratorów firm: KENNEDY COMPANY, AMPEX CORPORATION FACIT.

Mgr inż. JERZY EKNER
Pracownia Konstrukcji Precyzyjnych IMM

[621.315.68:621.316.541].002.54

O TECHNOLOGII ŁĄCZENIA PRZEWODÓW Z WYPROWADZENIAMI KONTAKTÓW ZŁĄCZ PRZEZ ZACISKANIE

1. Przyczyny opracowania technologii połączeń zaciskanych i jej porównanie z technologią połączeń lutowanych

Najbardziej znaną technologią łączenia przewodów z wyprowadzeniami kontaktów złącz jest lutowanie. Technologia lutowania jest jednak niedogodna, zwłaszcza przy złączach o małych odległościach między kontaktami, które pracują w trudnych warunkach mechanicznych i klimatycznych. Dlatego powinny one spełniać następujące wymagania:

- Wyprowadzenia kontaktów złącz w zasadzie wymagają takiego ukształtowania przewodu, żeby obciążenia mechaniczne były przenoszone przez materiał elementów łączonych, a nie przez materiał lutu.
- Połączenie lutowane wymaga zachowania odpowiedniej szczeliny między łączonymi elementami /zbyt duża szczelina między np. tulejką i przewodem umożliwia korozję międzykrystaliczną umieszczonego tam lutu, która niszczy połączenie w ciągu kilku miesięcy/.
- Podczas wykonywania połączenia lutowanego grot lutowniczy musi posiadać ściśle określoną temperaturę, ażeby nie dopuścić do przegrzania lutu, a także żeby nie uszkodzić obudowy złącza wykonanej z materiału dielektrycznego.

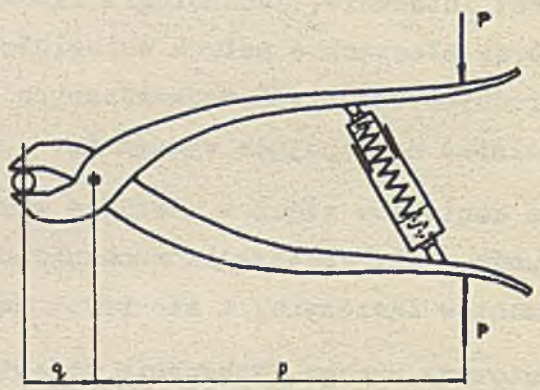
W związku z powyższym można stwierdzić następujące wady lutowania:

- konieczność zatrudniania pracowników o wysokich kwalifikacjach,
- powolna produkcja /jeden pracownik wykonuje około 200 połączeń podczas 1 godziny/,
- trudności związane ze stabilizacją temperatury grotu lutowniczego,

. różnica jakości wykonywanych połączeń,

. trudności związane z dostępem do pola lutowniczego i w związku z tym możliwość uszkodzenia materiału obudów.

Jak już powiedziano, przewód i wyprowadzenie kontaktów złącza muszą mieć kształty zapewniające przeniesienie obciążenia mechanicznego przez materiał elementów łączonych. Lutowanie ustala tylko zetknięcie elementów, zapewniając w ten sposób połączenie elektryczne. Z tego powodu myśl technologów skierowała się ku metodzie łączenia przez odkształcenie mechaniczne łączonych elementów, którą później nazwano technologią łączenia przez zaciskanie. Najogólniej określając połączenie zaciskane, można powiedzieć, że jest to połączenie przewodu /drutu, skrętki lub przewodu koncentrycznego/ z innym odpowiednio ukształtowanym przewodnikiem elektrycznym przez trwałe jego odkształcenie przy pomocy narzędzia,np. płaskich szczypiec /rys. 1/.



Rys. 1. Płaskie szczypce do wykonywania połączeń zaciskanych

2. Konstrukcja złącz z wyprowadzeniami kontaktów przystosowanymi do zaciskania przewodów

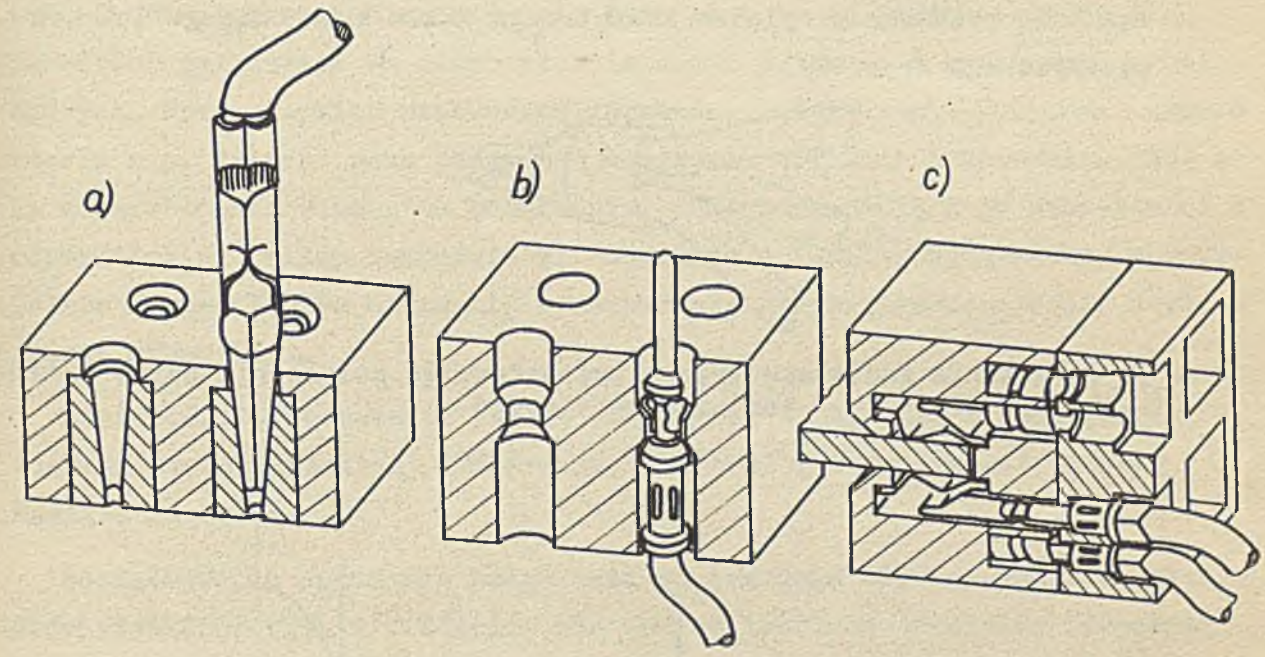
Technologia łączenia przez zaciskanie wymaga odpowiedniego ukształtowania wyprowadzeń kontaktów złącz. Ponadto, ponieważ narzędzie zaciskające posiada wymiary swych szczęk większe niż odstęp pomiędzy wyprowadzeniami kontaktów, opracowano takie konstrukcje złącz, w których można łatwo wyjmować kontakty z obudowy. Są to:

. Złącza ze stożkowymi otworami, w które wtyka się stożkowe zakończenie przewodu /rys. 2a/.

. Złącza /raczej pośrednie lub wieloszpilkowe/, w których zarówno

szpilki jak i tulejki utrzymywane są w obudowie przy pomocy sprężynek zatrzaskowych /rys. 2b/.

