

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



P. 3057 / 70

**ELEKTRONICZNA TECHNIKA OBLICZENIOWA**

**NOWOŚCI**

**3 - 4 / 1970**

**INSTYTUT MASZYN MATEMATYCZNYCH  
BRANŻOWY OŚRODEK INTE**







P. 3057/70

## ELEKTRONICZNA TECHNIKA OBLICZENIOWA

### NOWOŚCI

Rok IX

Nr 3-4

1970

### Spis treści

	str.
Mgr inż. Włodzimierz MARDAL: Budowa i zastosowanie bardzo małych maszyn cyfrowych /MINIKOMPUTERÓW/ .....	3
Władysław KLEPACZ: Nowa seria maszyn IBM 370 .....	15
Mgr Bartłomiej GŁOWACKI: Wielodostępność: sprzęt, oprogramowanie, koszt .....	29
Mgr inż. Jerzy EKNER: Szkielety cyfrowych urządzeń elektronicznych. Część II .....	41
Dr inż. Zygmunt SAWICKI: Bloki nośnika informacji na trawionych rdzeniach permalojowych .....	69
Mgr inż. Jan GROSZYŃSKI: Automatyczne wykonywanie matryc fotograficznych obwodów drukowanych .....	79
Mgr inż. Mirosław MIKA: O projektowaniu dwustronnych płytek drukowanych .....	87
Mgr inż. Mirosław MIKA: Wielowarstwowe płytki drukowane. Część I .....	113

Wydaje

INSTYTUT MASZYN MATEMATYCZNYCH

B r a n ż o w y   O ś r o d e k   I n f o r m a c j i  
T e c h n i c z n e j   i   E k o n o m i c z n e j

KOMITET REDAKCYJNY

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

Adres Redakcji: Warszawa, ul. Krzywickiego 34,  
tel. 21-84-41, wewn. 431 lub 28-37-29



Mgr inż. Włodzimierz MARDAL  
Instytut Maszyn Matematycznych

681.322-181.4

## BUDOWA I ZASTOSOWANIE BARDZO MAŁYCH MASZYN CYFROWYCH /MINIKOMPUTERÓW/

### 1. Wstęp

W ostatnich latach obserwuje się na rynku światowym dynamiczny rozwój produkcji i zastosowań bardzo małych maszyn cyfrowych, przy czym tempo tego rozwoju przewyższa tempo przyrostu produkcji i zastosowań maszyn większych. Obecnie znajduje się na rynku ponad 50 typów takich maszyn o łącznej sumie ponad 10.000 egzemplarzy. Są one stosowane zarówno w przedsiębiorstwach przemysłowych, jak i w ośrodkach naukowo-badawczych, biurach projektowych, szkolnictwie itd. Jakże są przyczyny tak szybkiego rozwoju minikomputerów?

Niewątpliwie zasadniczą rolę odegrały tu dwa czynniki:

- . Systematyczny spadek kosztów wytwarzania elementów i zespołów cyfrowych dzięki rosnącemu stopniowi automatyzacji, standaryzacji i unifikacji.
- . Konieczność coraz szerszego stosowania techniki cyfrowej w systemach kontroli i sterowania różnymi procesami /nie tylko przemysłowymi/ oraz w laboratoryjnych i przemysłowych urządzeniach pomiarowych i testujących.

Obydwa te czynniki złożyły się na rozszerzenie zakresu opłacalnego stosowania urządzeń cyfrowych o programie pamiętanym na tego rodzaju problemy, w których ilość informacji jak i stopień złożoności algorytmów jej przetwarzania są stosunkowo niewielkie, a które dotychczas były rozwiązywane za pomocą urządzeń specjalnych o programie działania "wbudowanym" w ich strukturę logiczną.



Zastąpienie urządzeń wyspecjalizowanych maszynami cyfrowymi może być uzasadnione tylko wtedy, gdy ceny tych maszyn będą odpowiednio niskie. Minikomputery zorientowane na takie zastosowania charakteryzują się cenami rzędu 10 000 - 20 000 dol., co uzyskuje się dzięki znacznemu uproszczeniu ich budowy wewnętrznej w stosunku do najmniejszych modeli rodzin maszyn przeznaczonych do przetwarzania danych i obliczeń naukowo-technicznych.

Należy stwierdzić, że pojawienie się na rynku maszyn cyfrowych o tak niskich cenach stworzyło również możliwości ich zastosowania w innych dziedzinach np. w szkolnictwie.

## 2. Zastosowania minikomputerów

Wśród zastosowań minikomputerów dominują niewątpliwie te zastosowania, w których maszyna cyfrowa stanowi jednostkę przetwarzania informacji uzyskiwanych z różnych przyrządów kontroli i pomiaru parametrów /zmiennych/ charakteryzujących kontrolowany proces, obiekt lub urządzenie na informacje wyprowadzane jako sygnały sterujące procesem. Przez proces lub obiekt należy tu rozumieć również urządzenie poddawane testowaniu lub kontrolowany zestaw urządzeń eksperymentu laboratoryjnego. Jako przykłady takich zastosowań można wymienić:

- . obróbkę i rejestrację parametrów procesu przemysłowego oraz wykrywanie i sygnalizowanie stanów alarmowych procesu,
- . obróbkę i zobrazowanie wyników pomiarów w spektroskopii, chromatografii, fizyce jądrowej itp.
- . określanie położenia statków morskich i obiektów powietrznych /urządzenia pokładowe/.

Do tej grupy zastosowań można również zaliczyć wykorzystanie minikomputerów np. w medycynie i szpitalnictwie jako wyposażenie laboratoriów badań diagnostycznych. Wymienione zastosowania, choć obejmują większość minikomputerów, nie dotyczą ich wszystkich. Minikomputery stosuje się również jako kalkulatory do przetwarzania danych, jako jednostki sterujące urządzeniami i pamięci zewnętrznymi /m.in. monitorów ekranowych/ lub jako koncentratory danych przesyłanych liniami transmisji. Warto



również zwrócić uwagę na szereg zastosowań minikomputerów do prostych obliczeń w trybie konwersacyjnym w biurach konstrukcyjnych i projektowych oraz w ośrodkach dydaktycznych.

Z tego pobieżnego przeglądu zastosowań widać, że w najczęstszych przypadkach minikomputery są wykorzystywane do przetwarzania ciągłego lub sporadycznego na niewielkiej liczbie programów. Te specyficzne cechy podstawowych zastosowań miały decydujący wpływ na rozwiązanie architektury i sposobu oprogramowania minikomputerów.

### 3. Podstawowe charakterystyki minikomputerów

Podane wyżej specyficzne własności zastosowań spowodowały, że w rozwiązaniach strukturalnych jednostki centralnej wprowadza się daleko idące uproszczenia, które w istotny sposób obniżają jej koszt w stosunku do innych typów maszyn. Wiele własności, które w typowych maszynach cyfrowych uważa się za niezbędne, w minikomputerach często realizuje się opcjonalnie. Do własności tego rodzaju należą np.: układowe operacje mnożenia i dzielenia stałoprzecinkowego, kontrola parzystości, kanały szybkiego przesyłania danych do/z pamięci operacyjnej, protekcja pamięci itp.

Nie sposób w krótkim artykule dokonać kompletnej analizy struktury minikomputerów, ponieważ mamy tu do czynienia z wielką liczbą różnych, trudno porównywalnych wariantów. Toteż ograniczymy się tylko do omówienia niektórych cech tych maszyn.

#### 3.1. A d r e s o w a n i e   p a m i ę c i   o p e r a c y j n e j

Jedną z podstawowych charakterystyk maszyn stanowi niewątpliwie długość słowa. Otóż w minikomputerach stosuje się z reguły słowa krótkie, najczęściej 16-bitowe a nawet 8-bitowe, co powoduje istotne komplikacje w systemie adresowania pamięci. Polegają one na tym, że w tak krótkim słowie wydzielona część adresowa jest zbyt krótka, aby móc bezpośrednio adresować dostateczny obszar pamięci operacyjnej. Zwykle obszar bezpośrednio adresowany nie przekracza 1024 słów w przypadku rozkazów jednosłowych, a często ma wielkość 512 lub 256 słów.



Jednym z rozwiązań tego problemu jest stosowanie rozkazów dwusłowych. Jest to jednak kosztowne, ponieważ na każdy rozkaz odnoszący się do pamięci musimy zużyć dwa słowa w pamięci operacyjnej, co wydłuża wydanie zarówno programu oprogramowania podstawowego jak i wszystkie programy użytkowe. Innym rozwiązaniem tańszym w sensie sprzętu, lecz komplikującym programowanie jest stosowanie "stronicowania" pamięci. Wyróżnia się tu zasadniczo dwa sposoby: stronicowanie o stałych granicach stron oraz stronicowanie oparte na zasadzie "plywającej" strony. Pierwszy sposób polega na tym, że część adresowa rozkazu oznacza adres w ramach strony, której początek jest ściśle określony. W drugim przypadku część adresowa jest interpretowana jako adres względem bieżącego stanu licznika rozkazów, przy czym stan ten jest traktowany jako adres środka strony.

Rozwiązania takie, oszczędne pod względem sprzętowym, pozwalają adresować bezpośrednio pamięci operacyjne stosunkowo dużych rozmiarów, lecz utrudniają w pewnym stopniu prace programowe. Jest to istotny czynnik, który powinien być brany pod uwagę przy wyborze maszyny do konkretnego zastosowania.

### 3.2. L i s t a   r o z k a z ó w ,   m i k r o p r o g r a m o w a n i e

Konieczność minimalizacji kosztów jednostki centralnej wpływa w znacznym stopniu na rozwiązanie listy rozkazów minikomputera w sensie jej znacznego uproszczenia. Ogólnie można powiedzieć, że "moc" rozkazów przeciętnego minikomputera jest niższa, niż to ma miejsce w typowych maszynach cyfrowych. Oznacza to, że rozmiary programu minikomputera dla realizacji określonego algorytmu są z reguły większe niż dla analogicznego programu maszyn większych, a więc zajmują większy obszar pamięci operacyjnej. Ponadto, jak powiedziano wyżej, wśród rozkazów realizowanych układowo w rozwiązaniu standardowym często brak jest rozkazów mnożenia i dzielenia stałooprzecinkowego.

W typowych zastosowaniach minikomputerów zarówno mała "moc" rozkazów jak i ograniczoność ich zbioru są do przyjęcia tym bardziej, że zbiór ten może być zorientowany na konkretne algorytmy, które maszyna ma realizować w danym zastosowaniu. Z tego chyba wynika tak duża liczba typów produkowanych minikomputerów.



Tym należy również tłumaczyć powszechne stosowanie zasady sterowania mikroprogramowego, która pozwala łatwo zmienić własności użytkowe minikomputera za pomocą wymiany mikroprogramów lub dołączenia operacji opcjonalnych, a także umożliwia, do pewnego stopnia, zmianę struktury. Zasada mikroprogramowanego sterowania opiera się oczywiście na wykorzystaniu pamięci stałej /ROM - read-only memory/, w której są "zaszyte" mikroprogramy realizujące poszczególne rozkazy maszyny.

Zastosowanie pamięci stałej w minikomputerach uległo istotnemu rozszerzeniu w stosunku do jej typowej roli w innych maszynach. Szczególnie w automatyce i systemach pomiarowych, gdzie minikomputer pracuje najczęściej w sposób stałoprogramowy, wykorzystuje się pamięć stałą jako pamięć programu użytkowego. Po uprzednim opracowaniu i dokładnym sprawdzeniu programu w normalnej pamięci operacyjnej jest on realizowany przez producenta w formie odpowiedniego bloku pamięci stałej. Rozwiązanie takie wpływa na uproszczenie obsługi minikomputera, a także podnosi szybkość maszyny dzięki krótszemu cyklowi pamięci stałej.

### 3.3. U r z ą d z e n i a   z e w n ę t r z n e

Podstawowe zastosowania minikomputerów wymagają łączenia maszyny z różnymi urządzeniami pomiarowymi i sterującymi za pośrednictwem modułów przełączania i przetwarzania analogowo-cyfrowego i cyfrowo-analogowego lub też z urządzeniami wytwarzającymi informacje o charakterze cyfrowym, impulsowym itp. Natomiast w ograniczonym zakresie stosuje się konwencjonalne urządzenia wprowadzania i wyprowadzania informacji na taśmy lub karty papierowe oraz pamięci zewnętrzne - taśmowe, bębnowe i dyskowe. Za minimalny zestaw użytkowy uważa się jednostkę centralną z dalekopisem wyposażonym w wolne urządzenie do czytania i dziurkowania taśmy papierowej.

Stosowanie urządzeń kartowych lub innych urządzeń zewnętrznych zależy oczywiście od specyfiki zastosowania, należy jednak podkreślić, że rozbudowa zestawu tych urządzeń pociąga za sobą tak znaczny wzrost kosztów, że wielokrotnie przekraczają one cenę zestawu podstawowego. Bliższe dane dotyczące kosztów podano w p. 4.



W standardowym rozwiązaniu komunikacja procesora z urządzeniami zewnętrznymi jest oparta na zasadzie programowanego przesyłania danych z lub do urządzenia za pośrednictwem odpowiednich rejestrów uniwersalnych procesora z wykorzystaniem systemu przerwań, przy czym zarówno realizacja układowa "interface" jak i zbiór rozkazów komunikacji z urządzeniami są maksymalnie uproszczone. Pociąga to za sobą określone trudności w dziedzinie oprogramowania. Niektóre minikomputery posiadają możliwości przesyłania informacji do lub z pamięci operacyjnej za pośrednictwem kanału bezpośredniego dostępu /DMA - direct memory access/ bez angażowania procesora w trakcie transmisji. Wyposażenie maszyny w taki kanał zwiększa jednak w istotnym stopniu jej koszt.

### 3.4. K o n s t r u k c j a

Spotykane w literaturze informacje o konstrukcyjnych rozwiązaniach minikomputerów są dość ubogie, szczególnie jeśli chodzi o konstrukcje wewnętrzne.

Niemniej trzeba stwierdzić, że:

- dąży się do wysokiego stopnia upakowania elementów i układów nawet kosztem stosowania dużych wymiarów pakietów i nietypowych rozwiązań montażu,
- nadaje się zewnętrznej konstrukcji taki kształt, który umożliwia wbudowywanie minikomputera w urządzenia elektroniczne o konstrukcji stojakowej,
- stosuje się jako elementy podstawowe układy scalone SSI i MSI.

Należy zwrócić uwagę również na tendencję do uproszczenia obsługi technicznej minikomputera.

### 3.5. O p r o g r a m o w a n i e

Dążenie do minimalizacji kosztu najmniejszego użytecznego zestawu maszyny uzasadnia ograniczenie zakresu oprogramowania podstawowego, dostarczanego wszystkim odbiorcom, do niezbędnego minimum. Minimum to



obejmuje elementarny program wprowadzania i wyprowadzania danych na taśmę perforowaną /wraz z obsługą przerw/, translator języka symbolicznego oraz bibliotekę podstawowych programów matematycznych. Inne, oferowane przez wielu producentów i potrzebne do różnych zastosowań programy, jak np. translatory języka FORTRAN, języków konwersacyjnych lub program nadzorczo-wykonawczy do przetwarzania na bieżąco są lub będą w niedalekiej przyszłości dostarczane za oddzielną opłatą. Jest to zresztą korzystne dla wielu użytkowników, którym te elementy oprogramowania nie są niezbędnie potrzebne. Na skutek tego za podstawowe wyposażenie programowe minikomputera należy uznać translator języka symbolicznego /assembler/.

Wydajność prac programowych w języku symbolicznym przy daleko idących uproszczeniach architektury maszyny jest oczywiście niższa niż w językach wyższego poziomu. Nie ma to jednak większego znaczenia jeśli wziąć pod uwagę, że w zastosowaniach specjalnych maszyny te pracują najczęściej na programach stałych lub rzadko modyfikowanych.

W przypadku prac obliczeniowych lub zastosowań specjalnych o szerszym zakresie programowania lub modyfikacji programów niezbędne jest stosowanie języków wyższego poziomu, konwencjonalnych lub konwersacyjnych. Dlatego też większość minikomputerów jest wyposażona w translatory tych języków, przy czym z języków konwencjonalnych dominuje FORTRAN /FORTRAN II, ASA Basic Fortran i FORTRAN IV/, a wśród języków konwersacyjnych - język BASIC.

Wykorzystanie tych języków wymaga jednak większych pamięci operacyjnych i, ewentualnie, pamięci zewnętrznej, co jak wiadomo znacznie podnosi koszt zestawu.