. Złącza krawędziowe, w które wtyka się od drugiej strony szpilki przewodów /rys. 2c/. Szpilki utrzymywane są po wetknięciu podobnie jak w poprzednim rozwiązaniu - przy pomocy sprężynek zatrzaskowych.



Rys. 2. Kontakty złącz wyjmowane z obudów, które są łączone z przewodami przez zaciskanie:

a. Stożkowe zakończenie przewodu wtykane w stożkowy otwór /kąt wierzchołkowy mniejszy od podwójnego kąta tarcia/, kształt połączenia zaciskanego typu "B"

b. Szpilka złącza pośredniego z baryłkowym zakończeniem do zaciskania /połączenie czterorowkowe/, utrzymywana w obudowie przez sprężynkę o kształcie trzech płatków tulipana

c. Szpilkowe zakończenie przewodów wtykanych w tylne gniazda złącza bezpośredniego /krawędziowego/

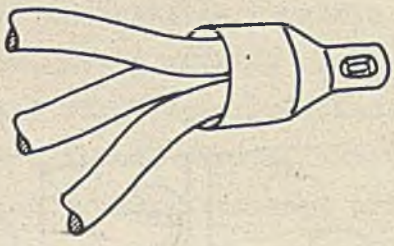
3. Rozwiązania konstrukcyjne innych elementów łączonych przez zaciskanie z przewodami[1]

Oprócz łączenia przewodów z wyprowadzeniami kontaktów złącz, technologia zaciskania może być stosowana m.in. w następujących głównych wypadkach:

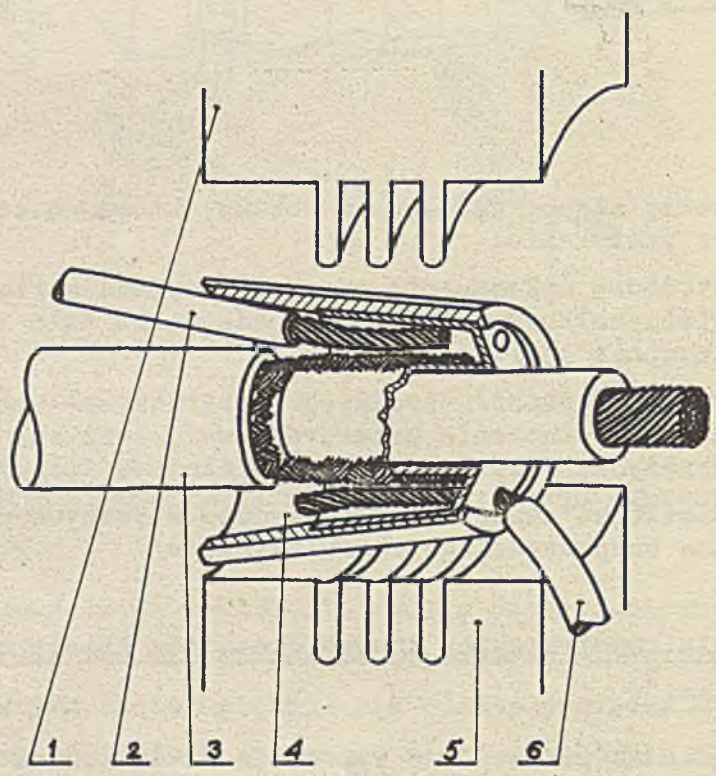
---

[1] Omówiono w pkt. 3 zastosowania technologii zaciskania spotykane zarówno przy złączach specjalnych /np. płaskich, wielokanałowych, koncentrycznych/ jak i przy wykonywaniu okablowania systemów modułów elektronicznych

- łączenie przewodu z zakończeniem w kształcie oczka, w które wchodzi wkręt mocujący /rys. 15/,
- łączenie przewodów koncentrycznych z elementami złącza koncentrycznego,
- łączenie ze sobą dwóch lub trzech przewodów /rys. 3/,
- łączenie przewodu z oplotem zewnętrznym kabla ekranowanego lub koncentrycznego /rys. 4/.



Rys. 3. Połączenie zaciskane trzech przewodów. Do połączenia użyto dodatkowego elementu - kapturka metalowego



Rys. 4. Połączenie oplotu zewnętrznego przewodu współosiowego z dwoma linkami. Do połączenia użyto dodatkowego elementu - dzwonu

We wszystkich w/w wypadkach oprócz pierwszego, do wykonania połączenia potrzebne są dodatkowe elementy konstrukcyjne /jak np. kubki metalowe/.

4. Narzędzia do zaciskania

Przy wykonywaniu połączenia zaciskanego należy zwracać uwagę, żeby wywołane odkształcenia elementów nie były zbyt duże. Bardzo istotne dla trwałości połączenia są odkształcenia drutu przewodu w kierunkach promieniowych. Przy cienkich przewodach /średnice mniejsze niż 0,64 mm/ często zdarza się, że drut pęka podczas wykonywania operacji zaciskania. Zbyt małe odkształcenia elementów połączenia - nie zapewniają jego szczelności i odporności na zmiany temperatury. Rozwiązanie idealne wymagałoby, aby wywołane odkształcenia drutu nie przekraczały granicy sprężystości. Jest to jednak niemożliwe.

Niezawodność połączenia zależy od jakości narzędzia. Z tego powodu większa część niniejszej informacji o technologii zaciskania dotyczy kwestii narzędzi.

Początkowo do wykonania połączenia zaciskanego używano prostych szczypiec płaskich /rys. 1/. Różniły się one od zwykłych szczypiec długością dźwigni czynnych i wzmocnioną konstrukcją szczęk. Narzędzie takie miało następujące zasadnicze wady:

- Jakość wykonywanego połączenia zależała od rzetelności pracownika, który musiał uważać, żeby podczas operacji zaciskania szczęki zajęły przewidziane skrajne położenie, co określało głębokość wykonywanych wtłoczeń.
- W wypadku, gdy szczęki wywierały nacisk na zaciśnięte już elementy połączenia, powstawały zbyt duże odkształcenia, co w przypadku cienkich drutów powodowało pęknięcie przewodu.
- Przełożenie dźwigni /współczynnik zwiększenia siły określony stosunkiem długości ramion - czynnego "p" i szczęki "q"/ było zbyt małe[1]. Ponadto przełożenie to było niepotrzebnie stałe, tzn. posiadało tę samą wartość na początku i na końcu operacji zaciskania.

[1] Dźwignia czynna "p" posiada długość nie większą niż 200 mm /dłuższe dźwignie są niewygodne/. Jeśli uwzględni się zbliżenie punktu przyłożenia siły do punktu obrotu dźwigni, jej rzeczywista długość wynosi około 150 mm. Długość ramienia działania szczęki "q" wynosi około 15 mm. Stąd przełożenia uzyskanego w wyżej opisanej konstrukcji .

W celu uniknięcia w/w trudności wymagania jakim musi odpowiadać dobre narzędzie podręczne są następujące:

- Konstrukcja narzędzia powinna umożliwiać łatwą jego obsługę. Zwłaszcza dla pracowników-kobiet wielkość potrzebnej siły nie powinna być większa niż 220 N, tzn. około 20 kG[1]. Ponadto wymiary zewnętrzne winny być przystosowane do rozpiętości dłoni kobiecej, całkowita długość nie większa niż 250 mm, ciężar mniejszy niż 1 kG/.
- Konstrukcja powinna zapewniać odpowiednie osadzenie w szczękach elementów łączonych, przed rozpoczęciem operacji zaciskania.
- Konstrukcja narzędzia powinna uniemożliwiać przerwanie operacji zaciskania i wyjęcia elementów łączonych, nim szczęki osiągną skrajne położenie.
- Jeżeli narzędzie przewidziane jest do zaciskania przewodów w elementach złącz nie wyjmowanych z obudów, to nie może ono spowodować odkształcenia tych elementów względem ich położenia w obudowie.
- Konstrukcja narzędzia nie powinna wymagać częstych regulacji i ustawień części.
- Narzędzie powinno być mocne i trwałe, zwłaszcza w węzłach, od których zależy powtarzalność wymiarów i jakości wykonywanych połączeń.
- Narzędzie powinno być w pewnym zakresie uniwersalne, tzn. jego konstrukcja powinna pozwalać na wykonywanie połączeń przewodów, o wymiarach zawartych w pewnym przedziale wartości.
- Nacisk wywierany przez szczęki narzędzia na elementy połączenia nie powinien być mniejszy niż 4440 N /około 450 kG/.

4.1. Rozwiązania konstrukcyjne narzędzi do zaciskania

Istnieje obecnie wiele odmian narzędzi do zaciskania. Wszystkie rozwiązania posiadają jednak pewne cechy wspólne. Spróbujemy ułożyć tabelę, w której poziomych rubrykach podano możliwe rozwiązania jednej cechy wspól-

[1] Dla mężczyzny przyjmuje się, że wywierana przez dłoń siła, przy wielokrotnie powtarzanym nacisku, wynosi 335 N /około 35 kG/.

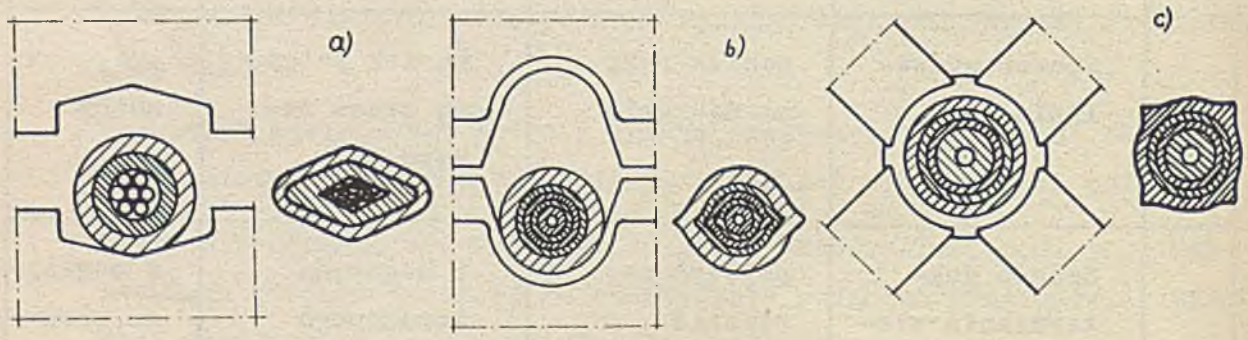
Tablica 1. Narzędzia do wykonywania połączeń zaciskanych

Lp.	Cechy wspólne	Możliwe rozwiązania konstrukcyjne		
		1	2	3
1	Kształt matrycy i stempla zaciskającego	rys. 5	rys. 6	rys. 7
2	Sposób wywierania nacisku na stempel	układ dźwigniowo-krzywkowy naciskany ręką	układ dźwigniowo-krzywkowy naciskany przez tłok siłownika pneumatycznego	
3	Sposób wyzwalania siły	nacisk ręki na dźwignię	nacisk palca na spust zaworu	przycisk nożny
4.	Sposób dostarczania elementów wykonywanego połączenia /kontaktu złącza/	pojedyncze, ręcznie	z magazynu tarczowego załadowanego taśmą z kontaktami złącza	z magazynu prostego

nej. W oparciu o tę tabelę można dokonać zestawienia istniejących i możliwych rozwiązań narzędzi. Każde rozwiązanie zamieszczone w tablicy jest określone przez parę cyfr: numer kolejny wiersza i numer kolumny. W ten sposób kombinacja par cyfrowych stanowi opis określonego narzędzia. Dla przykładu: opis narzędzia przedstawionego na rys. 1, na podstawie danych tablicy można oznaczyć jako następującą kombinację par cyfrowych: 12 21 31 41. Inny przykład: pół automatyczne urządzenie do zaciskania 1000 do 4000 połączeń w ciągu godziny, można opisać w następujący sposób: 13 22 33 42.

4.2. Kształty stempli i matryc narzędzi do zaciskania

Kształt zaciskanego połączenia jest zdeterminowany przez kształt stempla i matrycy. Najczęściej spotykane kształty opisywanych elementów narzędzia oraz przekroje realizowanych przez nie połączeń, pokazano na rys. 5, 6, 7. Są to połączenia najbardziej wskazane do wykonywania narzędziami o kształtach pokazanych obok.



Rys. 5. Kształty stempli i matryc używanych do zaciskania w połączeniach przewodów współosiowych. Z prawej strony schematycznego rysunku stempla i matrycy pokazano kształt przekroju uzyskanego połączenia zaciskanego:

a. Kształt symetryczny stosowany przy zaciskaniu przewodu w baryłce

b. Połączenie obwodowe używane przy łączeniu przewodu z oplotem zewnętrznym kabla ekranowanego /elementem dodatkowym jest np. dzwon jak na rys. 4/

c. Połączenie typu czterech wgnieceń stosowane do łączenia np. dzwonu z przewodem ekranowanym

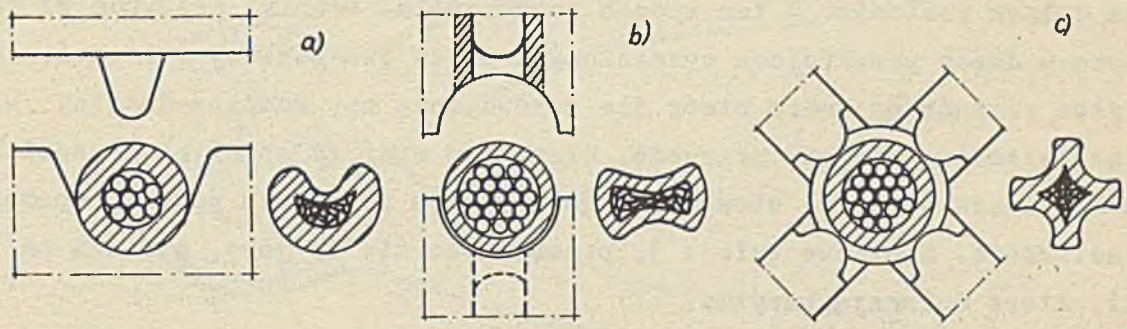
Wybór kształtu stempla i matrycy zależy od takich czynników jak:

. Rodzaj łączonych kontaktów złącz /lub innych elementów/, ich wymiary, kształt, materiały, spełniane funkcje i stawiane im wymagania specjalne,

. rodzaj i wymiary przewodu,

. rodzaj narzędzia, przy pomocy którego będzie wykonywane połączenie,

. koszt wykonania matrycy i stempla do zaciskania.