#### 4. Koszt minikomputera

Jak już stwierdzono wyżej, podstawową tendencją w opracowaniach nowych typów minikomputerów jest minimalizacja kosztów podstawowego zestawu maszyny. Pod takim podstawowym zestawem rozumiemy zestaw obejmujący jednostkę centralną z pamięcią operacyjną 4k lub 8k i dalekopis z wolnym wejściem i wyjściem na taśmę perforowaną. Cena takiego zestawu dla najczęściej stosowanych minikomputerów /patrz tablica/ waha się w



\* Tabela 1. Podstawowe charakterystyki wybranych bardzo małych maszyn cyfrowych /minikomputerów/ produkowanych w USA

Firma/typ	Digital Equip-ment Corp. PDP9	Digital Equip-ment Corp. PDP9/L	Digital Equip-ment Corp. PDP8/I	Digital Equip-ment Corp. PDP8/L	Hewlett Packard HP 2116B	Hewlett Packard 2115A	Hewlett Packard 2114A	Honeywell DDP 516	Honeywell DDP 416	Varian 620i	Varian 520 i	Data Gener-al Nova	Data Gener-al Super-nova	Inter-data Model 4	Systems Engineering Laboratories SEL 810A	System Engineering Labora-tories SEL 810B	Scien-tific Data Sys-tems Sigma 2
Charakterystyka	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Cykl pamięci opera-cyjnej /s/	1.0	1.5	1.5	1.6	1.6	2.0	2.0	0.96	0.96	1.8	1.5	2.6	0.8	0.98/ 1.5	1.75	0.75	0.9
Minimalna pojemność pamięci operacyjnej/rozmiar modułu /słów/	8k/8k	4k/4k	4k/4k	4k/4k	8k/8k	4k/4k	4k/4k	4k/4k	4k/4k	4k/4k	4k/4k	1k/2k, 4k	4k/4k	2k/2k, 4k	4k/4k	8k/3k	8k/4k
Maksymalna pojemność pamięci operacyjnej /słów/	32k	16k	32k	8k	32k	32k	8k	32k	16k	32k	32k	20k	16k	32k	32k	32k	64k
Słowo informacyjne /bitów/	18	18	12	12	16	16	16	16	16	16/18	8	16	16	16	16	16	16
Słowo rozkazowe /bitów/	18	18	12/24	12/24	16	16	16	16/32	16/32	16/32	8/16	16	16	16/32	16	16	16
Czas operacji dodawa-nia /μs/	2.0	3.0	3.0	3.2	3.2	4.0	4.0	1.92	1.92	3.6	4.5	5.9	0.8	3.2	3.5	1.5	2.2
Czas układowego mnoże-nia/dzielenia /μs/	3.0 - - 11.0 3.0 - - 12.0	4.5 - - 16.5 4.5 - - 18.0	-	-	19.2 20.8	24.0 26.0	-	5.28 10.0	-	10 10-14	-	-	max. 5.4 6.9	23 38	7 10.5	4.5 8.25	10.3 10.8
Czas programowego mno-żenia/dzielenia /μs/	max. 291 max. 352	max. 427 max. 523	360 460	360 460	150 310	187 387	187 387	154.6 220.8	154.6 220.8	200 200	? ?	330 424.8- 519.2	- -	900 1020	- -	- -	103 297
Translator języka sym-bolizacyjnego /1p-jedno-przebiegowy, 2p-dwu-przebiegowy/	2p	2p	1p,2p	1p,2p	2p	2p	2p	1p,2p	1p,2p	2p	2p	2p	2p	1p,2p	2p	2p	2p

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Translatory wyższych języków programowania	Fort-ran IV	Fort-ran IV	Fort-ran II Algol	Fort-ran II Algol	Algol, ASA Basic Fort-ran	Algol, ASA Basic Fort-ran	Algol, ASA Basic Fort-ran	Fort-ran IV	-	Fort-ran II	-	-	-	-	Fort-ran IV	Fort-ran IV	Fort-ran IV ASA Basic Fort-ran
Translatory języków konwersacyjnych	FOCAL	-	FOCAL BASIC	FOCAL BASIC	BASIC	BASIC	BASIC	Fort-ran IV BASIC	-	-	-	-	BASIC	Fort-ran	-	-	-
Program nadzorczy do przetwarzania na bie-żąco /T-tak, N-nie/	T	T	N	N	T	T	N	T	N	N	N	N	?	N	N	T	T
Koszt minimalnego ze-stawu /\$/ /CJP+4k+ASR33/ *	35000 /8k/	19900	12800	8500	26000 /8k/	16500	11950	25000	16900	13900	8900	9000	?	15700	18000	30000 /8k/	41000 /8k/
Koszt dołączenia do-datkowej pamięci ope-racyjnej 4k /\$/	-	6000	35000	3700	-	5000	4000	8000	8000	6400	2500	3285	?	6900	5000	-	?
Koszt dołączenia jed-nostki pamięci taśmo-wej /\$/	23000	23000	24700	24700	15500- 21500	15500- 21500	12500- 15000	23355- 35430	23355- 35430	?	9000	12000	?	9900	24000	24000	25000
Koszt dołączenia jed-nostki pamięci maso-wej	9750	9750	8700- 15700	8700- 15700	26500- 31500	26500- 31500	-	22300- 36000	22300- 36000	?	?	6500- 9250	?	17400	30000	30000	26000
Szybkość i cena szyb-kiego czytnika taśmy /zn/sek, \$/	300 a/	300 4800 b/	300 2000	300 2000	300 2100	300 2100	300 2100	300 3800	300 3800	300 ?	300 2900	300/150 2650/ 2150	?	300 2500	300 4000	300 4000	300 12000 b/
Szybkość i cena jed-nostki szybkiej dziur-karki /zn/sek, \$/	50 a/	50 4800 b/	50 2000	50 2000	120 4100	120 4100	120 4100	110 4500	110 4500	60/120 ?	60 3300	63.3 2200	?	60 3800	100 4000	100 4000	120 12000 b/
Data pierwszej insta-lacji	12.66	11.58	3.68	11.68	11.66	11.67	10.68	9.66	?	6.67	10.68	2.69	5.70	3.63	3.66	9.68	12.66
Liczba zainstalowanych maszyn	425	41	2157	2350	?	661	843	635	225	1200	110	503	9	154	216	76	95

a wliczone do ceny zestawu minimalnego  
b czytnik i dziurkarka - razem  
? brak danych  
- brak wyposażenia



granicach 8500 \$ - 35000 \$, przy czym w znacznym stopniu zależy ona od takich charakterystyk maszyny jak długość słowa, maksymalna pojemność pamięci operacyjnej oraz zakres funkcji układowych maszyny włączonych do standardowego rozwiązania. Chodzi tutaj o układowe operacje mnożenia, dzielenia, kontrolę parzystości, układ zabezpieczenia przed zanikiem sieci, kanał szybkiego przesyłania do/z pamięci operacyjnej i zegar czasu rzeczywistego.

Na przykład wyposażenie maszyny w przystawkę układowego mnożenia/dzielenia zwiększa jej koszt o 2500 - 4000 \$, a dołączenie kanału szybkiego przesyłania o 1000 - 3000 \$. W jeszcze większym stopniu rośnie koszt maszyny w przypadku dołączenia szybkich urządzeń we/wy na taśmę perforowaną lub pamięci zewnętrznych. Np. dołączenie czytnika i perforatora taśmy zwiększa cenę o 4000 - 12000 \$ a jednostki pamięci taśmowej - o 9000 - 35000 \$. Z tego wynika, że stosowanie minikomputerów jest ekonomicznie uzasadnione tylko tam, gdzie wystarcza zestaw maszyny niewiele odbiegający od minimalnego. Przy większych potrzebach w zakresie urządzeń we/wy i pamięci zewnętrznych, kiedy koszt jednostki centralnej stanowi 15-20% kosztu całości zestawu bardziej opłaca się stosowanie maszyn, być może nieco droższych, lecz o znacznie większej mocy obliczeniowej.

#### 5. Krótki przegląd produkcji minikomputerów w USA

W chwili obecnej produkuje się w USA ponad 50 typów maszyn, które można zaliczyć do kategorii minikomputerów. Biorąc za kryterium liczbę zainstalowanych maszyn należy stwierdzić, że dominują na rynku następujące firmy:

- . Digital Equipment Corp. /maszyny typu PDP i LINC/,
- . Hewlett Packard /maszyny typu HP/,
- . Honeywell /maszyny DDP/,
- . Varian Data Machines /Varian/,
- . Data General /Nova/.

Parametry maszyn produkowanych przez te firmy oraz innych częściej stosowanych, zestawiono w załączonej tablicy. Najbardziej rozpowszech-



nionymi w zastosowaniach są maszyny typów: PDP8/L, PDP8/I, Varian 620 i, HP2114, HP2115A, DDP516, Nova i PDP9.

Jest rzeczą ciekawą, że na rynku minikomputerów dominują firmy małe, które, poza firmą Honeywell, nie produkują maszyn innych kategorii. Nie oznacza to z pewnością jakiegoś przeoczenia szansy zysku przez firmy duże jak IBM lub General Electric, Univac, RCA i inne, lecz jest wynikiem świadomej polityki ekonomicznej. Obecne rozmiary zapotrzebowania na maszyny tej kategorii, przy niskich cenach minikomputerów nie mogą zapewnić w skali tych koncernów tak wysokich zysków, które by uzasadniały poniesienie pewnych, dość poważnych kosztów, dla uruchomienia produkcji zupełnie nowego wyrobu w stosunku do obecnie produkowanych maszyn cyfrowych. Można być jednak przekonany, że w stosownym momencie również i te firmy i to z odpowiednio dużym potencjałem wejdą na rynek minikomputerów i bez trudu zajmą czołowe miejsce.

#### 6. Tendencje rozwojowe

Dalszy rozwój minikomputerów należy rozpatrywać w oparciu o zrozumienie roli jaką maszyny tego rodzaju spełniają wśród całości sprzętu służącego przetwarzaniu informacji. Jak już zaznaczaliśmy, stanowią one rozszerzenie zastosowań maszyn programowanych w pamięci przeznaczone do prostszych problemów przetwarzania, często o charakterze specjalnym, i zastąpienie urządzeń wyspecjalizowanych stosowanych dotychczas do tych celów.

Niewątpliwie zapotrzebowanie na minikomputery będzie w najbliższych latach systematycznie wzrastać i to tym szybciej im szybsze będą postępy w dziedzinie miniaturyzacji procesorów oraz podnoszenia ich parametrów technicznych i walorów eksploatacyjnych. Równoczesny wzrost automatyzacji produkcji podzespołów i zespołów cyfrowych i, w konsekwencji, obniżenie kosztu minimalnego zestawu minikomputera uczyni opłacalnym zastosowanie tych maszyn w dalszych dziedzinach i w nowy sposób np. jako arytmometrów biurowych lub jako elementów układów automatyki a także przez wbudowywanie minikomputerów do przyrządów pomiarowych.

Wydaje się, że w porównaniu z kosztami i wymiarami procesora koszty i wymiary urządzeń oraz pamięci zewnętrznych będą malały znacznie wol-



niej, co spowoduje, że w coraz większym stopniu będzie się stawać nieopłacalnym stosowanie tych urządzeń we współpracy z minikomputerami.

Prognoza ta może okazać się nieprawdziwa jeśli zostaną opracowane jakościowo nowe rozwiązania urządzeń zewnętrznych lub jeśli uda się uzyskać znaczne obniżenie obecnych kosztów ekranowych urządzeń komunikacji typu alfaskopu lub grafoskopu.

Z obecnych tendencji rozwojowych w zakresie architektury warto odnotować dążenie do zapewnienia łatwej rozbudowy systemu, nie tylko w sensie zwiększenia pamięci operacyjnej, lecz także dołączania dalszych procesorów. Ma to szczególne znaczenie w systemach pomiarowych i systemach automatyki, gdzie wymiana procesora na inny o większej mocy obliczeniowej /szybkości/ może ze względów konstrukcyjnych lub ekonomicznych okazać się nie do przyjęcia.

Na zakres i rozmiary zastosowań minikomputerów będzie miał również duży wpływ kierunek rozwoju systemów obliczeniowych wielodostępnych do zastosowań naukowo-technicznych. Zagadnienie to jest przedmiotem szerokiej dyskusji w środowiskach specjalistów. Dyskusja ta sprowadza się do problemu: czy systemy wielodostępne do obsługi dużej liczby stanowisk końcowych /terminali/ mają być oparte o duże lub średnie maszyny cyfrowe czy należy akceptować systemy obliczeń w trybie konwersacyjnym dla pojedynczych lub kilku stanowisk, oparte na maszynach małych i bardzo małych. Wydaje mi się, że rozwój systemów wielodostępnych pójdzie w kierunku kombinacji tych dwóch rozwiązań, przy czym maszyny małe i bardzo małe będą również wykorzystywane jako procesory obsługi stanowisk programowych w dużych systemach wielodostępnych. Będzie to miało niewątpliwie pewien wpływ na architekturę i oprogramowanie minikomputerów.

#### Literatura

- [1] THEIS D.I., HOBBS L.C.: Minicomputers for Real-Time Applications. Datamation Nr 3/69.
- [2] Minicomputers. Modern Data Nr 8/69.
- [3] MACDONALD: Monthly Computer Census. Computers and Automation Nr 7/70.
- [4] Prospekty firmowe.



Władysław KLEPACZ

681.322.001.3

Instytut Maszyn Matematycznych

## NOWA SERIA MASZYN IBM 370

1. Uwagi wstępne

W miesiącach lipcu i sierpniu b.r. na czołowych miejscach wszystkich czasopism fachowych z dziedziny ETO ukazały się - często pod sensacyjnymi tytułami - wstępne informacje o nowych maszynach serii IBM 370 /IBM System/370/ [1-8]. Podobnie jak było to w przypadku serii 360, firmie IBM udało się osiągnąć znaczny efekt zaskoczenia dzięki utrzymaniu pełnej tajemnicy swoich nowych konstrukcji aż do momentu oficjalnego publicznego ich zaprezentowania wobec przedstawicieli prasy.

Sprawa utrzymania tajemnicy jest warta podkreślenia z tego względu, że wskazuje na niebywałe wprost zdyscyplinowanie wielkiej, bo przeszło 300-tysięcznej armii pracowników tej firmy, którzy w warunkach rynku kapitalistycznego są szczególnie narażeni na ciągłą penetrację dziennikarzy, goniących za tak łatwo zbywalnym towarem, jakim są wszelkiego rodzaju informacje, a zwłaszcza te, które są starannie chronione. Nowości konstrukcyjnych firmy IBM środowisko fachowców oczekiwało dopiero na przełomie lat 1971/1972. Wnioskowano to z szeregu różnych wypowiedzi kierowniczych osobistości tej firmy. Akcentowali oni wielokrotnie, że nakłady finansowe na rozwój maszyn Serii 360, a zwłaszcza jej oprogramowanie, znacznie przekroczyły pierwotne założenie i wobec tego potrzebny jest odpowiednio długi czas na pełną amortyzację tych nakładów.

Oczywiście, nowości lat siedemdziesiątych wiązano niedwuznacznie ze skonstruowaniem maszyn tzw. IV generacji, wprowadzających zasadniczy przełom w stosunku do parametrów technicznych oraz cech użytkowych aktualnie produkowanych maszyn. To, co zostało przedstawione na konferencjach prasowych, które odbyły się o tej samej godzinie w dniu 30 czerwca b.r. w Nowym Jorku i Paryżu nie może jednak pretendować do nazwy no-



wej generacji, mimo że niektóre ze wspomnianych publikacji zagranicznych opatrzone zostały bardzo efektownym tytułem "Seria IBM 370 - nowa generacja maszyn cyfrowych" [3].

Tego rodzaju określeń chce uniknąć sama firma IBM, która w podanych dotąd informacjach podkreśla wyraźnie, że jest to jedynie "wielki postęp technologiczny bez rewolucji". Zastrzeżenie to ma wyraźnie na celu uspokojenie wielkiej rzeszy użytkowników maszyn firmy IBM, którzy dotąd pamiętają, a niektórzy do dnia dzisiejszego odczuwają na własnej skórze perturbacje i wynikające z nich koszty, jakie spowodowała rewolucja wywołana wprowadzeniem na rynek maszyn III generacji.

Prezentacja pierwszych modeli maszyn serii 370 na wspomnianych pokazach łączyła się z silnie zaakcentowanym stwierdzeniem, że seria ta stanowi kontynuację serii 360 i w związku z tym jest wymienna /compatible/ pod względem oprogramowania z maszynami serii IBM 360. Oznacza to, że na tym odcinku dotychczasowy wieloletni dorobek firmy i użytkowników może być w pełni wykorzystywany na nowym sprzęcie.

Zmianą, która w pewnym stopniu usprawiedliwia wspomnianą aluzję do nowej generacji, jest zastosowanie nowego rodzaju mikroukładów elektronicznych, a mianowicie monolitycznych układów scalonych /MST = Monolithic System Technology/, stanowiących ewolucję konstrukcji stosowanych dotąd układów scalonych /SLT = Solid Logic Technology/.