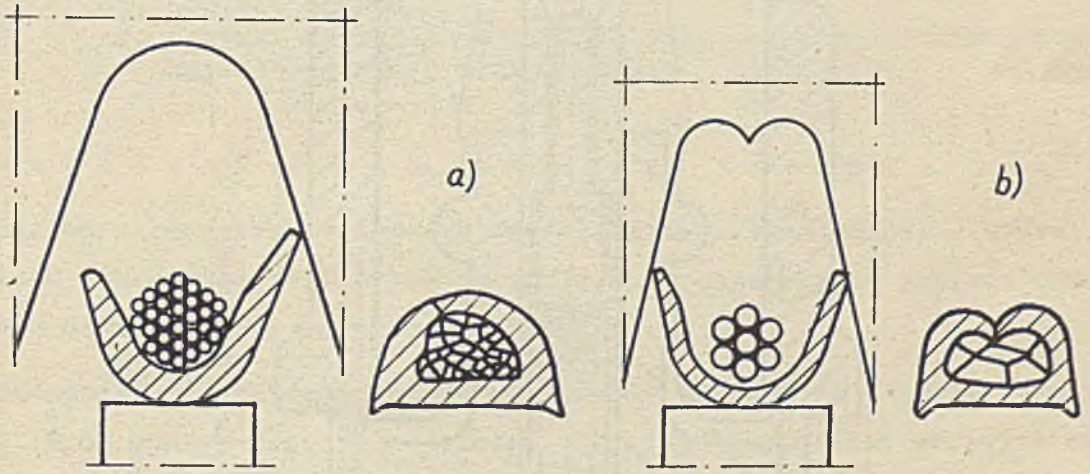


Rys. 6. Kształty stempli i matryc uzywanych do zaciskania linek w baryłkach stanowiących zakończenie kontaktów złącz:

a. Połączenie przy pomocy jednego wgniecenia /dołkowe/

b. Połączenie dwudołkowe

c. Połączenie czterorowkowe /na rys. 12 pokazano przekrój połączenia czterorowkowego powiększonego około 45^{x}, wykonanego przez [1]/



Rys. 7. Kształty stempli i matryc używanych do zaciskania linek w zakończeniach kontaktów złącz. Zakończenia kontaktów złącz mają kształt siodła

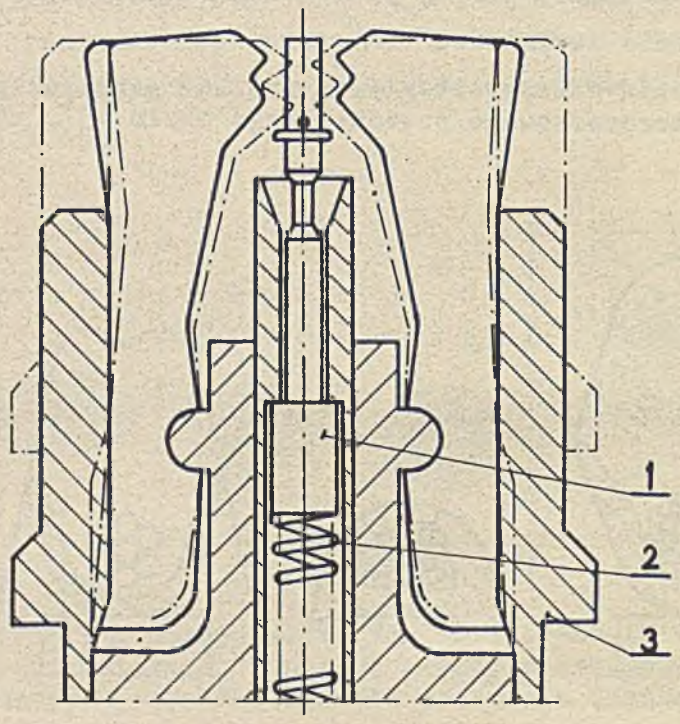
a. Połączenie "D"
b. Połączenie "B"

4.3. N a c i s k n a s t e m p l e

Jedno z rozwiązań mechanizmu realizującego nacisk na stemple jest pokazane na rys. 8. W opisywanym wypadku stemple wykonują osiem wgłębień

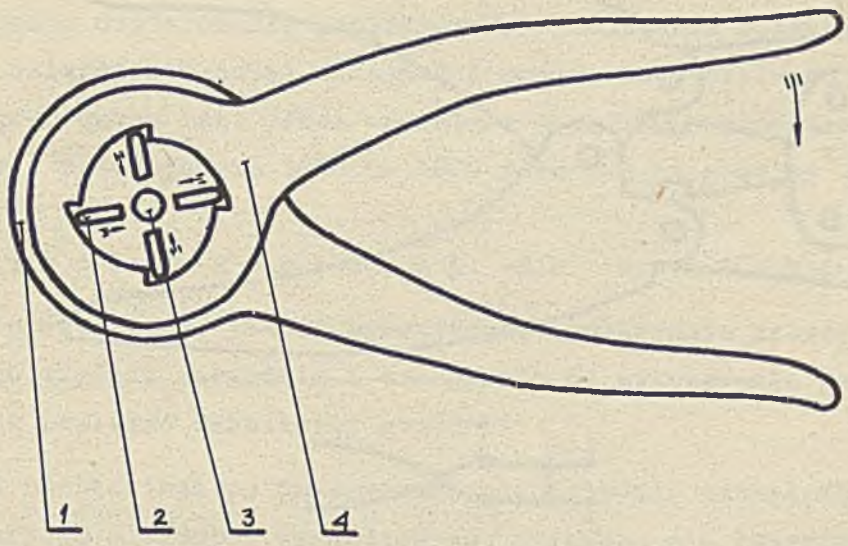
rowkowych równomiernie rozłożonych na powierzchni cylindrycznej baryłki kontaktu złącza. Wtłoczenia wykonane są na dwóch poziomach. Wtłoczenia na pierwszym górnym poziomie /ustawienie jak na rysunku/ są głębsze niż na dolnym poziomie. W ten sposób poszczególne druciki przewodu są trzymane w dwóch przekrojach wyznaczonych przez dwa poziomy wtłoczeń. Baryłka posiada na końcu otwór dla sprawdzenia czy została do niej włożona właściwa długość przewodu. Element 1 wraz ze sprężyną 2 unosi kontakt złącza do góry, utrzymując go w stałym położeniu podczas operacji zaciskania. Stożkowa tuleja 3, przesuwając się do góry, naciska na szczęki, które ściskają baryłkę.

Inne rozwiązanie narzędzia do zaciskania pokazano na rys. 9, rys. 10 i 11.