Nowe układy charakteryzują się dalszym znacznym wzrostem miniaturyzacji. Przykładowo układ monolityczny typu logicznego ma wymiary 2x2 mm i zawiera 2-8 obwodów przełączających, natomiast układ monolityczny typu pamięciowego o niewiele większych wymiarach /krawędź 2,84 mm/ obejmować może do 64 obwodów przełączających, zawierających łącznie do 644 tranzystorów, diod i innych podstawowych elementów elektronicznych. Układy monolityczne zastosowane zostały w nowych maszynach obok stosowanych jeszcze szeroko dotychczasowych układów scalonych typu SLT.

W maszynach serii IBM 370 nie zostały zrealizowane zapowiadane usprawnienia, które miały charakteryzować maszyny IV generacji. Miało to być:



1. wprowadzenie maszyn o zmiennej strukturze logicznej dopasowywanej do potrzeb użytkownika /tzw. firmware/,
2. zrealizowanie znacznego ułatwienia techniki programowania,
3. zastosowanie nowych technologii w konstrukcji urządzeń pamięciowych,
4. likwidacja elementów mechanicznych i tym samym osiągnięcie radykalnego wzrostu szybkości działania podstawowych urządzeń zewnętrznych /czytniki, drukarki/.

Brak jest jeszcze danych na temat kosztów prac rozwojowych serii 370, tym bardziej, że trudno je odgraniczyć od kosztów rozwoju maszyn serii 360, wśród których bardzo istotną pozycję zajmuje koszt oprogramowania szacowany na ok. 0,5 mld zł.

## 2. Ogólna charakterystyka nowych maszyn

Na wspomnianych konferencjach w dn. 30.6. b.r. zaprezentowano dwa pierwsze modele maszyn serii 370, a mianowicie model IBM 370/155, będący odpowiednikiem modelu IBM 360/50 oraz model IBM 370/165 będący odpowiednikiem modelu IBM 360/65. Z tej charakterystyki widać wyraźnie, że są to maszyny o dużej mocy obliczeniowej i wobec tego nastawione są raczej na potrzeby rynku amerykańskiego, gdzie istnieje już dostateczna liczba użytkowników, którzy po 5 lub 6 latach eksploatacji mniejszych modeli maszyn serii IBM 360 zamierzają przejść na eksploatację sprzętu o lepszych parametrach wydajności.

Na pytania uczestników konferencji w Paryżu przedstawiciele firmy IBM wyjaśnili, że najbardziej interesujący użytkowników europejskich model 145, odpowiadający modelom maszyn IBM 360/30 oraz IBM 360/40, będzie zaprezentowany w terminie późniejszym, prawdopodobnie we wrześniu b.r.

Nowe modele w porównaniu do ich odpowiedników z serii 360 wykazują według opinii producenta następujące zalety:

1. znaczny wzrost wewnętrznej i zewnętrznej szybkości przesyłania informacji,



2. korzystniejszy stosunek ceny maszyny do jej wydajności, a więc poprawa ekonomiczności jej stosowania, będący głównie konsekwencją wspomnianego wyżej wzrostu szybkości,
3. rozszerzenie pojemności zarówno pamięci operacyjnej, jak i pamięci zewnętrznej o dostępie swobodnym,
4. wzrost szybkości drukowania wyników.

Przewiduje się, że pierwsze egzemplarze modelu 370/155 będą zainstalowane w Europie w pierwszym półroczu 1971 r.

### 3. Szczegółowa charakterystyka maszyn

Należy stwierdzić, że informacje na temat charakterystyki technicznej nowych maszyn są jeszcze mało dokładne, a nawet wykazują w różnych źródłach dość istotne odchylenia. Wynika to niewątpliwie z okoliczności, w jakich informacje te zostały przekazane /konferencja prasowa/.

#### 3.1. J e d n o s t k a   c e n t r a l n a

Podobnie jak w niektórych maszynach serii IBM 360 /360/85, 360/95/, pamięć operacyjna ma strukturę hierarchiczną, a mianowicie składa się z ferrytowej pamięci głównej o dużej pojemności oraz ultraszybkiej pamięci buforowej. Ta ostatnia zapewnia zredukowanie ok. 90% ogólnej liczby bezpośrednichostępów sterowania i arytmometru do znacznie wolniejszej pamięci ferrytowej. Dzięki poprawie parametrów szybkości ocenia się, że średnia szybkość działania modelu 370/155 jest około 4-krotnie a modelu 370/165 około 5-krotnie większa w porównaniu do ich odpowiedników w postaci 360/50 oraz 360/65. Przykładowo w modelu 370/165 czas mnożenia zmiennoprzecinkowego wynosi 600 ns a stałoprzecinkowego 420 ns.

Do wzrostu wydajności nowych modeli przyczyniło się również zwiększenie liczby kanałów, przeznaczonych głównie do współpracy z pamięcią dyskową, oraz wzrost ich szybkości przesyłania informacji.

W szczegółach charakterystyka jednostek centralnych obu modeli przedstawia się następująco:



model 370/155

model 370/165

Pamięć główna:

Pojemność min.	256 K by <sup>1</sup>	512 K by
	384 " "	1024 " "
	768 " "	1536 " "
	1024 " "	2048 " "
	1536 " "	2560 " "
max.	2048 " "	3072 " "
Cykl	2,1 $\mu$ s/8 by <sup>1</sup>	2 $\mu$ s/8 by

Pamięć buforowa:

Pojemność	8 K by	8 K by
		16 " "
Cykl	115 ns/4 by	80 ns/8 by

Kanały:

Liczba kanałów	standard 2	standard 7
/MPX, SEL, BMPX <sup>2</sup> /	max. 6	max. 12
szybkość przesyłania	standard 1,5M by/s <sup>1</sup>	standard 1,5M by/s
	max. 3 M by/s	max. 3 M by/s

W obu modelach stolik operatora wyposażony jest w elektryczną maszynę do pisania model IBM 3210 /szybkość drukowania 15 zn./s/ lub drukarkę model IBM 3215 /szybkość drukowania 85 zn./s/. Istnieje możliwość dołączenia drugiej maszyny do pisania model IBM 3210 w maksymalnym oddaleniu 21 m od jednostki centralnej. Maszyna 370/165 zamiast maszyny do pisania wyposażona jest w monitor ekranowy z klawiaturą.

<sup>1</sup> Międzynarodowe skróty K by, by oraz M by oznaczają odpowiednio: kilobajty /10<sup>3</sup> bajtów, a ściślej 1024 bajtów/, oraz megabajty /10<sup>6</sup> bajtów, a ściślej 1024 x 1024 bajtów/

<sup>2</sup> MPX - Kanał typu multipleksor umożliwiający równoczesne działanie wielu wolnych urządzeń przesyłających pojedyncze bajty  
 SEL - Kanał typu selektor realizujący równocześnie tylko jedno przesyłanie bloku danych  
 BMPX- Kanał typu blokowy multipleksor umożliwiający równoczesne przesyłanie wielu bloków danych z wieloma szybkimi urządzeniami



Potrzeby konserwacji maszyn zabezpiecza specjalne urządzenie do celów diagnostycznych, zlokalizowane w module stolika operatora. Urządzenie to wyposażone jest w wymienną pamięć dyskową umożliwiającą bardzo dogodne wprowadzanie programów diagnostycznych. Oprócz tego dysk ten rejestruje wszystkie zaistniałe awarie i błędy maszyny.

W maszynach serii 370 nastąpiło również istotne rozszerzenie możliwości automatycznego rozpoznawania i korekcji błędów. Operacja uznana przez maszynę jako błędna powtarzana jest w sposób automatyczny do 7 razy zanim zostanie uznana i wykazana jako niepoprawialna. Wszystkie wykryte błędy, zarówno poprawialne jak i niepoprawialne, rejestrowane są na wspomnianym dysku, a następnie wypisywane do wykorzystania przez konserwatorów w celach diagnostycznych.

O ile chodzi o urządzenia zewnętrzne, to dla maszyn serii 370 skonstruowano nowe modele pamięci dyskowych oraz nową drukarkę wierszową. W porównaniu z dotychczasowymi modelami charakteryzują się one znacznie podwyższonymi parametrami technicznymi.

### 3.2. P a m i ę c i   d y s k o w e

Nowe konstrukcje pamięci dyskowych obejmują zarówno pamięć dyskową wymienną, jak i pamięć niewymienną.

Pamięć dyskowa wymienna model IBM 3330 stanowi ewolucję modelu IBM 2314 poprzednio stosowanego przy maszynach serii 360, który miał 3 razy mniejszą pojemność oraz 2 razy dłuższy czas dostępu. Model ten może być również podłączany do maszyn serii 370.

Jednostka pamięci IBM 3330 składać się może maksymalnie z 4 modułów o pojemności po 200 M by. Każdy z modułów obejmuje 2 niezależne mechanizmy napędowe /3600 obr./min/ wyposażone w wymienne pakiety dysków /model IBM 3336 o pojemności po 100 M by, ściślej 100 018 000 by każdy/ Średni czas dostępu do informacji wynosi 30 ms, a maksymalna szybkość przesyłania 806 K by/s. Pamięć ta może być również podłączana do modeli 85 i 95 serii 360.

Pamięć IBM 3330 współpracować musi z jednostką sterującą IBM 2830, mogącą obsłużyć od 1 do 4 modułów tej pamięci. Nowo skonstruowany wy-



wymienny pakiet dysków /model IBM 3336/ zawiera 5 dysków i 10 powierzchni zapisu. Pojemność 1 ścieżki informacyjnej na dysku wynosi 13 030 by, przy czym 19 ścieżek tworzy strefę. Stref takich w 1 pakiecie jest 404+7 rezerwowych.

Jednostka sterująca IBM 2830 zawiera podobnie jak jednostka centralna własną pamięć pomocniczą na wymiennym dysku. Zarejestrowane są tam programy standardowe do różnych rozwiązań zapisu informacji, jak również programy diagnostyczne i tworzone bieżąco wykazy wykrytych błędów dla potrzeb personelu konserwacji maszyny. W porównaniu z wspomnianym starym modelem pamięci dyskowej IBM 2314 parametry porównawcze nowego modelu IBM 3330 przedstawiają się następująco:

	model nowy IBM 3330	model stary IBM 2314
pojemność max.	800 M by	233 M by
średni czas dostępu	30 ms	60 ms
szybkość przesyłania	806 K by/s	312 K by/s

Drugą nową konstrukcją jest niewymienna pamięć dyskowa model IBM 2305 produkowana w dwóch wersjach, a mianowicie IBM 2305-1 oraz IBM 2305-2. Jest to pamięć oparta na zasadzie nieruchomych głowic, co pozwoliło osiągnąć bardzo krótkie czasy dostępu do informacji możliwe dotąd tylko w konstrukcjach szybkich pamięci bębnowych. Pamięć IBM 2305 współpracuje z jednostką sterującą model IBM 2835, mogącą obsłużyć do 2 modułów pamięci. Jeden moduł pamięci zawiera 6 niewymiennych dysków /12 powierzchni/. Każda powierzchnia zawiera 72 ścieżki informacyjne + 8 rezerwowych /co 9-ta/, natomiast każda ścieżka, podzielona na 180 sektorów, obsługiwana jest przez 4 głowice odczytu/zapisu. Pojemności, średnie czasy dostępu oraz szybkości przesyłania w poszczególnych modelach są następujące:

	model 2305-1	model 2305-2
pojemność	5,4 M by	11,2 M by
średni czas dostępu	2,5 ms	5 ms
szybkość przesyłania	3 M by/s	1,5 M by/s

Do modelu maszyny 379/155 można podłączyć tylko 1 moduł pamięci IBM 2305-2.



Ze względu na bardzo krótkie czasy dostępu pamięć IBM 2305, podobnie jak pamięć bębnowa, nadaje się szczególnie do przechowywania wszelkiego rodzaju programów sterujących oraz danych roboczych. Istnieje możliwość jednoczesnej realizacji do 8 programów przy użyciu tej pamięci. Wynika to z rozwiązania eliminującego obciążenie kanału przez okres poszukiwania i dostępu do informacji na dysku. Polega to na tym, że po zainicjowaniu przez kanał operacji poszukiwania następuje automatyczne odłączenie się jednostki sterującej od kanału, która kieruje wykonaniem tych czynności i włącza się ponownie do kanału dopiero w chwili, gdy odnaleziona informacja może być odczytana a równocześnie kanał jest wolny do jej przesłania.

### 3.3. Drukarka wierszowa

Konstrukcja nowego modelu drukarki IBM 3211 opiera się w dalszym ciągu na konsekwentnie stosowanym przez IBM od czasów maszyn I generacji mechanizmie łańcuchowym, którego podstawową zaletą jest duża możliwość różnicowania rozmiarów zestawu znaków pisarskich. W przypadku standardowego zestawu 48 znaków nowa drukarka osiąga szybkość 2000 wierszy/min., natomiast w przypadku ograniczenia zestawu do 36 znaków szybkość drukowania wzrasta aż do 2500 wierszy/min.

Szybkości te są dwukrotnie większe od najszybszych stosowanych dotąd przez firmę IBM modeli drukarek. Podobnie jak w dotychczasowych modelach stosowana jest standardowa rozpiętość wiersza 132 miejsc drukowanych, która na żądanie może być rozszerzona do 150 miejsc. Sterowany programem automatyczny przesuw papieru może być realizowany z szybkością do 230 cm/s.

Jednostka sterująca model IBM 3811 może współpracować tylko z jednym modułem drukarki. Do nowej drukarki firma IBM oferuje możliwość wyboru 432 różnych czcionek, które mogą być na żądanie zestawiane w różnych kombinacjach. Oprócz głównego przeznaczenia do maszyn serii 370 nowy model drukarki można podłączać do maszyn serii 360 począwszy od modelu 30 w górę.



#### 4. Oprogramowanie

Do maszyn serii 370 oprócz istniejącego oprogramowania maszyn serii 360, które użytkownicy otrzymują nieodpłatnie, istnieje możliwość odpłatnego dostarczenia tzw. programów licencyjnych. Programy te są konsekwencją nowej polityki sprzedaży firmy IBM ogłoszonej w dniu 25 marca 1970 r. /obniżka cen maszyn - odpłatność oprogramowania oraz usług/.

Ponieważ rozwiązania konstrukcyjne nowych maszyn ukierunkowane zostały na zastosowania wymagające opracowywania wielkich zbiorów danych o złożonej strukturze w warunkach bezpośredniego dostępu przez znaczną liczbę użytkowników /tzw. systemy abonenckie typu konwersacyjnego/, nowe oprogramowanie zostało skonstruowane głównie pod kątem potrzeb odpowiedniego systemu operacyjnego dla tego rodzaju eksploatacji maszyny. Oprogramowanie to obejmuje 10 programów nowej wersji systemu abonenckiego TSO /Time-Sharing Option/, 2 programy systemu abonenckiego ITF /Interactive Terminal Facility/ oraz nowy język konwersacyjny APL /A Programming Language/.

Wymienione systemy abonenckie TSO oraz ITF są ewolucją dotychczasowych systemów o analogicznym profilu, eksploatowanych na maszynach serii 360, a mianowicie systemu OS MVT oraz ITF. Systemy te zostały rozbudowane w kierunku wzrostu uniwersalności zastosowania w oparciu o zwiększone pojemności i szybkości działania pamięci operacyjnej i zewnętrznej w maszynach serii 370. Przykładowo system ITF zrealizowany był dla maszyny IBM 360/25 w oparciu o pojemność pamięci operacyjnej rzędu zaledwie 48 K by. Oczywiście tego rodzaju ograniczenie powodowało niezwykle skromny zakres możliwości eksploatacyjnych tego systemu. Język APL jest językiem problemowym posługującym się całkowicie nową techniką bardzo prostego opisywania różnorodnych problemów naukowych w warunkach konwersacyjnego komunikowania się z maszyną.

Wymienność istniejącego oprogramowania serii 360 dotyczy wszystkich podstawowych jego rodzajów, a mianowicie: systemów operacyjnych, języków programowania, translatorów oraz programów użytkowych. Model IBM 370/165 może być eksploatowany w systemie operacyjnym OS, natomiast model IBM 370/155 w systemach OS i DOS w wersji z 14 nowymi rozkazami. Nowe rozkazy przewidują m.in. przenoszenie bloku informacji o rozmiarze powyżej 256 K by przy użyciu jednego rozkazu.



Systemów operacyjnych nowych maszyn nie można stosować do współpracy z szeregiem starszych modeli urządzeń zewnętrznych, a mianowicie IBM 1009, 1013, 7702, 7771, 1231, 1285, 1418, 1428, 2301 i 7340, oraz w przypadku modelu 370/165 dodatkowo modułów IBM 2415 oraz 1442 N02.