Rys. 8. Mechanizm przy pomocy którego wykonywany jest nacisk na stemple - szczęki

1. Tłok podpierający kontakt
2. Sprężyna
3. Tuleja /krzywka przestrzenna/



Rys. 9. Krzywkowe narzędzie do wykonywania połączeń zaciskanych

1. Podstawa z którą są związane stemple 2 i kontakt 3
2. Stemple wykonujące wtłoczenia
3. Kontakt złącza
4. Krzywki naciskające stemple przy obrocie wokół osi pokrywającej się z osią kontaktu

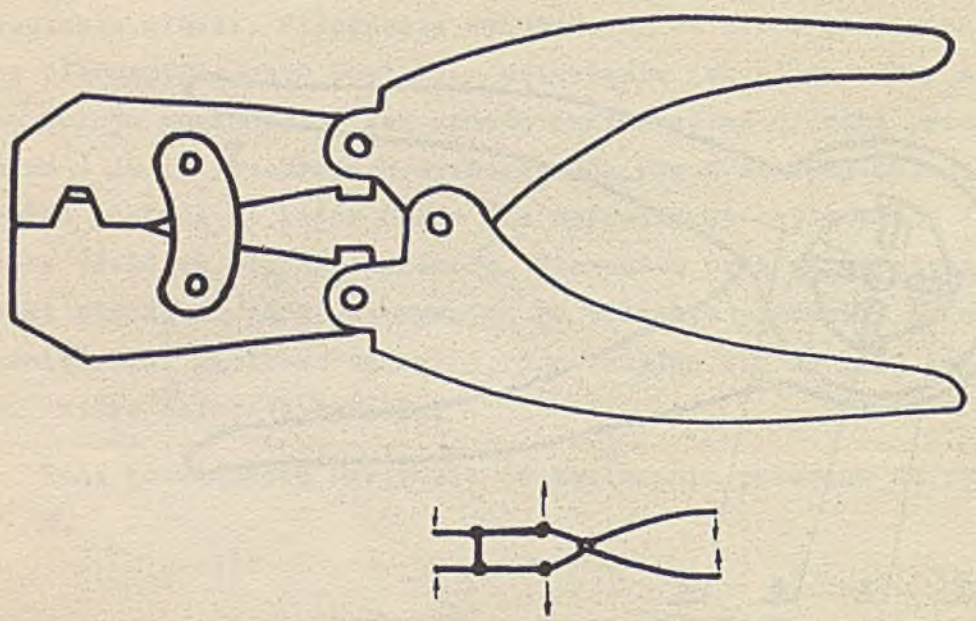
4.4. Wyzwalanie nacisku na stemple

W ręcznych narzędziach z napędem od siłownika pneumatycznego, wyzwalanie nacisku dokonywane jest przez naciśnięcie spustu. Spust poprzez układ dźwigniowy otwiera zawór sprężonego powietrza.

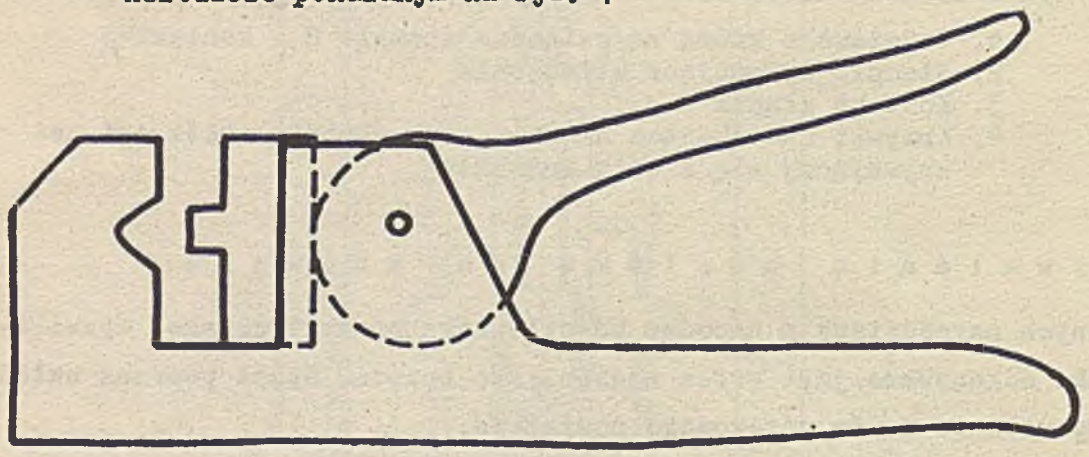
W urządzeniach półautomatycznych wyzwalanie nacisku na stemple dokonywane jest przy pomocy przycisku nożnego. Połączenie pomiędzy przyciskiem a dalszymi elementami urządzenia jest przeważnie elektryczne.

4.5. Dostarczanie do urządzenia elementów wykonywanego połączenia

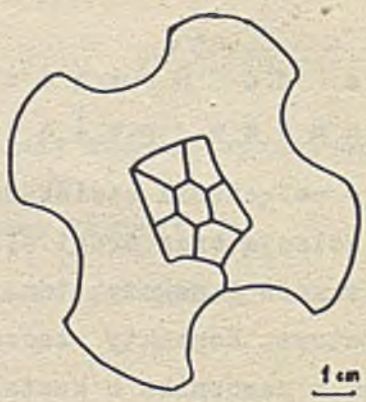
Do urządzenia wykonującego połączenia zaciskane należy dostarczyć przewód ze zdjętą na końcu izolacją oraz drugi element jak np. kontakt złącza. Przygotowane do zaciskania przewody, tzn. ze zdjętą izolacją, podawane są ręcznie przez operatora. Kontakty złącza, czy inne elementy, osadzone są w pasie zwiniętym w zasobniku o kształcie płaskiego cylindra. Idea rozwiązania zasobnika jest identyczna z rozwiązaniem magazynu tar-



Rys. 10. Narzędzie dwudźwigniowe do wykonywania połączeń zaciskanych o kształcie pokazanym na rys. 7



Rys. 11. Narzędzie do wykonywania połączeń zaciskanych o kształcie pokazanym na rys. 7. Konstrukcja oparta na działaniu krzywki mimośrodowej



Rys. 12. Przekrój połączenia zaciskanego czterorowkowego wg 1 /powiększenie około 45x/

czowego amunicji dla broni maszynowej. Tarczowe zasobniki kontaktów zawierają 1000 do 5000 sztuk elementów. Spotykane są też zasobniki proste o rozwiązaniu identycznym z magazynkami amunicji do pistoletu maszynowego.

Automatyczne dostarczanie kontaktów do wykonywania połączeń zaciskanych pozwala na osiągnięcie dużej wydajności pracy. Częstotliwość wykonywania połączeń ograniczona jest przez operatora urządzenia podającego odizolowane przewody i może wynosić 1000 do 4000 połączeń na godzinę[1].

4.6. K o n t r o l a n a r z ę d z i d o z a c i s k a n i a

Jak już powiedziano, jakość wykonywanego połączenia zależy od narzędzia. Z tego względu narzędzia i urządzenia do wykonywania połączeń zaciskanych muszą podlegać określonej kontroli.

W nowych narzędziach po przeprowadzeniu oględzin zewnętrznych, mających na celu wykrycie elementów uszkodzonych, sprawdza się ustawienie matrycy i stempla przy pomocy sprawdzianów: przechodniego i nieprzechodniego. Sprawdziany mają kształty wałków lub płytek. Inna metoda sprawdzenia nowego narzędzia polega na wykonaniu wytłoczeń na miękkim pręciku.

Następnym etapem kontroli nowego narzędzia jest przeprowadzenie prób zagniatania połączeń z drutami o najmniejszej i największej przewidzianej średnicy. Wykonane połączenia sprawdza się na zgodność z postawionymi im wymaganiami /np. specjalnymi/ ustalonymi przez odbiorcę. Jeżeli nie ma specjalnych wymagań zaleca się przeprowadzenie następujących badań z próbnymi połączeniami:

- oględzin zewnętrznych pozwalających sprawdzić prawidłowość umieszczenia przewodu /rys. 14 i głębokość odkształceń/,
- pomiaru wielkości niszczącej siły rozrywającej połączenie zaciskane,
- pomiaru oporności wykonanego połączenia,
- sprawdzenia izolacji w pobliżu miejsca zaciskania.

Dokładniejszy opis prób podano w pkt. 6.2.

Ponieważ zużywanie się matryc i stempli narzędzi powoduje zmianę głębokości wtłoczeń, a tym samym zmianę jakości połączenia /porównać rys. 16/,

---

[1] Dla porównania: wydajność przy wykonywaniu połączeń lutowanych 200 sztuk w ciągu godziny

konieczna jest okresowa kontrola narzędzi. Przeprowadza się ją przy pomocy dwu granicznych sprawdzianów wymiaru rozstawienia tłoczących elementów narzędzia.

5. Przygotowanie przewodów do operacji zaciskania

5.1. S t o s o w a n e r o d z a j e p r z e w o d ó w

Przy pomocy zaciskania można wykonywać połączenia wyprowadzeń kontaktów złącz i innych elementów opisanych w pkt. 3, z takimi przewodami jak:

- druty gołe /np. D-Ag/,
- druty i przewody teletechniczne schematowe w różnej izolacji /np. DSEJJI, TDY/,
- linki schematowe /np. LSJJ, TLY/,
- przewody montażowe ekranowane /np. TDGOek/,
- przewody współosiowe jedno i wielodrutowe /np. DW, LW/,
- sznury teletechniczne /np. SRG/.[1]

Z punktu widzenia doboru materiałów łączonych elementów, najkorzystniejsze własności sprężyste przy zagniataniu mają stopy: chrom-miedź, ołów-miedź, brąz krzemowy.

5.2. O b c i n a n i e p r z e w o d ó w i z d e j m o w a n i e z n i c h i z o l a c j i

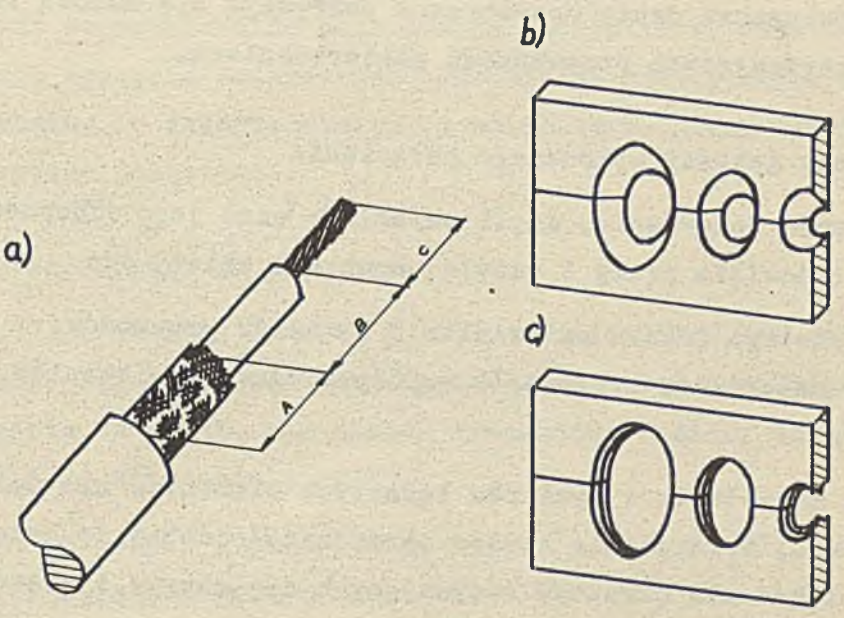
Istnieje wiele odmian ręcznych szczypiec do obcinania przewodów. Szczypce do obcinania powinny mieć ostre krawędzie tnące, przy czym kąt ostrza /tzn. kąt mierzony w przekroju prostopadłym do krawędzi tnącej/ powinien być możliwie jak najmniejszy. W przeciwnym wypadku zakończenie przewodu będzie spłaszczone i rozszerzone na boki, co utrudnia, a nawet uniemożliwia wkładanie przewodów do wyprowadzeń kontaktów złącz.

Do zdejmowania izolacji z końców przewodów służą szczypce o szczękach pokazanych na rys. 13b, 13c. W wypadku, gdy przewody są izolowane materiałem typu politetrafluoroetylu, profil szczęk powinien być zgodny z rys. 13b.

---

[1] Oznaczenia drutów podano wg [8].

Przy wykonywaniu większej liczby połączeń, opłacalne jest stosowanie specjalnych urządzeń automatycznych, które odwijają ze szpuli żądany odcinek przewodu, odcinają, oczyszczają na jednym lub obydwóch końcach z izolacji, odkładają do zasobnika i następnie powtarzają zaprogramowany cykl operacji. Nie zaleca się takich urządzeń do zdejmowania izolacji, w których stosuje się element grzejny przepalający izolację. Przy przepalaniu mogą ulec uszkodzeniu druty linki. Ponadto stopione cząsteczki izolacji oklejają cienką warstewką druty. Powiększa to bardzo oporność elektryczną między drutem a dotykającymi do niego elementami przewodzącymi.



Rys. 13a. Przewód współosiowy z prawidłowo oczyszczonym zakończeniem przygotowanym do operacji zaciskania
b. Szczęki narzędzia do zdejmowania izolacji z końców przewodów
c. Szczęki narzędzia do zdejmowania z przewodów izolacji wykonanej z materiału typu politetrafluoroetylu

Przy właściwym zdejmowaniu izolacji z końców przewodów powinny być spełnione następujące wymagania:

- Gołe druty, z których zbudowana jest linka nie mogą być nadcięte lub postrzępione. Przy właściwym doborze narzędzia zdejmującego izolację, tego typu uszkodzenie nie występuje.
- Izolacja powinna być równo odcięta. Niedopuszczalne są wystające nitki czy strzępy oplotu.
- Druty linki nie mogą być skręcone lub odgięte od swojego pierwotnego położenia. Ciaśniejsze skręcanie drutów może doprowadzić do ich

uszkodzenia /powyższy warunek ogranicza stosowanie narzędzi do zdejmowania izolacji przy pomocy elementów typu tarczy ściernej, szczotek itp./.

. Izolacja powinna być zdjęta tylko z końcówki o długości zalecanej przez producenta narzędzi do wykonywania połączeń zaciskanych. Urządzenia automatyczne, o których wyżej wspomniano, zdejmują izolację przy tolerancji długości $\pm$ 0,4 mm.