Systemy operacyjne umożliwiają realizację pracy wieloprogramowej w rozmiarze do 15 różnych programów jednocześnie. Umożliwiają one również realizację emulacji programów następujących maszyn II generacji:

w przypadku	w przypadku
modelu IBM 370/155	modelu IBM 370/165
	IBM 7070/74
IBM 1400 /seria/	IBM 7080
IBM 7010	IBM 7090/94

## 5. Ceny

Jak już wspomniano, seria 370 jest pierwszą próbą nowej polityki cen firmy IBM, tzn. sprzedaży programów licencyjnych, w konkretnym przypadku 2 rozbudowanych systemów operacyjnych, których zastosowanie może znacznie przyspieszyć rozwój dużych systemów informacyjnych. Oprócz sprzedaży wspomnianych programów firma IBM będzie doliczała opłaty w przypadku udzielania konsultacji przy pracach projektowania systemów EPD oraz szkoleniu personelu użytkowników.

Usługi te w zależności od stopnia złożoności dzielą się na 3 kategorie, uwzględniające kryteria konfiguracji zestawu maszyny oraz charakteru zastosowania. Nieodpłatnie będą przekazywane jedynie te nowe programy, które zapewniają proste działanie maszyny oraz te, które niezbędne są dla celów jej konserwacji. Nieodpłatnie będą nadal udostępniane również te programy, które dotąd można było otrzymywać za pośrednictwem Europejskiej Biblioteki Programów IBM.

Orientacyjne ceny dzierżawy lub zakupu maszyn serii 370 są następujące:



model 370/155	model 370/165	model 370/165
zestaw średni	zestaw średni	zestaw maksymalny
/768K by PAO/	/1024K by PAO/	/3072K by PAO,
		16K by PAB/

Koszt miesięcz-

nej dzierżawy    ok.    50 000 zł    ok.    100 000 zł    ok.    200 000 zł

Koszt zakupu    ok. 2 300 000 zł    ok. 4 600 000 zł    ok. 9 200 000 zł

Orientacyjne koszty miesięcznej dzierżawy poszczególnych modułów oraz opłat licencyjnych za programy są następujące:

- Dodatkowy blok pamięci operacyjnej o pojemności 1000 K by - ok. 13 500 zł
- Drukarka wierszowa IBM 3211 - ok. 3 000 zł
- Moduł /200 M by/ pamięci dyskowej IBM 3330 - ok. 4 000 zł
- Opłata licencyjna za poszczególne programy - od ok. 30 do ok. 350 zł

#### 6. Opracowanie koncepcji oraz wkład europejskich ośrodków IBM przy realizacji serii IBM 370

Przy tworzeniu koncepcji nowej serii maszyn po raz pierwszy uczestniczyły europejskie ośrodki badawcze IBM na równi z ośrodkami amerykańskimi. Prace rozwojowe były poprzedzone intensywnymi badaniami potrzeb przyszłych użytkowników. Na terenie Europy badania te trwały ok. 2 lat i objęły wybraną reprezentację ok. 1000 różnych instytucji, głównie przedsiębiorstw, w których dokonano szczegółowej analizy potrzeb w oparciu o kilkaset rodzajów zastosowań oraz różne warianty konfiguracji zestawów maszyn. Badania te wykazały następujące główne kierunki potrzeb ewolucji konstrukcji maszyn:

- a. zwiększenie wewnętrznej szybkości działania jednostki centralnej,
- b. zwiększenie szybkości i przepustowości kanałów dla współpracy z urządzeniami zewnętrznymi,
- c. zwiększenie pojemności oraz skrócenie czasów dostępu do informacji w pamięciach masowych.



W pracach projektowych i konstrukcyjnych przy tworzeniu nowej serii uczestniczyły następujące europejskie ośrodki badawcze IBM:

- . Böblingen /NRF/
- . La Gaude /Francja/
- . Lidingö /Szwecja/
- . Hursley /Wielka Brytania/

Ich wkład na etapie badań laboratoryjnych ocenia się na ok. 1/4 łącznej pracochłonności. Nowe modele będą produkowane w europejskich zakładach IBM również na potrzeby rynku USA. Produkcja modelu 370/155 już się rozpoczęła w Zakładach Montpellier /Francja/. Model 370/165 będzie produkowany w zakładach Havant /Wielka Brytania/ jako największy z wytwarzanych dotąd w Europie modeli maszyn IBM. Nowe modele pamięci dyskowych są już produkowane w zakładach Mainz /NRF/, nowa drukarka wierszowa w zakładach Vällingby /Szwecja/, a układy monolityczne w zakładach Sindelfingen /NRF/ oraz Essonnes /Francja/. Dla potrzeb rynku azjatyckiego maszyny serii 370 produkowane będą w zakładach IBM w Japonii.

#### 7. Ocena zapotrzebowania europejskiego na maszyny serii IBM 370

Aktualnie w Europie w końcu r. 1969 było ok. 300 zainstalowanych i ok. 50 zamówionych egzemplarzy modelu IBM 360/50 oraz ok. 100 zainstalowanych egzemplarzy modelu IBM 360/65. Ocenia się, że głównymi potencjalnymi użytkownikami maszyn serii 370 będą w pierwszej kolejności te instytucje, które mają już w pełni obciążone maszyny IBM 360/50, natomiast w późniejszym terminie użytkownicy maszyn IBM 360/65, których eksploatację rozpoczęto stosunkowo niedawno, i dlatego w większości przypadków są one jeszcze nie w pełni obciążone. Sytuacja analogiczna jak w przypadku modelu 360/50 nastąpi tu dopiero za 3-4 lata.

Istniejąca jeszcze duża dysproporcja w zakresie poziomu zastosowań pomiędzy Europą a USA pozwala jednak bezstronnym obserwatorom stwierdzić, że mimo wspomnianych badań rynku niektóre rozwiązania techniczne nowej serii są jeszcze zbyt odległe od rzeczywistych potrzeb przytłaczającej masy użytkowników europejskich.



## Literatura

- [1] GAGAN L.: System 370 Holds Key to the Future. Computer Weekly, 1970, 07:/200/, s. 6-11.
- [2] GLASS S.: Benutzerfreundlicher Teilnehmerbetrieb. IBM kündigt neue Timesharing-Systeme mit hoher Sprach- und Betriebsarten-Kompatibilität. Computer Praxis, 1970, 08:3/8/, s. 150-153.
- [3] IBM-SYSTEM/370 - eine neue Computer-Generation. BTA, 1970. 07:11/7/, s. 440-442, 444.
- [4] IBM SYSTEM/370 Modell 155 - IBM System/370 Modell 165. ADL, 05-06:15/62/, s. 220-223.
- [5] IBM's SYSTEM/370 Surfaces, but is that All there is? Datamation, 1970.08:16/8/, s. 58-59.
- [6] RILEY W.B.: New IBM Series Comes on Soft. Electronics, 1970. 07:43/15/, s. 109-111.
- [7] SYSTEM/370. Nach 6 Jahren wieder eine neue Computerserie von IBM. Computer Praxis, 1970.07:3/7/, s. 135-137.
- [8] SYSTEM/370 weltweit angekündigt. Elektronik, 1970.08:19/8/, s. 200.







Mgr Bartłomiej GŁOWACKI  
Instytut Maszyn Matematycznych

681.302

## WIELODOSTĘPNOŚĆ: SPRZĘT, OPROGRAMOWANIE, KOSZT

### 1. Wstęp

Systemy wielodostępne /SWD/ stosowane są coraz powszechniej w różnych dziedzinach zastosowań. Swój rozwój zawdzięczają udoskonaleniu współpracy człowieka z maszyną. Szacuje się, że w 1975 roku więcej niż połowa zainstalowanych w Stanach Zjednoczonych maszyn cyfrowych pracować będzie w SWD.

Idea wielodostępności stanowi rozwinięcie i uogólnienie szeregu cech maszyny, które występują już od dawna. Prace nad SWD prowadzone początkowo na uniwersytetach wykroczyły już poza stadium badawcze. SWD są w chwili obecnej produkowane seryjnie, przynajmniej jeden z modeli w produkowanych przez duże firmy rodzinach maszyn dostosowany jest do pracy w tego typu systemie /na przykład model 67 w systemie IBM/360 lub model 645 w serii GE 600/.

Głównym ograniczeniem powszechnego zastosowania SWD jest jego cena a przede wszystkim cena oprogramowania. Złożone programy jednoczesnej obsługi wielu użytkowników stanowią około 75% kosztów całego systemu. Niniejsze opracowanie stawia sobie za zadanie podanie podstawowych informacji o SWD, bez szczegółowej analizy konstrukcji maszyny i oprogramowania zastosowanych w takim systemie.

Wielodostępność jest jednoczesnym wykorzystywaniem maszyny cyfrowej przez określoną liczbę użytkowników, z których każdy posiada bezpośredni dostęp poprzez końcowe urządzenie wejścia-wyjścia do całkowitego wyposażenia maszyny i może pracować całkowicie niezależnie od innych użytkowników.



Taka definicja wielodostępności obejmuje swoim zasięgiem zarówno systemy takie jak rezerwacja miejsc lub gromadzenie danych, jak i systemy takie jak odległe ośrodki obliczeniowe sprzęgnięte w jednolitą sieć informacyjną.

SWD będziemy nazywać uniwersalnym, jeśli jego możliwości są na tyle ogólne, że użytkownicy współpracując bezpośrednio z systemem mogą tworzyć nowe języki. Jeśli możliwości językowe systemu pozwalają użytkownikowi pracować tylko w jednym specyficznym obszarze zastosowań, to system taki będziemy nazywać specjalnym.

W systemie specjalnym użytkownik dysponuje urządzeniem końcowym dostosowanym do jego specyficznych zadań. Do takiego systemu stosowany jest specjalny język konwersacyjny na ogół w postaci prostych wyrażen wbudowanych w urządzenie końcowe /na przykład klawiatura ze zbiorem przycisków, z których każdemu przypisano określone funkcje/. W systemach specjalnych reguły pracy użytkowników i samego systemu są ściśle zdefiniowane, co pozwala na opracowanie systemu operacyjnego i systemu oprogramowania wykorzystującego w sposób maksymalny możliwości systemu.

Systemy uniwersalne umożliwiają konwersację użytkownika z maszyną przez bezpośrednią komunikację z programami i zbiorami danych umieszczonymi w maszynie. System posiada niezbędne środki umożliwiające odwoływanie się do programów i danych oraz obsługę użytkownika w ciągu krótkiego odcinka czasu. Systemy uniwersalne są przystosowane do wykonywania uniwersalnych zadań, dysponują na ogół kilkoma językami umożliwiającymi elastyczną obsługę użytkownika. Obsługa ta wymagać może od systemu całkowicie różnego układu systemu operacyjnego i systemu oprogramowania dla każdego z użytkowników. Urządzeniami końcowymi stosowanymi w tego typu systemie są przede wszystkim monitory ekranowe z klawiaturą lub piórem świetlnym oraz dalekopisy. Przykładami uniwersalnych SWD są: projekt MAC opracowany przez MIT, JOSS opracowany przez Rand Corp. lub QUICKTRAN opracowany przez IBM.

Jedną z podstawowych zalet SWD jest liczba jednocześnie pracujących w systemie użytkowników. Na przykład w Compatible-Time-Sharing System /CTSS/ opracowanym przez MIT do maszyny IBM 7094 dołączonych jest 110 urządzeń końcowych, z których 30 może pracować jednocześnie. W Multi-



ple-Access Computer /Project MAC/ opartym na maszynie GE645 dołączonych ma być około 500 urządzeń końcowych, z których 150-200 może pracować jednocześnie.

## 2. Sprzęt

Większość środków technicznych stosowanych w SWD jest podobna do środków stosowanych w konwencjonalnym systemie. Podstawowe różnice to bardziej efektywne wykorzystanie pamięci i urządzenia końcowe.

Makrostruktury SWD są różne: od pojedynczej maszyny do złożonych systemów wielomaszynowych.

W skład pojedynczej maszyny może wchodzić kilka centralnych jednostek, ale każda z nich posiada dostęp tylko do określonych modułów pamięci głównej. System taki posiada strukturę hierarchiczną charakteryzującą się tym, że połączenia pomiędzy składnikami systemu można uzyskać tylko w jeden ściśle zdefiniowany sposób.

System wielomaszynowy złożony z kilku jednostek centralnych, z których każda posiada dostęp do całkowitej pojemności pamięci głównej, które przetwarzają równolegle jeden lub kilka programów, charakteryzuje się wysoką odpornością na awarię. W przypadku wykrycia błędu następuje dynamiczna przebudowa struktury systemu, tak zwana rekonfiguracja.

W skład typowego SWD wchodzi:

### 2.1. P a m i ę ć   g ł ó w n a   /PAG/

PAG złożona na ogół z kilku różnych typów pamięci spełniających w systemie identyczne funkcje, lecz różniących się szybkością pracy, pojemnością i ceną. Struktura pamięci charakteryzuje się szeregiem parametrów:

- liczbą typów pamięci i liczbą niezależnych modułów każdego typu,
- technicznymi danymi każdego typu pamięci /długość słowa, pojemność, czas cyklu pracy, niezawodność/,
- metodą adresacji poszczególnych typów i modułów,
- typem współpracy z centralną jednostką przetwarzania.



W skład pamięci głównej wchodzi:

- Pamięć operacyjna wykorzystywana do przechowywania bieżąco wykonywanych programów. Pamięć tego typu posiada czas cyklu pracy /skorelowany z szybkością centralnej jednostki przetwarzania/ i dla większości systemów nie przekraczający  $0,8 \mu s$ , pojemność 32-256 tys. słów maszynowych i cenę 0,1-0,2 dolara na bit.
- Pamięć masowa wykorzystywana: przy rozwiązywaniu problemów, w których odwołuje się rzadko do dużych zbiorów danych przy losowym dostępie do danych wewnątrz zbioru; dla przechowywania rzadko używanych programów systemowych lub jako pamięć wtórna. Czas cyklu pracy tego typu pamięci jest mniejszy od  $8 \mu s$ , pojemność 0,5-1,0 mil. słów, cena - 0,02-0,04 dolara za bit.
- Pamięć lokalna służąca do przechowywania krótkich pętli programów, informacji sterujących urządzeniami zewnętrznymi oraz informacji o stanie centralnej jednostki przetwarzania lub kopii tej informacji. Czas cyklu pracy tego typu pamięci jest około pięciokrotnie krótszy od cyklu pamięci operacyjnej, pojemność 20-1000 słów, cena 10-100 razy większa od ceny pamięci operacyjnej.

## 2.2. C e n t r a l n a   J e d n o s t k a   P r z e t w a r z a n i a /CJP/

CJP współpracująca z PAG w procesie wykonywania programów, charakteryzuje się następującymi parametrami:

- możliwościami listy rozkazów i związanym z tym czasem rozwiązania zadania,
- liczbą programów, niezależnie wykonywanych w CJP,
- czasem przełączania programów, to znaczy czasem przejścia od aktualnie wykonywanego programu do nowego z uwzględnieniem możliwości powrotu,
- liczbą słów /bitów/, związanych z wykonywanym programem i wymienianych przy przejściu do nowego programu.



W skład CJP wchodzi kanały - urządzenia sterujące przesyłaniem informacji dysponujące bardzo ograniczoną listą rozkazów zawierającą:

- rozkazy inicjowania pracy urządzeń zewnętrznych,
- rozkazy żądania informacji o stanie urządzenia zewnętrznego,
- rozkazy sterujące przesyłaniem danych.

## 2.3. U r z ą d z e n i a   z e w n ę t r z n e

Urządzenia zewnętrzne podzielimy na dwie grupy: urządzenia wejścia/wyjścia i pamięci zewnętrzne. Urządzenia wejścia/wyjścia służą do komunikacji człowieka z maszyną lub innymi maszynami, pamięci zewnętrzne służą do przechowywania informacji, która w każdej chwili może ulec zmianie lub zostać wprowadzona do PAG. Z punktu widzenia CJP zarówno urządzenia wejścia/wyjścia jak i pamięci wewnętrzne mogą być rozważane jako urządzenia funkcjonalnie identyczne.

Urządzenia wejścia/wyjścia wykorzystuje się do łączności maszyny z otoczeniem /użytkownicy, inne maszyny itp./. Ich podstawowymi charakterystykami są:

- szybkość przesyłania i typ przesyłania /blokowy, znakami/,
- sposób kodowania danych,
- kierunek przesyłania /wprowadzanie, wyprowadzanie, wprowadzanie i wyprowadzanie/,
- sposób adresacji /bezpośredni dostęp do informacji, liniowy /szeregowy/ itp./.

Niektóre urządzenia tzw. urządzenia końcowe służą do bezpośredniej łączności człowieka /operatora/ z maszyną. Są to: dalekopisy, monitory ekranowe /display'e/, urządzenia wyjściowe audiofoniczne, telefon z wprowadzaniem z tarczy, urządzenia specjalne /kasy, aparaty rezerwacji i sprzedaży biletów, kalkulatory bankowe i inne itp./.