. Przewody z oczyszczonymi z izolacji końcami nie mogą być długo magazynowane. Przy długim okresie magazynowania, odkryte druty pokrywa kurz. Zwłaszcza druty posrebrzane pokrywają się matową warstwą tlenków pogarszających przewodność powierzchniową.

6. Sprawdzenie jakości wykonanego połączenia

Niezawodność połączenia, czyli określony czas jego odporności na wpływ czynników środowiska pracy i działających sił zależy od:

. odpowiedniego doboru materiałów i wymiarów przewodów,
. doboru materiałów i wymiarów współpracujących elementów,
. narzędzi.

Kontrola materiałów i wymiarów łączonych elementów nie wymaga szczególnego omówienia. Sprawdzanie nowego narzędzia /podobne do badań zdawczo-odbiorczych/ i badania okresowe zużywających się matryc i stempli, zostało opisane w pkt. 4.6. W niniejszym rozdziale zostaną omówione próby kwalifikacyjne /podobne do badań prototypów/ mające na celu sprawdzenie czy połączenia odpowiadają wymaganiom ustalonym między producentem i odbiorcą a także próby kontrolujące prawidłowość procesu technologicznego.

6.1. P r ó b y k w a l i f i k u j ą c e

Wykonane połączenia zaciskane powinny być poddane następującym próbom:

6.1.1. Badania odporności na korozję

Badanie przeprowadza się wystawiając połączenie na działanie słonej mgły /badanie K wg [5] /, wilgoci /badania C i D wg [5] / oraz przemysłowych gazów korodujących. Po przewidzianym okresie czasu dokonuje się pomiarów parametrów elektrycznych. Chodzi o sprawdzenie czy są one zgodne z ustaleniami producenta i odbiorcy.

6.1.2. Badanie odporności na wibrację /badanie Fb wg [5]/

Podczas i po wykonaniu próby sprawdza się spełnienie wymagań elektrycznych.

6.1.3. Badanie odporności na udary /badanie E wg [5] /

Po poddaniu połączenia działaniu przepisanych udarów, kontroluje się parametry elektryczne tego połączenia.

6.1.4. Badanie odporności na zmiany temperatury /badanie N wg [5] /

Tego rodzaju próba powoduje zmniejszenie naprężeń w odkształconych elementach, co może doprowadzić do obluzowania zaciśnięcia. Jest to stosunkowo szybki sposób wykrycia nadmiernych odkształceń wywoływanych w trakcie procesu zaciskania. Po zakończonym cyklu zmian temperatury wykonuje się pomiary elektryczne połączenia.

6.1.5. Badanie odporności na zanurzenie

Przeprowadza się badanie Oa wg [5] /, w wodzie, benzynie /mieszance napędowej/, oleju itp. Odporność zależy od szczelności zaciśnięcia połączenia i dolegania do siebie wszystkich elementów. Pomiary elektryczne przeprowadza się po zakończeniu próby.

Oprócz badań opisanych w pkt. 6.1.1; 6.1.2; 6.1.3; 6.1.4; 6.1.5 w ramach prób kwalifikujących przeprowadza się:

- pomiar siły rozciągającej, niszczącej połączenie,
- pomiar oporności połączenia,
- pomiar mechanicznego odkształcenia połączenia,
- pomiar wytrzymałości izolacji w pobliżu połączenia.

Wymienione badania stanowią jednocześnie zespół prób przy pomocy których kontroluje się prawidłowość procesu technologicznego.

6.2. P r ó b y k o n t r o l u j ą c e p r a w i d ł o w o ś ć p r o c e s u t e c h n o l o g i c z n e g o

6.2.1. Pomiar siły rozciągającej niszczącej połączenie

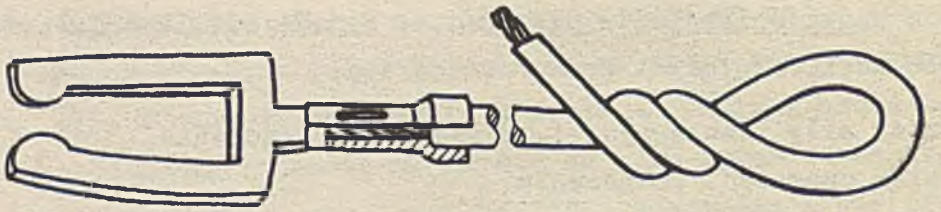
Pomiar przeprowadza się na maszynie realizującej rozciąganie przewodu i połączonego z nim elementu przewodzącego /np. zakończenia z oczkiem/.

W czasie przeprowadzania próby może nastąpić:

- ześlizgnięcie się elementu przewodzącego /np. zakończenia z oczkiem/ z przewodu,
- poślizg niektórych drutów linki przewodu i pęknięcie pozostałych drutów,
- pęknięcie przewodu przy połączeniu,
- pęknięcie przewodu w punkcie poza połączeniem.

Wszystkie te uszkodzenia mogą zaciemniać wyniki próby, które powinny być miarą siły niszczącej połączenie zaciskane, a nie miarą sił niszczących jeden z elementów połączenia posiadających wady ukryte.

W większości wymagań określa się, że szczęki maszyny rozciągającej powinny poruszać się z prędkością 25 - 50 mm/min, tak aby pełne obciążenie nie było przyłożone w sposób nagły. Równie istotnym dla miarodajności próby jest zagadnienie uchwycenia przewodu w szczęki maszyny. Przy izolacji wykonanej ze śliskiego tworzywa konieczne jest skręcenie na końcu pętli o długości 50 - 75 mm /rys. 14/. W ten sposób przygotowana pętla chwytana jest przez szczęki maszyny bez wywoływania spiętrzenia w drutach linki.



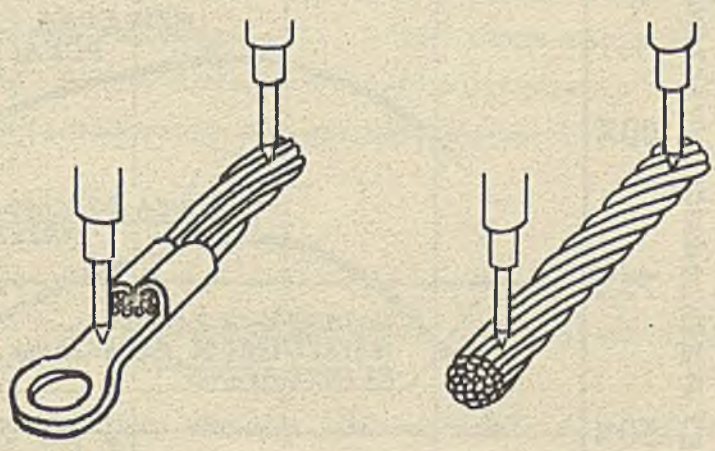
Rys. 14. Połączenie przewodu z kontaktem złącza przygotowanym do próby rozciągania. Rysunek częściowego przekroju zakończenia kontaktu pokazuje prawidłowe ułożenie przewodu w tulejce

Wielkość siły jaką powinno wytrzymać połączenie jest określona w wymaganiach odbiorcy. Jeżeli takich nie ma to przyjmuje się, że powinna ona wynosić 75% średniej siły zrywającej drut lub linkę użytą do budowy przewodu.