Innymi urządzeniami wejścia/wyjścia również przeznaczonymi do współpracy użytkownika z maszyną są urządzenia posługujące się zewnętrznymi nośnikami informacji /taśmy i karty perforowane, papier, taśma filmowa itp./. Trzecim typem są specjalizowane urządzenia wejścia-wyjścia, typu



Datanet i Dataphone służące do przekazywania danych liniami telefonicznymi lub telegraficznymi z równoczesną konwersją analogowo-cyfrową, kodowaniem itp.

Podstawowymi charakterystykami pamięci zewnętrznych określającymi sposób ich zastosowania w systemie są:

- . cena,
- . pojemność,
- . czas dostępu,
- . system adresowania,
- . łatwość zmiany informacji,
- . łatwość wymiany informacji /pośrednio z inną maszyną/.

Pod względem przeznaczenia w systemie pamięć zewnętrzna może być zaliczona do jednej z następujących klas:

- . Pamięć wtórna - służy do przechowywania przełączanych programów, konieczna do realizacji jednej z podstawowych zasad działania SWD. Najczęściej używanymi pamięciami "wtórnymi" są bębny magnetyczne i dyski.
- . Pamięć programów - służy do przechowywania programów i zbiorów danych użytkowników, które w danej chwili nie są wykorzystywane. Do tej klasy zalicza się pamięci o dużej pojemności stosunkowo szybkie, o dowolnej metodzie adresacji i posiadające możliwość zmiany informacji /bębny, dyski, karty magnetyczne, paski i taśmy magnetyczne/.
- . Pamięć pomocnicza - służy do przechowywania informacji o stanie systemu w określonych przedziałach czasowych, które mogą być wykorzystywane w wypadku uszkodzenia systemu. Stosowanymi tu pamięciami są przede wszystkim taśmy i karty magnetyczne.

#### 2.4. J e d n o s t k i   s t e r u j ą c e   /JS/

W SWD dąży się, żeby wszystkie urządzenia zewnętrzne posiadały autonomiczne jednostki sterujące tak, żeby możliwe było jednoczesne przesyłanie danych ze wszystkimi urządzeniami zewnętrznymi systemu. JS wykonują funkcje:



- . dopasowują specyfikę urządzenia do standardowych zasad współpracy z maszyną,
- . wybierają urządzenie zewnętrzne z grupy urządzeń związanych z daną JS,
- . sterują przesyłaniem informacji i pracą urządzenia,
- . kodują i dekodują informację,
- . buforują i scalają grupy danych,
- . wykrywają i poprawiają /w miarę możliwości/ błędy.

Maszyna, która ma być zastosowana w SWD, powinna charakteryzować się następującymi własnościami:

OCHRONA PAMIĘCI. Jest ona konieczna w SWD, ponieważ żaden z programów użytkowników /niezależnie od występujących w nich błędów/ nie może wpłynąć na inny program lub zniszczyć program nadzorczy. Dla ochrony obszarów pamięci stosuje się:

- . rejestry granicy górnej i granicy dolnej. W maszynach GE serii 600 stosowany jest pojedynczy rejestr tzw. rejestr bazowy, który zawiera adres rzeczywisty miejsca pamięci, od którego poczynając zaczyna się program oraz długość programu,
- . przypisywanie każdemu programowi klucza ochrony, stosowane w maszynie IBM 360-67,
- . ochronę programową.

Ochrona pamięci nie dotyczy programu nadzorczego.

SYSTEM PRZERWAŃ. Pozwala on CJP oraz urządzeniom zewnętrznym wywołać program nadzorczy podejmujący wymagane przez urządzenie działania. Przyczynami przerwania w SWD mogą być:

- . urządzenie zewnętrzne,
- . program,
- . błąd maszyny,
- . zakończenie problemu lub zadania oraz upływanie przydzielonego programowi czasu.



Ponieważ przerwanie powoduje zawsze zmianę stanu CJP, to dla szybkiego przełączania programów wyposaża się CJP w szereg stanów, z których każdy dysponuje własnymi rejestrami stanu, rejestrami arytmetycznymi, indeksów itd. /szybka pamięć lokalna/.

ZEGAR. Wchodzi on w skład wyposażenia każdego SWD. Zegar powoduje przerwanie po upływie ustalonego odcinka czasu.

DYNAMICZNE PRZEMIESZCZANIE PROGRAMÓW. Przemieszczanie to pozwala na ładowanie oraz wykonywanie programu, praktycznie poczynając od dowolnego miejsca pamięci. Dynamiczne przemieszczanie programów jest wbudowywane we wszystkich SWD. Ponieważ szereg programów znajduje się jednocześnie w PAG, brak dynamicznego przemieszczania wymaga gospodarowania pamięcią przez program nadzorczy i staje się istotnym ograniczeniem systemu. Dodatkowo własność ta pozwala zapobiec dublowaniu zbiorów informacji, co posiada szczególne znaczenie w zastosowaniu do tak zwanych "czystych procedur", pod którymi rozumie się stałą część programu, oddzieloną od części zmiennej i danych,

Dynamiczne przemieszczanie programów jest uzyskiwane przez:

- . Rejestr adresu bazowego. zawierający początkowy adres programu. Adresy programu są automatycznie zwiększane o zawartość rejestru w czasie wykonania programu. Metoda ta jest stosowana w maszynie GE 625 i GE 635.
- . Stronicowanie i segmentację znacznie bardziej kosztowne pozwalające jednak uniknąć kosztownego przegrupowania programów, niezbędnego w poprzedniej metodzie. Rozwiązanie to jest stosowane w GE 645 i IBM 360-67 i wymaga kilkunastu specjalizowanych rejestrów.

### 3. Oprogramowanie

Najbardziej istotną i najdroższą częścią SWD jest jego oprogramowanie a właściwie ta część oprogramowania, która zarządza i organizuje pracę systemu. W SWD programy sterujące posiadają charakter "wykonawczy" mający zapewnić uniwersalną, natychmiastową i bezpośrednią obsługę każdego z użytkowników. Szczególne znaczenie posiada tu natychmiasto-



wość obsługi, czyli tak zwany "czas odpowiedzi" na podany przez użytkownika rozkaz. Czas odpowiedzi zależy od długości programu odpowiadającego zadanej przez użytkownika akcji, liczby pozostałych aktywnych użytkowników oraz długości ich programów. Oprócz tych wszystkich składników czas odpowiedzi zależy przede wszystkim od stosowanej metody planowania pracy systemu /tak zwanego algorytmu planowania/.

Algorytm planowania jest realizowany przez część programów wykonawczych przeznaczonych do optymalizacji obsługi użytkowników systemu. Algorytm ten określa kolejność działania użytkowników, zmiany w tej kolejności powstałe w wyniku wprowadzania dodatkowych warunków, określa również czas przydzielany każdemu z użytkowników. Kolejność ustalana przez algorytm jest określana przez priorytet zależny od "ważności" użytkownika oraz warunki narzucane przez efektywne wykorzystanie maszyny i jej urządzeń zewnętrznych.

Oprogramowanie SWD składa się conajmniej z:

a. Programu nadzorczego, którego funkcjami są:

- . przydzielanie obszaru pamięci,
- . przydzielanie czasu pracy CJP. Program nadzorczy ładuje rejestr zegara, określając czas wykonywania programu. Stosowane są tutaj dwa sposoby: każdemu z programów przyznawany jest ten sam czas pracy lub też czas pracy jest przydzielany w zależności od priorytetu użytkownika. Określenie priorytetu może być funkcją szeregu czynników /np. długość programu, autor programu/,
- . obsługa przerwań,
- . przydzielanie urządzeń zewnętrznych i pamięci wtórnej każdemu z użytkowników,
- . zarządzanie zbiorami danych /utrzymanie katalogu każdego użytkownika oraz ochrona zbiorów prywatnych/.

b. Języka konwersacyjnego, który dostarcza użytkownikom rozkazów współpracy z systemem /niezależnie od specyfiki programu użytkownika/. Język taki zawiera rozkazy umożliwiające:



- . wejście do i wyjście z systemu /np. log in a, b oraz log out a, b w CTSS gdzie a - nazwa problemu, b - nazwa użytkownika/,
  - . ładowanie i start programu /np. load  $a_1, a_2, \dots, a_n$  oraz start w CTSS gdzie  $a_1$  nazwa zbioru/
  - . wprowadzenie programu z urządzenia końcowego,
  - . inicjowanie translacji,
  - . czekanie.
- c. Języka uruchamiania programów, stanowiącego zbiór szeregu rozkazów, z których może korzystać użytkownik dla bezpośredniego uruchamiania programu z urządzenia końcowego, Język taki dostarcza aparatu do modyfikacji, zmiany lub zastąpienia części programu, do wyprowadzania śladów wykonania programu, wyprowadzania zawartości pewnych rejestrów i obszarów pamięciowych oraz modyfikacji ich zawartości.
- d. Języków symbolicznych, np. ALGOL, COBOL, FORTRAN, które zapewniają możliwość konwersacyjnej współpracy użytkownika z maszyną.

Pewne dodatkowe oprogramowanie może powodować znaczny wzrost wydajności SWD. Do oprogramowania tego zaliczamy:

- . programy użytkowe /np. kopiowanie informacji z nośnika na nośnik/,
- . programy komunikacji pomiędzy urządzeniami końcowymi,
- . specjalne problemowo-orientowane języki.

#### 4. Koszt

Proste porównanie kosztów SWD z kosztami systemu konwencjonalnego /pracującego metodą "batch processing"/ jest niemożliwe.

Funkcje wykonywane przez system konwencjonalny są w pełni wykonywane w SWD, przy czym ten ostatni posiada szereg nowych możliwości, które poprzednio nie istniały. Porównanie kosztów może być tylko orientacyjne i może wskazywać na główne przyczyny wzrostu kosztów SWD.



Koszty oprogramowania. Główną przyczyną wzrostu kosztów oprogramowania jest jego złożoność wynikająca z:

- Jednoczesności wielu zdarzeń, które mogą wystąpić w systemie. System musi posiadać możliwość budowy odpowiednich powiązań w celu oddziaływania na różnorodne zdarzenia wewnętrzne i przerwania.
- Istnienia "nakładek" /overlay/ w PAG związanych z wielokrotnymi wymianami danych pomiędzy PAG i pamięcią wtórną. Wymaga to aparatu programowego do maksymalnie efektywnego wykorzystania układu dynamicznego przemieszczania.
- Zarządzania danymi dotyczącymi złożonych problemów w przypadku organizacji wielu poziomów pamięci. Definiowanie danych musi być wszechstronnie określone zarówno z punktu widzenia wielu użytkowników jak i wielu poziomów pamięci.
- Algorytmu planowania pracy systemu. Algorytm ten uwzględnia różnorodne sytuacje konfliktowe wewnątrz systemu i pomiędzy użytkownikami. Uzyskanie optymalnego wykorzystania systemu poprzez opracowanie algorytmu planistycznego wymaga trudnej pracy koncepcyjnej oraz symulacji działania systemu. Duża liczba parametrów oraz anomalie działania użytkowników i sprzętu uniemożliwiają opracowanie uniwersalnego algorytmu planowania.
- Języków konwersacyjnych opartych na modyfikacji istniejących języków oraz nowych języków orientowanych problemowo.

Koszty środków technicznych. Koszty systemu zdolnego do efektywnej pracy wielodostępnej przekraczają koszt systemu klasycznego ze względu na:

- dodatkowe układy sterowania pamięcią /dynamiczne przemieszczanie/,
- zrównoleglenie operacji pamięci,
- dużą i szybką pamięć główną oraz dodatkową pamięć masową,
- wzrost pojemności pamięci wtórnej,
- spadek efektywności części centralnej dla programów użytkowych związany z rozbudowaniem programów sterujących.

Inną łatwo zauważalną przyczynę wzrostu kosztów SWD stanowią urządzenia końcowe i dzierżawa linii telekomunikacyjnych.







Mgr inż. Jerzy EKNER  
Instytut Maszyn Matematycznych

681.325.023-216

## SZKIELETY CYFROWYCH URZĄDZEŃ ELEKTRONICZNYCH<sup>x</sup>

### C z ę ś ć II

#### SZKIELETY BLOKÓW

##### 1. Wstęp

Możliwe rozwiązania szkieletów elektronicznych bloków cyfrowych, dla których zestawiono w tabeli 1 cechy wspólne, można pogrupować w następujące zbiory:

- kasety, najliczniejszy i najbardziej rozpowszechniony typ konstrukcji /rys. 1, 2, 3/.
- szkielety płytowe /rys. 16/.
- ramy /rys. 17, 18/.
- szuflady, bardzo często stosowane jako szkielety zasilaczy /rys.20/.
- szkielety specjalne /rys. 22/.

##### 2. Kasety

Kasety są szkieletami przeznaczonymi w zasadzie dla bloków utworzonych z pakietów. Kaseta składa się z następujących elementów: ścianek bocznych, belek poprzecznych, przewodnic, złącz i elementów łączących elektrycznie wyprowadzenia kontaktów złącz. Przykładowa konstrukcja kasety dla jednej warstwy pakietów przedstawiona jest na rys. 1.

Wymiary kaset są funkcją wymiarów modułów podstawowych. Rozstaw belek poprzecznych uzależniony jest od szerokości B i długości L płytki

<sup>x</sup>

Część I artykułu patrz ETO Nowości Nr 2/1970, s. 53-87,



Tabela 1. Zestawienie cech wspólnych szkieletu bloków i systemów

Lp	Cechy wspólne	Możliwe rozwiązania				
		A	B	C	D	E
1	Rozwiązanie konstrukcyjne modułu podstawowego i jego wymiary gabarytowe	plytka z obwodem drukowanym	plytka z mikroukładami i połączeniami między nimi wykonanymi za pomocą przewodów drutowych	plytka uniwersalna składająca się z kilku płytek	moduł podstawowy z połączeniami elektrycznymi wykonanymi z wykrawanych paszków	
2	Liczba warstw lub szeregów modułów podstawowych umieszczonych w bloku	jedna warstwa modułów podstawowych rys. 4	dwie warstwy modułów podstawowych z możliwością wkładania modułów o dwóch różnych szerokościach rys. 8	kilka warstw modułów podstawowych rys. 16		
3	Prowadnice modułów podstawowych	Prowadnice z tworzywa sztucznego pojedyncze rys. 9		Prowadnice z metalu pojedyncze rys. 13		Prowadnice obrotowe /osadzenie modułu podstawowego na osi/
4	Rodzaj złącza	bezpośrednie	Złącza płaskie do obwodów drukowanych pośrednie			
				złącza z gniazdami stożkowymi i szpilkami stożkowymi rys. 3	złącza z rozchylanymi kontaktami rys. 7	



Tabela 1. Zestawienie cech wspólnych szkieletu bloków i systemów /c.d./

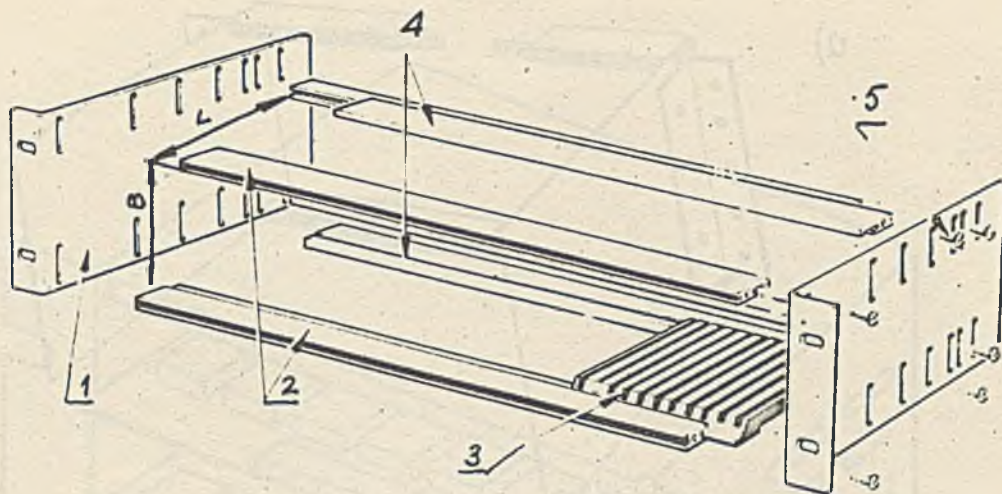
Lp.	Cechy wspólne	Możliwe rozwiązania				
		A	B	C	D	E
5	Mocowanie złącz do szkieletu bloku	obudowy złącz mocowane bezpośrednio do szkieletów za pomocą wkrętów rys. 6	obudowy złącz mocowane do szkieletów za pomocą metalowych klipsów i wkrętów rys. 11	kontakty, umieszczone we wspólnej płycie, współpracujące ze złączami pośrednimi pakietów rys. 15		
6	Połączenia między modułami podstawowymi	druty lub linki schematowe w izolacji	przewody drukowane wielowarstwowej płyty drukowanej	giętkie obwo- dy drukowane lub giętkie płaskie kable		
7	Przewody do zasilania	płaskie warstwowe szyny rys. 14	giętkie płaskie kable	przewody drutowe		
8	Wyjście z bloków	złącze montowane na szkieletach rys. 18	wiązka przewodów elastycznych	giętkie kable elastyczne	wiązka przewodów koncentrycznych	
9	Odprowadzenie ciepła z bloku	ruch powietrza omywającego elementy dobrze przewodzące /np. rys. 22c/	wymuszony ruch powietrza dodatkowo chłodzonego przez specjalne urządzenia			