6.2.2. Pomiar oporności połączenia zaciskanego

Pomiar oporności połączenia wykonuje się jako pomiar spadku napięcia wzdłuż przewodników jak pokazano na rys. 15. Oporność połączenia jest

często porównywana z opornością przewodu o tej samej długości co połączenie /rys. 15/. Stąd też w wielu wymaganiach technicznych podawane są wielkości współczynników "k" oporności połączenia względem oporności przewodu mierzonej jak na rys. 15.



Rys. 15. Rozstawienie ostrz przy pomiarze oporności wzdłuż przewodu i oporności połączenia, potrzebnych do wyliczenia współczynnika "k"

$$k = \frac{\text{oporność połączenia}}{\text{oporność przewodu}}$$

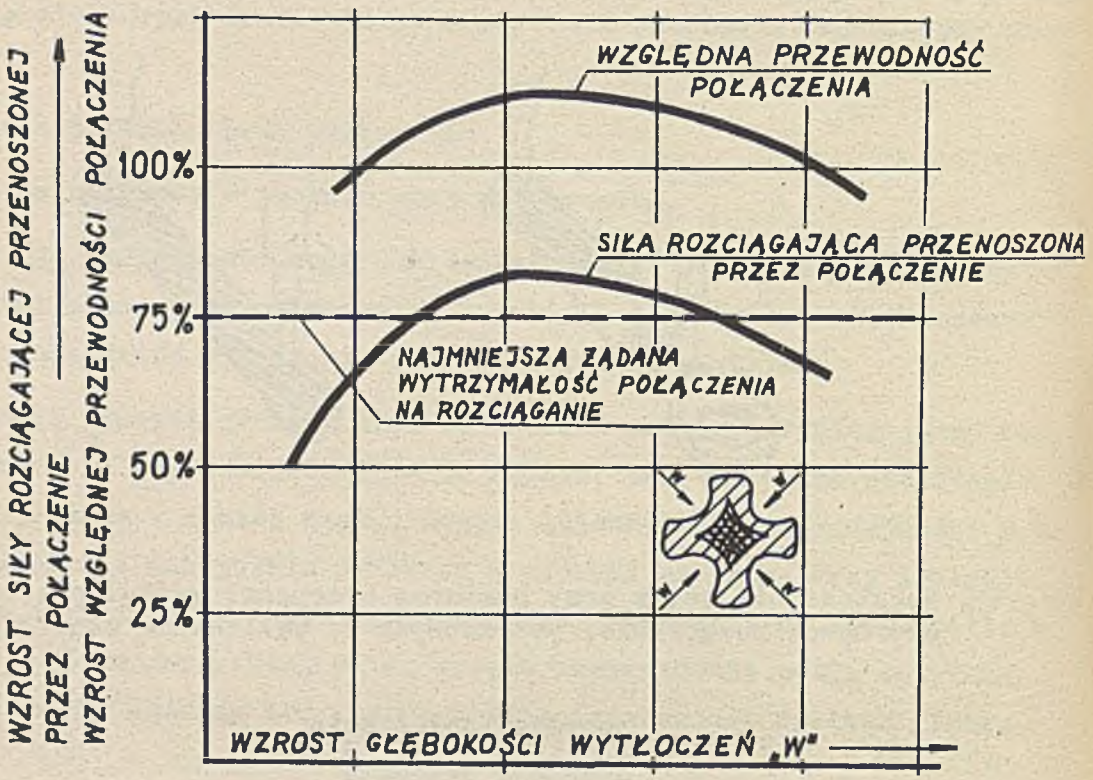
6.2.3. Zależność pomiędzy dopuszczalną siłą wzdłużną przenoszoną przez połączenie a jego opornością

Zależność wymieniona w tytule jest ściśle określona przy zachowaniu następujących warunków:

- Element łączony z przewodem musi posiadać dostatecznie duży przekrój i powinien być wykonany z materiału o równie dobrej przewodności elektrycznej co przewód.
- Powierzchnie elementu łączonego i przewodu muszą być czyste, wolne od nieprzewodzących warstewek tlenków, siarczków itp.

Wykres omawianej zależności przedstawiony jest na rys. 16. Jak widać z wykresu, mocne zaciśnięcie połączenia pozwala na przeniesienie dużej siły wzdłużnej i charakteryzuje się małą opornością elektryczną połączenia. Jeśli wtłoczenia są zbyt płytkie, elementy połączenia nie są zbyt mocno dociskane do siebie. Stąd też przenoszona przez połączenie siła jest mała, a jego oporność duża. Jeżeli jednak wykonane wtłoczenia będą zbyt duże, nastą-

pi pęknięcie poszczególnych drucików linki. Z tego powodu przenoszona przez połączenie siła zmaleje, a zmniejszenie przekroju przewodu spowoduje wzrost oporności połączenia.



Rys. 16. Wykres zależności pomiędzy siłą przenoszoną przez złącze podczas rozciągania i głębokością rowków. Górna krzywa ilustruje zależność między względną przewodnością połączenia, a głębokością rowków

6.2.4. Pomiar odkształcenia kontaktu złącza podczas procesu zaciskania

Podczas wykonywania połączenia zaciskanego w wyprowadzeniu kontaktu złącza, może powstać jego odgięcie od położenia normalnego, niesymetryczne rozpłaszczenie itp. Ponieważ przy małej podziałce rozmieszczenia kontaktów w złączu, takie odkształcenie może uniemożliwić powtórne osadzenie kontaktów w korpusie złącza, konieczne jest ustalenie i pomiar wielkości odkształcenia.

Pomiar wykonuje się, umieszczając połączenie w dokładnym uchwycie obrotowym. Obracając połączenie względem końcówki czujnika zegarowego wykrywa się jego odkształcenie.

6.2.5. Wytrzymałość izolacji

Podczas procesu zaciskania może nastąpić uszkodzenie izolacji w pobliżu połączenia /pęknięcie, ścienienie/. Z tego względu, jeśli istnieją jakie wymagania, dokonuje się próby wytrzymałości izolacji. Połączenie zanurza się w wodnym roztworze soli. W tym samym naczyniu zanurzona jest druga elektroda. Po przyłożeniu pomiędzy połączenie a elektrodę napięcia od 600 do 3000 V, obserwuje się zmiany prądu.

Literatura

[1] Amphenol - Tuchel Electronics GmbH; ASR - Steckverbinder für gedruckte Schaltungen /katalog/.

[2] Burndy Corporation, Norwalk, Connecticut: Catalog PC-1.

[3] JAMES D. ANDERSON, Burndy Corporation, Norwalk, Connecticut: Crimping Manual for the Electronic Industry.

[4] Willow Grove, Elco Corporation: Elco "Varilok" Contact Hand Crimping Plier.

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

[6] Varelco Ltd., Newmarket, Suffolk: Connectors /katalog/.

[7] Winchester Electronics, Division of Litton Industries: Handbook of Standard Connectors.

[8] Zjednoczenie Przemysłu Kabli i Sprzętu Elektrotechnicznego Warszawa, Przewody Teletechniczne, Katalog 11-K, Biuro Wydawnictw Stowarzyszenia Elektryków Polskich, Warszawa 1961 r.

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 prenumeratę wyłącznie za pośrednictwem Oddziałów i Delegatur "Ruch".

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

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