Tabela 1. Zestawienie cech wspólnych szkieletu bloków i systemów /c.d./

Lp.	Cechy wspólne	Możliwe rozwiązania				
		A	B	C	D	E
		przewodnice metalowe lub dodatkowe radiatory				
10	Możliwość dostępu do modułów podstawowych i połączeń między nimi /dostęp do okablowania/	Ramy z blokami odchylane podobnie jak karty w książce ustawionej pionowo	leżącej poziomo	Ramy z blokami wysuwane ze szkieletu szafy podobnie jak książki z półki	podobnie jak szuflady biurka	Ramy wychylane
11	Sposób upakowania bloków w urządzeniu /zwłaszcza o zastosowaniu specjalnym/	płaski	przestrzenny			





Rys. 1. Przykładowa konstrukcja kasety z pokazaniem elementów składowych  
1 ścianka boczna, 2 belki poprzeczne przednie, 3 zespół przewodnic, 4 belki poprzeczne tylne, 5 wkręty mocujące

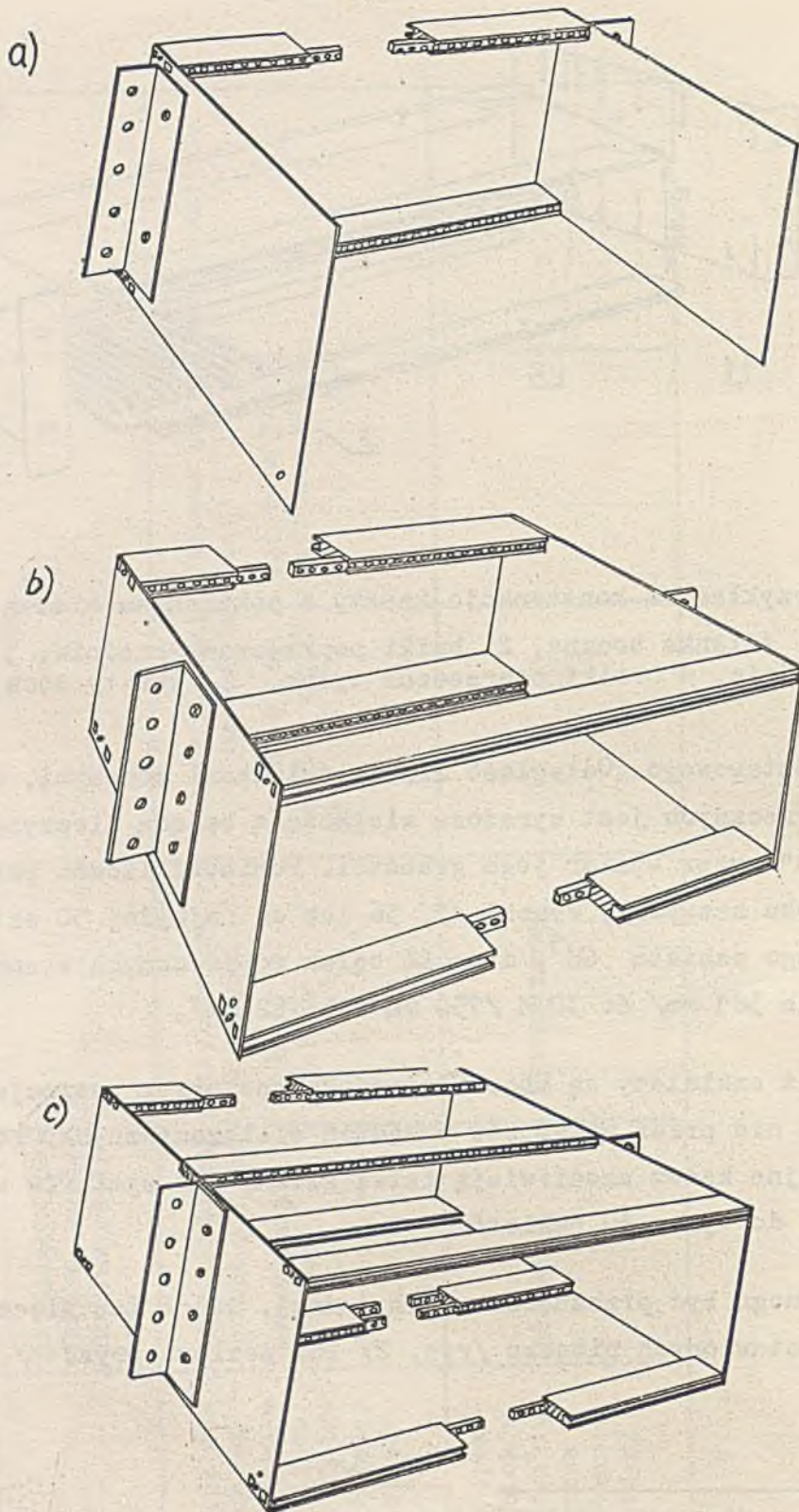
modułu podstawowego. Odległość między ściankami bocznymi, czyli długość belek poprzecznych jest wyrażona wielkością będącą iloczynem pakietów w bloku "n" przez wymiar jego grubości. Ponieważ liczba pakietów, w jednym bloku zazwyczaj wynosi 15, 36 lub co najwyżej 50 sztuk, a grubość jednego pakietu  $6M^1$ , długość belek poprzecznych wynosi od 150M /375 mm lub 381 mm/ do 300M /750 mm lub 762 mm/.

Ponieważ szkielety są obecnie produkowane przez wyspecjalizowane zakłady, a nie przez wytwórców urządzeń elektronicznych, rozwiązania konstrukcyjne kaset umożliwiają łatwą zmianę ich wymiarów w celu przystosowania do wymiarów pakietów.

Kasety mogą być przeznaczone dla jednej, dwóch lub więcej warstw pakietów ustawionych pionowo /rys. 2/ lub poziomo /rys. 3/.

<sup>1</sup> Wymiary szkieletów urządzeń elektronicznych są wielokrotnością stałej wielkości nazywanej modułem M. W krajach systemu metrycznego  $M = 2,5$  mm, a w krajach systemu calowego  $M = 2,54$  mm. Grubość pakietu  $6M =$  grubość płytki  $0,62M +$  wysokość przestrzeni przeznaczonych dla montażu mikroukładów i elementów dyskretnych  $3M +$  wysokość przestrzeni po drugiej stronie płytki przeznaczonej dla połączeń między wyprowadzeniami mikroukładów  $1M +$  luz między pakietami  $1,38M$ .

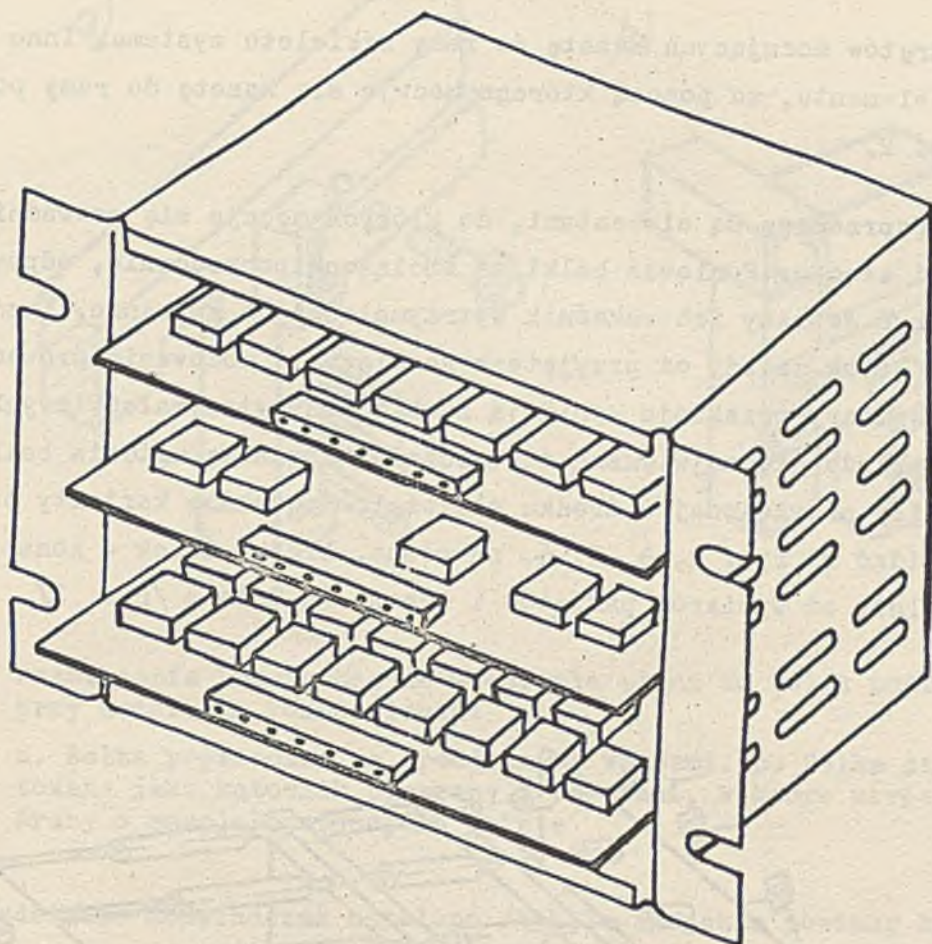




Rys. 2. Rozwiązanie konstrukcyjne kaset w zależności od wymiarów pakietów

- a. dla pakietów o długości do 40M,
- b. " " " " od 63,5M do 100M,
- c. " " " " od 133,5M do 200M





Rys. 3. Kasetę z pakietami umieszczonymi poziomo. Złącza o gniazdach stożkowych współpracujących ze stożkowymi szpilkami

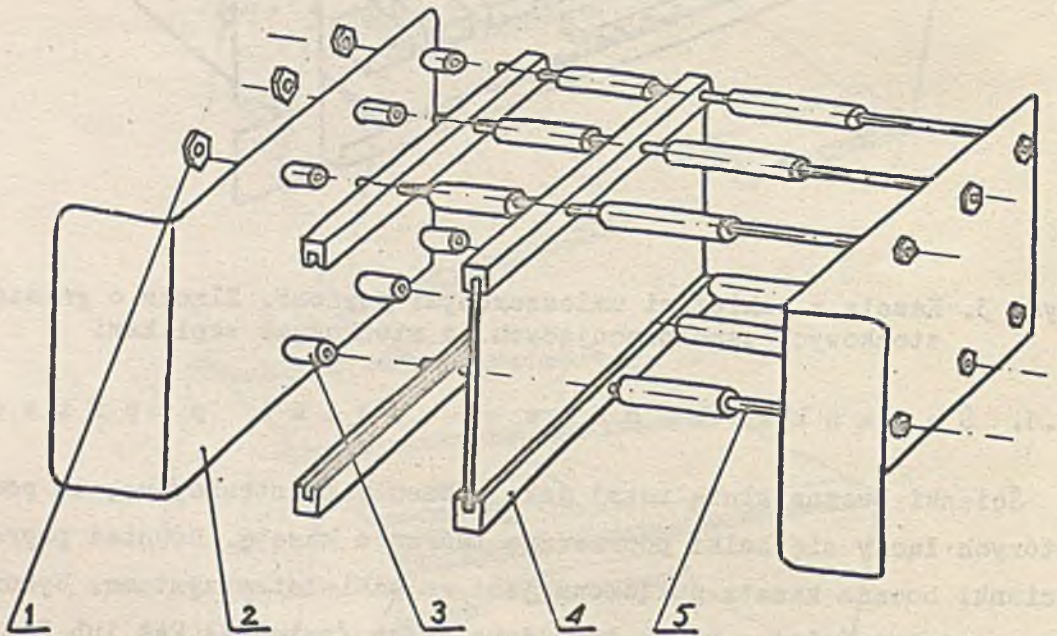
## 2.1. Ścianki boczne i belki poprzeczne

Ścianki boczne służą tutaj jako elementy konstrukcyjne, za pomocą których łączy się belki poprzeczne tworzące kasetę. Również poprzez ścianki boczne kasetę połączona jest ze szkieletem systemu. Wykonane są one najczęściej z blach tzw. duralowych /materiał PA4 lub PA6 według PN/ anodowo utlenianych i barwionych /tzw. eloksyacja/. Celem zwiększenia sztywności ścianek na zginanie czasami są w nich wytłaczane odpowiednie żebra. Otwory dla wkrętów mocujących belki poprzeczne wykonane są w kształcie podłużnych szczelin. Dzięki temu możliwa jest łatwa zmiana rozstawu belek poprzecznych w zależności od szerokości pakietu. Kilka równoległe wykonanych szczelin pozwala na zmianę rozstawu belek w zależności od długości pakietu. Otwory wykonane w przedniej części ścianek odgiętych prostopadle do całości /rys. 1/ przeznaczone



są dla wkrętów mocujących kasetę do ramy szkieletu systemu. Inne rozwiązanie elementu, za pomocą którego mocuje się kasetę do ramy pokazano na rys. 2.

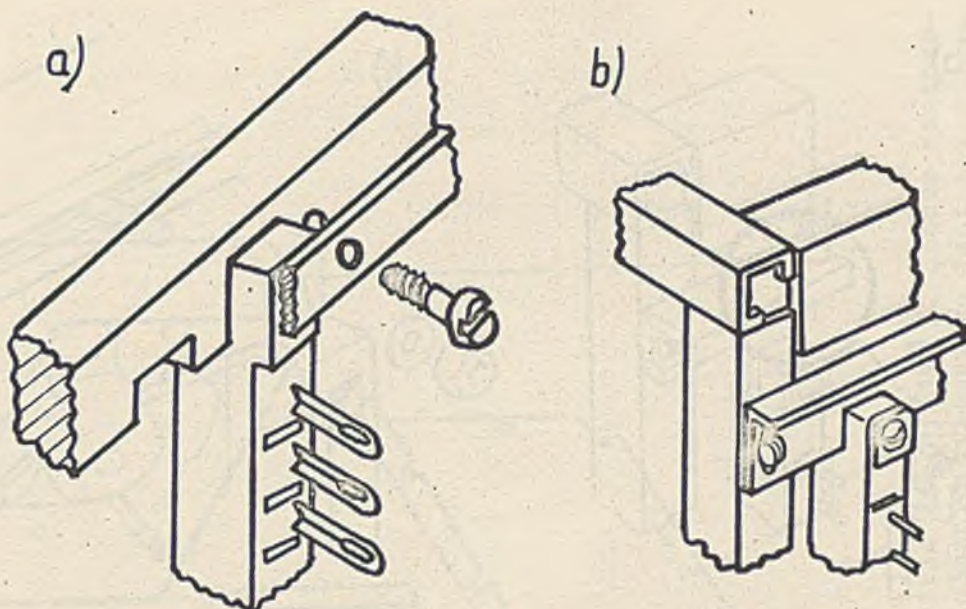
Belki poprzeczne są elementami, do których mocuje się przewodnice pakietów i złącza. Ponieważ belki są obciążone poprzecznie, odpowiednio musi być dobrany ich wskaźnik wytrzymałości na zginanie. Kształt przekroju belek zależy od przyjętego rozwiązania mocowania przewodnic i złącz. Wymiary przekroju wynikają z obliczeń wytrzymałościowych, w których zakłada się największą dopuszczalną strzałkę ugięcia belki pod wpływem siły przyłożonej w środku długości. Spotykane kształty przekrojów, jak widać na rys. 2, 4, 5, 6, są różne. Liczba belek w konstrukcji kasety zależy od wymiarów pakietów i wynosi od 2 do 4 /rys. 2/.



Rys. 4. Kasetę z belkami poprzecznymi umożliwiającymi regulowanie odległości między pakietami /wg Vero Electronic Ltd [11] /

1 nakrętka z podkładką sprężynującą, 2 ścianka boczna, 3 tulejka ustalająca rozstawienie między przewodnicą i ścianką boczną lub rozstawienie między sąsiednimi przewodnicami, 4 przewodnica, 5 belka poprzeczna o przekroju kołowym





Rys. 5. Rozwiązania konstrukcyjne mocowania złącz do belek poprzecznych, przy ustalonym rozstawieniu:

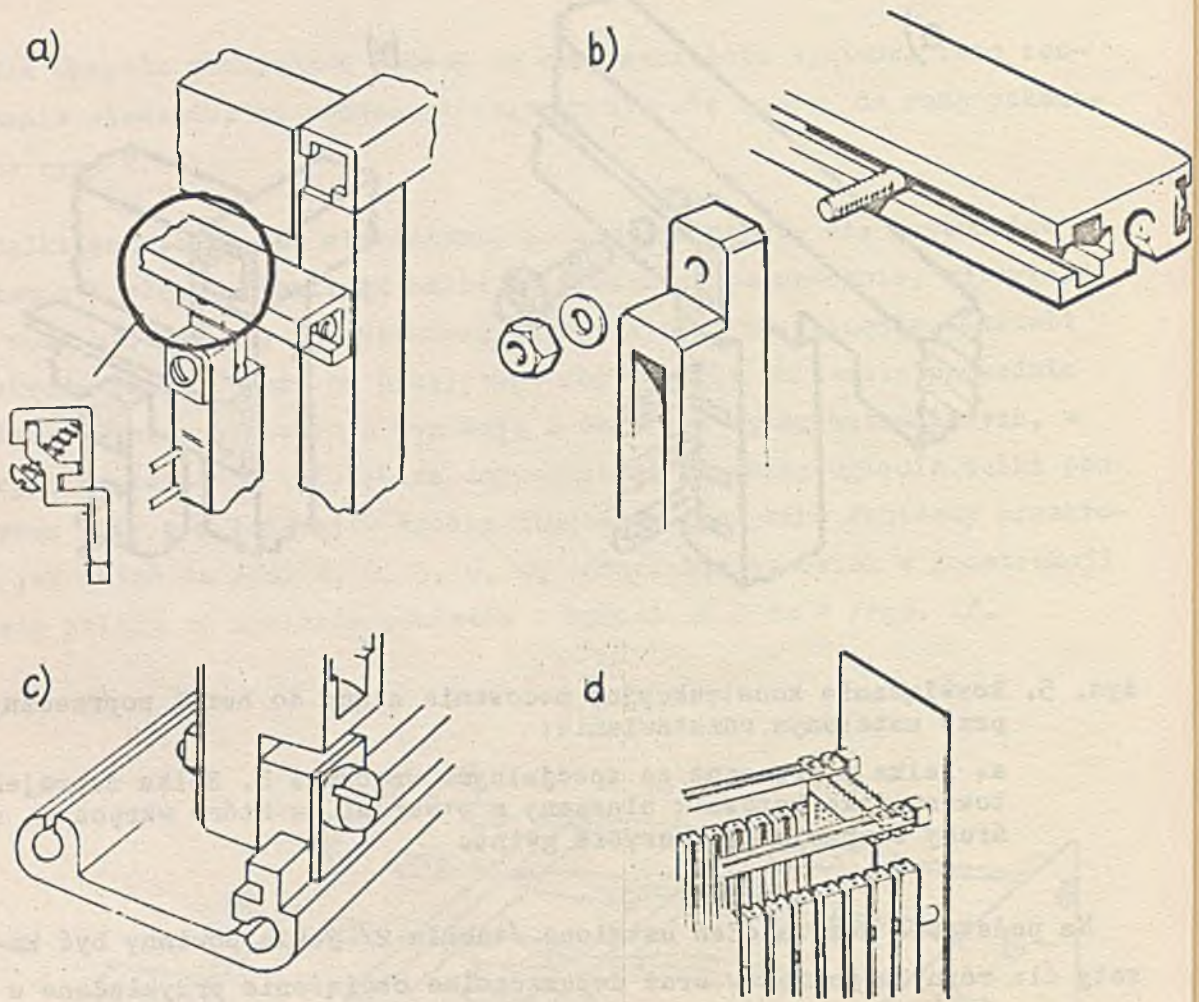
- a. Belka poprzeczna ze specjalnymi wrębami. b. Belka zaprojektowana jako kątownik blaszany z otworami, w które wkręcane są śruby o specjalnym zarysie gwintu

Na podstawie doświadczeń ustalono /tabela 2/ jakie powinny być kasety dla różnych pakietów oraz dopuszczalne obciążenie przykładane w środku długości belki i odpowiadające im strzałki ugięcia [1]. Największa strzałka ugięcia nie może być większa od głębokości rowka w prowadnicach tzn. 0,75M /1,9 mm/ przy płytce o grubości 1,5 mm. W przypadku mniejszego ciężaru pakietów siły obciążające belki są mniejsze i proporcjonalnie mniejsze powinny być ugięcia.

W niektórych szkieletach nie ma belek jako osobnych elementów. Prowadnice ukształtowane są bezpośrednio w ścianie kasety wykonanej z blachy /rys. 7/.

W przypadku kaset przeznaczonych dla pakietów o szerokościach np. 31M i 63M, pakiety małe umieszczane są wówczas w dwóch warstwach /rys. 8/ obok pakietów dużych ustawionych w jednej warstwie. Belki poprzeczne mocuje się wtedy z jednej strony do ścianki bocznej, a z drugiej strony do ścianki umieszczonej w środku kasety.



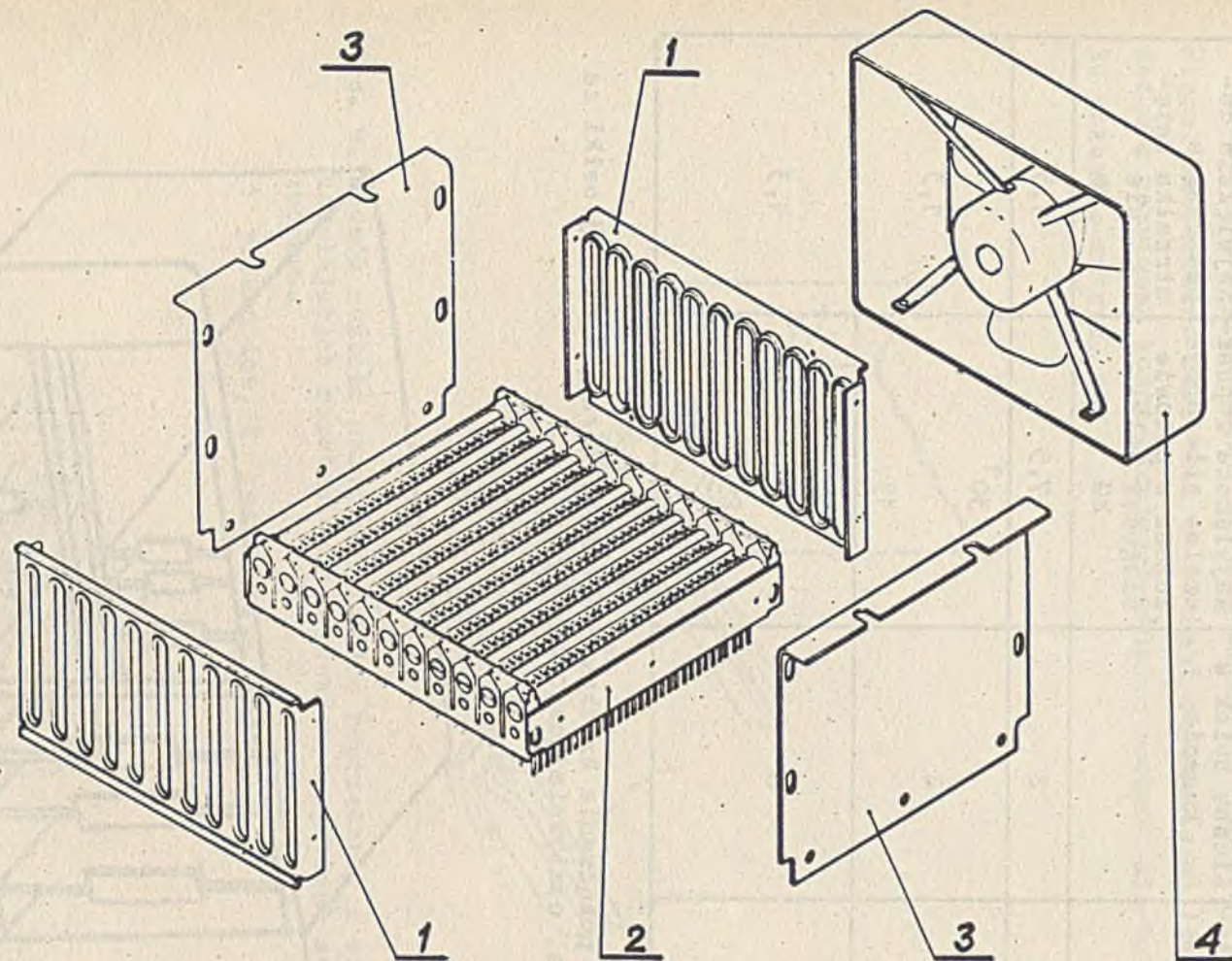


Rys. 6. Rozwiązania konstrukcyjne mocowania złącz do belek poprzecznych umożliwiające zmianę rozstawienia:

- a. Belka w kształcie kątownika blaszanego ze specjalnymi przesuwными łącznikami do przykręcania złącz. b. Belka z rowkiem "T-owym" dla łbów śrub, do których mocowane są złącza za pomocą nakrętek. c. Belka z zawiniętymi krawędziami i dodatkowe elementy przesuwane do mocowania złącz. d. Belka z podłużnym otworem osadzona w specjalnych gniazdach ścianek bocznych

Uwzględniając możliwość umieszczania w kasce pakietów o różnej grubości /różnej wysokości przestrzeni przeznaczonych na montaż mikroukładów i elementów dyskretnych/ opracowano belki poprzeczne, na których można mocować przewody w dowolnej odległości od siebie /rys. 4 i 9/. Pojedyncze przewody nasuwane na pręty o przekroju kołowym lub





Rys. 7. Kasetka z przewodnikami tłoczonymi w blasze /wg ITT Canon Electric Inc. [17] /. Złącza zastosowane w powyższej kasecie mają rozchylane kontakty. Dobre chłodzenie zapewnione jest przez dmuchawę wymuszającą opływ powietrza

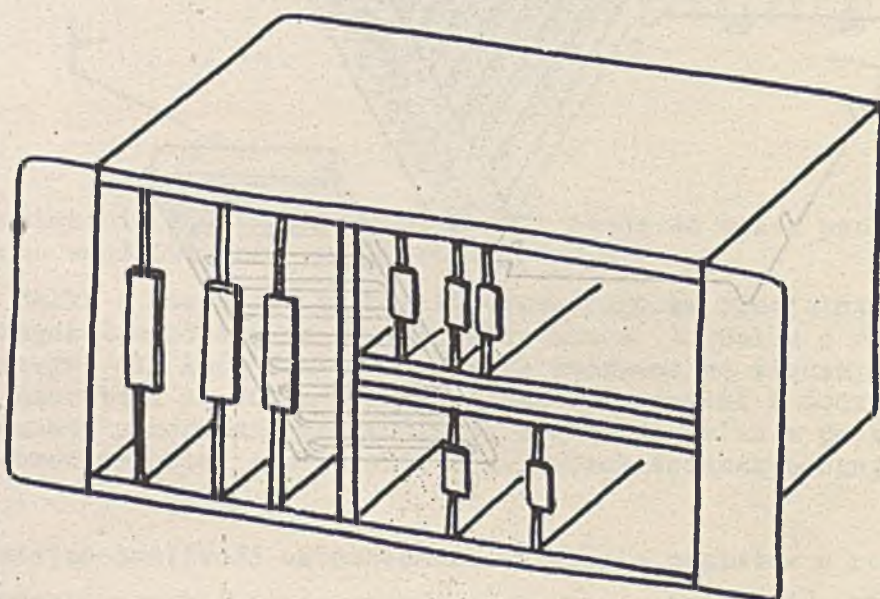
1 zespół przewodnic z blachy, 2 zespół złącz, 3 ścianka boczna, 4 dmuchawa



**Tabela 2.** Liczba belek poprzecznych w kasecie w zależności od wymiarów pakietów oraz dopuszczalne obciążenia i odkształcenia

Długość pakietu wyrażona w mo- dulach M	Liczba belek w kasecie	Największa dopusz- czalna siła przy- łożona w połowie długości belki kG	Największa do- puszczalna strzałka ugię- cia mm
40	2	7,5	1,3
63,5 70 100	4	30 <sup>1</sup>  15	1,3
133,5 140 170 200	6	58 <sup>1</sup>  25	1,3

<sup>1</sup> w przypadku połączenia środkowych punktów górnej i dolnej belki za pomocą pręta, usztywniającego kasetę

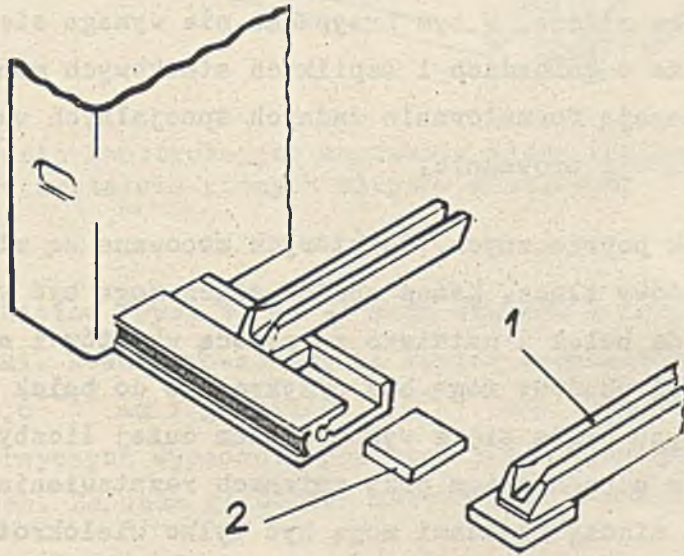


**Rys. 8.** Kasetka dwuwarstwowa o konstrukcji umożliwiającej wstawianie pakietów o dwóch różnych szerokościach pakietu /wg Vero Electronic Ltd [24] /



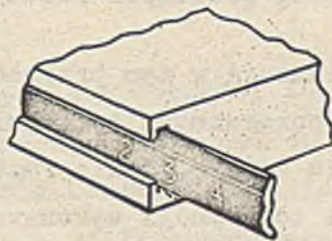
wsuwane w belki są oddzielane od siebie specjalnymi tulejkami lub kostkami.

Na belkach poprzecznych, zarówno od strony czołowej jak i od strony złącz, umieszczono tabliczki ze znakami czy napisami informacyjnymi. Jedno z rozwiązań konstrukcyjnych belki z rowkami dla tabliczki zostało pokazane na rys. 10.



Rys. 9. Sposób montażu przewodnic w belce poprzecznej z użyciem kostek ustalających rozstawienie. Przewodnica wykonana ze sztucznego tworzywa

1 przewodnica, 2 kostka ustalająca



Rys. 10. Belka poprzeczna z rowkami do umieszczenia tabliczki



## 2.2. Z ł ą c z a i p r o w a d n i c e

Złącza i prowadnice są częściami kasety, związanymi bezpośrednio z pakietami. Złącza płaskie mogą posiadać rozmałą konstrukcję /tab. 1 rozw. 4A, 4B, 4C, 4D/, która wpływa z kolei na konstrukcję prowadnic i belek poprzecznych. Złącza bezpośrednie i złącza z rozchylanymi kontaktami wymagają stosowania dokładnych prowadnic ustawiających płytke względem nich. Złącza pośrednie w większości rozwiązań mają własne elementy naprowadzające obie części złącza względem siebie, a tym samym i pakiet względem złącza. W tym przypadku nie wymaga się dokładnych prowadnic. Złącza o gniazdach i szpilkach stożkowych montowane na pakietach nie wymagają formułowania żadnych specjalnych warunków w stosunku do konstrukcji prowadnic.

Kształt belek poprzecznych, do których mocowane są złącza zależy od rozwiązania obudowy złącz. Końce obudów złącz mogą być wkładane w odpowiednie gniazda belek i ustalane za pomocą wkrętów z nakrętkami /rys. 5a/ lub też obudowy mogą być przykręcane do belek /rys. 5b/. Rozwiązanie tego typu wiąże się z wykonywaniem dużej liczby otworów w belkach oraz pewnym utrudnieniem przy zmianach rozstawienia złącz, albowiem odległości między złączami mogą być tylko wielokrotnościami najmniejszego rozstawienia złącz.

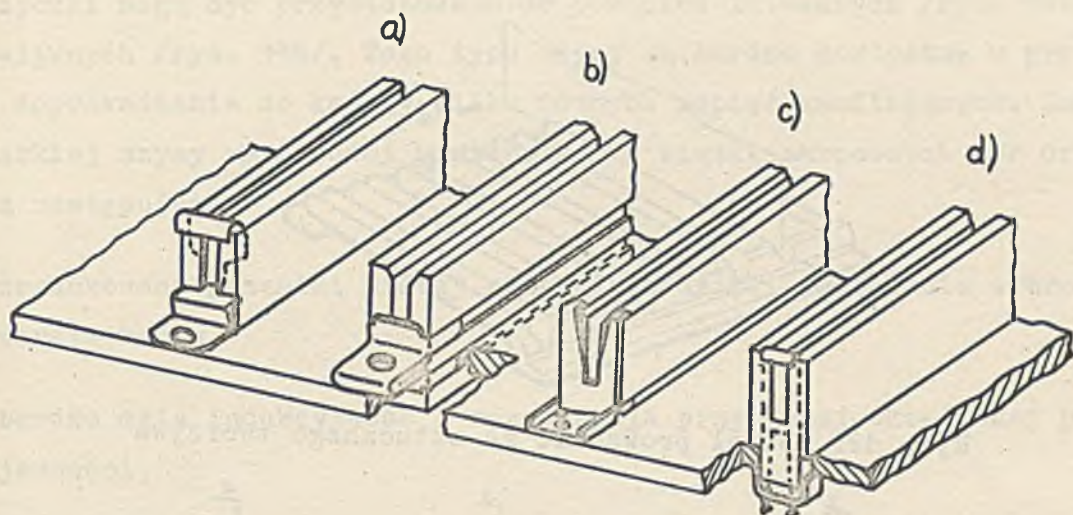
Rozwiązanie przedstawione na rys. 6 i rys. 11d eliminuje powyższe wady. Bardzo wygodny jest sposób mocowania za pomocą metalowych klipsów ukazanych na rys. 11. Obserwuje się ostatnio tendencję takiego typu rozwiązania konstrukcyjnego kaset, według którego złącza przymocowywane są do ramki stanowiącej podzespół kasety<sup>1</sup>.

Oddzielny podzespół stanowią w tym przypadku prowadnice przymocowane do belek poprzecznych połączonych bocznymi ściankami. Po zmontowaniu oba podzespoły tworzą kasetę. Takie rozwiązanie pociąga za sobą konieczność zawężenia pól tolerancji wykonawczych elementów składowych kasety.

---

<sup>1</sup> Przyczyną takiego rodzaju rozwiązania jest automatyzacja operacji owijania i zaciskania za pomocą klipsów przy łączeniu przewodów z wyprowadzeniami kontaktów złącz. Owijanie i zaciskanie jest wykonywane coraz częściej za pomocą maszyn sterowanych programowo





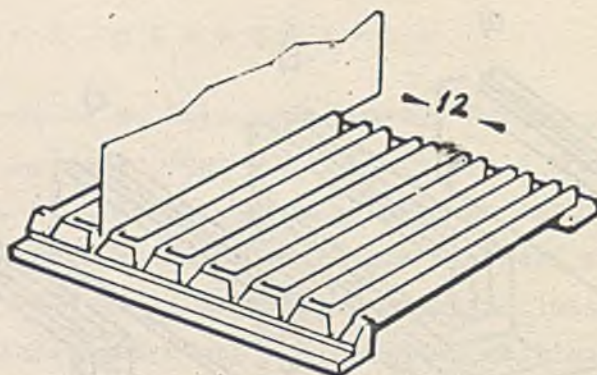
Rys. 11. Rozwiązania konstrukcyjne mocowania złącz z elementami mocującymi w kształcie różnych klipsów metalowych

Prowadnice pakietów /rys. 1, 4, 9/ mają długość w przybliżeniu równą długości płytki. Rowek prowadnicy ma wymiar szerokości równy grubości płytki tzn.  $1,6^{+0,2}$  mm i głębokość  $1,9^{+0,1}$  mm. Zbyt mała głębokość rowka może być przyczyną wypadania pakietów przy większych ugięciach belek poprzecznych. Za duża głębokość zawęża pole montażowe pakietu.

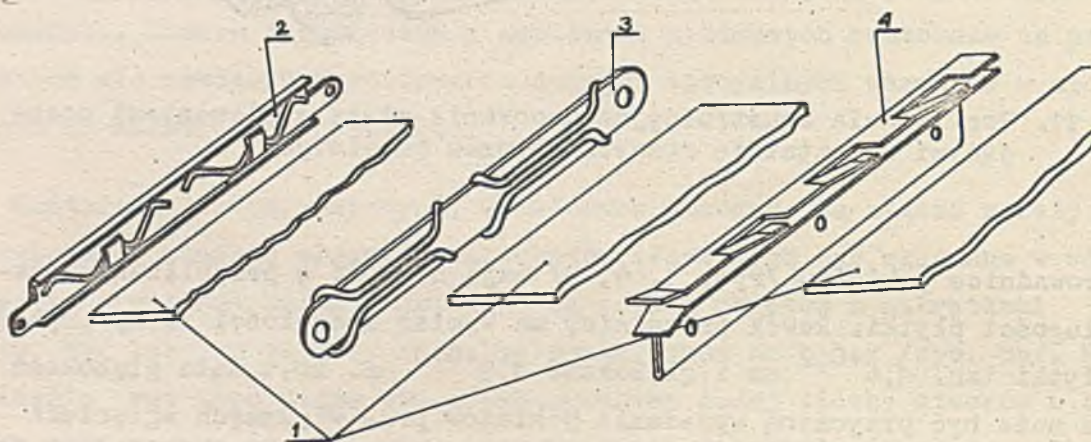
Szerokość prowadnicy powinna być jak najmniejsza, żeby po zmontowaniu prowadnic w kasce pozostały jak największe szczeliny, między innymi dla przepływu powietrza. Prowadnice wykonywane są z polistyrenu, duralu /tzn. PA4 lub PA6/, ewentualnie z blachy stalowej lub nawet z brązu berylowego. Prowadnice z tworzyw są tańsze. Prowadnice z metalu są stosowane w takim przypadku, gdy trzeba intensywnie chłodzić urządzenie.

Na rys. 9 pokazano pojedynczą prowadnicę wykonaną z polistyrenu. Zwiększenie wymiarów na końcach, w stosunku do części środkowej, pozwala na uniknięcie stosowania kostek ustalających normalne odstępy między pakietami. Prowadnice z polistyrenu mogą być dla ułatwienia montażu formowane w zespołach jak na rys. 1 i 12. Prowadnice metalowe z brązu berylowego /rys. 13/ mogą mieć różne kształty. Wszystkie prowadnice posiadają sprężyste elementy zaciskające się na krawędzi płytki. Sposób mocowania prowadnic do belek poprzecznych wyjaśniają rysunki 1, 4, 9.





Rys. 12. Zespół przewodnic ze sztucznego tworzywa



Rys. 13. Prowadnice metalowe

1 płytka pakietu, 2 przewodnica w kształcie ceownika, 3 przewodnica w kształcie płaskownika z drutowymi elementami zaciskowymi, 4 przewodnica wykrawana i krępowana z blachy brązowej; elementy zaciskowe w kształcie języczków

### 2.3. Elementy łączące elektrycznie wyprowadzenia kontaktów złącz

Połączenia pomiędzy wyprowadzeniami kontaktów złącz mogą być realizowane za pomocą przewodów drutowych lub przewodów drukowanych.

Wymaganie małej indukcyjności przewodów i dokładnego ich ekranowania doprowadziło do opracowania płaskich warstwowych szyn pokazanych na rys. 14. Płaskie szyny warstwowe są wykonane z pasków wykrawanych z blachy, przekładanych paskami izolującymi. Na krawędziach pasków z blachy umieszczone są języczki, które łączą się za pomocą drutów z wyprowadzeniami kontaktów.



Języczki mogą być przystosowane do połączeń lutowanych /rys. 14a/ lub owijanych /rys. 14b/. Tego typu szyny są bardzo korzystne w przypadku doprowadzania do kasety kilku różnych napięć zasilających. Zalety płaskiej szyny warstwowej w stosunku do wiązki skręconych par drutów są następujące:

- zredukowane przeniki między przewodami dzięki uziemieniu wybranych warstw kabla,
- bardzo mała indukcyjność i rezystancja przy dużej określonej pojemności,
- bardzo dobre ekranowanie poszczególnych pasków z blachy,
- łatwy montaż wiązki,
- gęściejsze upakowanie przewodów,
- możliwość zastosowania technologii owijania przy łączeniu języczków pasków z wyprowadzeniami kontaktów złącz.

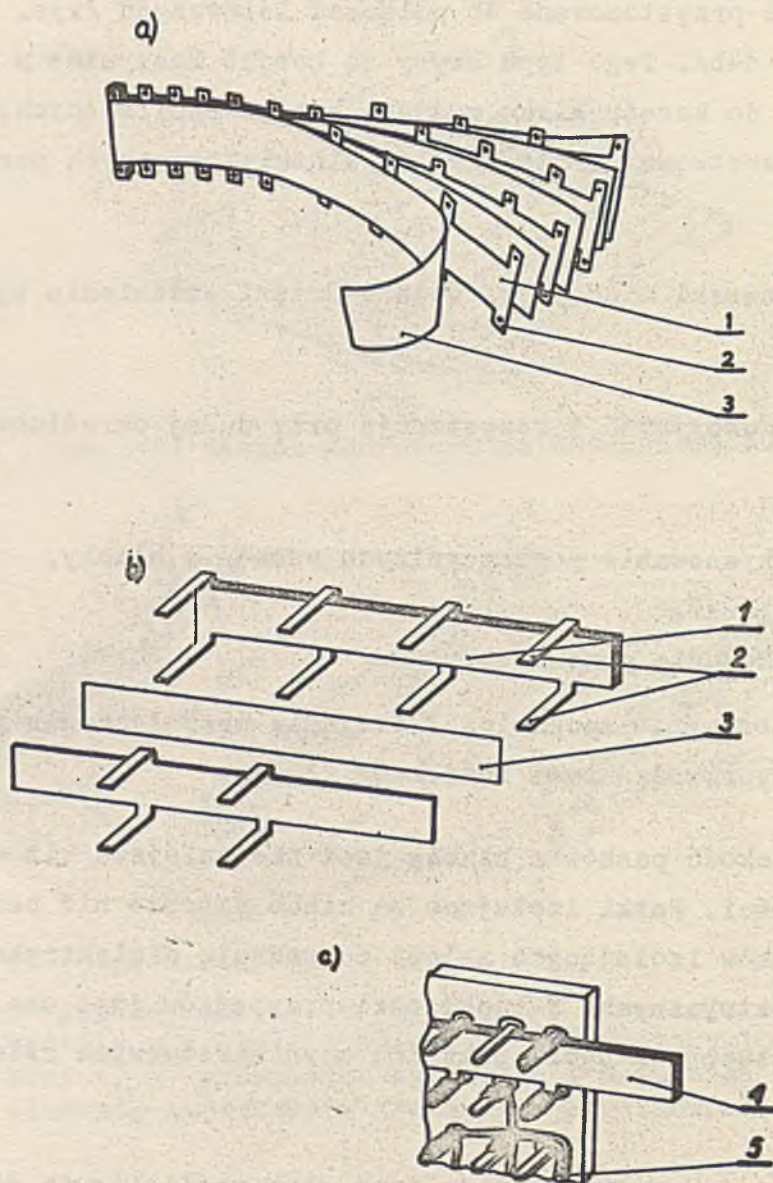
Najczęściej szerokość pasków z blachy jest nie mniejsza niż wartość 3-krotnej ich grubości. Paski izolujące są nieco szersze niż paski z blachy. Grubość pasków izolujących zależy od rodzaju dielektryka i stawianych wymagań elektrycznych. W większości przypadków jest ona równa grubości pasków z blachy. Długość płaskich szyn warstwowych zależy od konstrukcji urządzenia.

Istnieją dwie metody mocowania tego typu szyn zasilających do szkieletów: za pomocą odpowiednich uchwytów obejmujących całą szynę lub poprzez przykręcenie szyny do szkieletu wkrętami przechodzącymi przez izolowane elektrycznie otwory w szynie.

W przypadku szyn z języczkami do lutowania, warstwy przewodzące wykonane są z półtwardych taśm miedzianych cynowanych, srebrzonych lub złoconych. W przypadku stosowania technologii owijania, paski przewodzące wykonane są z twardych taśm miedzianych lub brązowych np. z brązu berylowego.

W urządzeniach o dużej gęstości upakowania połączenia są realizowane za pomocą przewodów drukowanych na kilku warstwowych płytach. Wyprowadzenia kontaktów złącz są wtedy wlutowywane w metalizowane otwory





### Płaskie warstwowe szyny

a/ Szyny z języczkami do przylutowywania przewodów produkowane przez Eldre Components [5]

1 pasek przewodzący, 2 języczek do połączeń lutowanych, 3 pasek izolacyjny

b/ Płaski warstwowy kabel z języczkami przystosowanymi do połączeń owijanych bandażowanych

1 pasek przewodzący, 2 języczki do połączeń owijanych bandażowanych, 3 pasek izolacyjny

c/ Fragment płyty tylnej z wystającymi wyprowadzeniami złącz i szyną zasilającą

4 płaski warstwowy kabel, 5 przewody drutowe łączące inne wyprowadzenia kontaktów złącz wystające z tylnej płyty



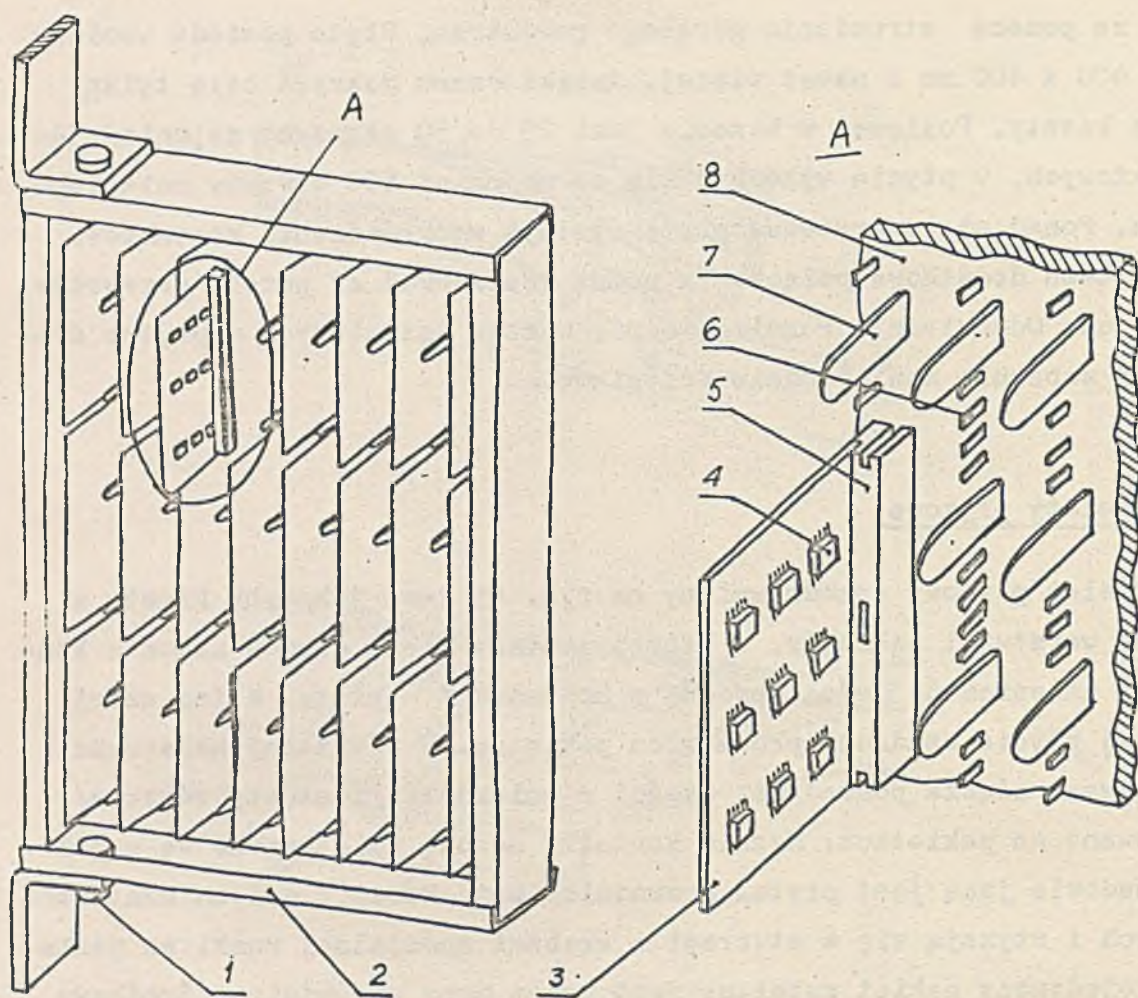
plyty za pomocą strumienia gorącego powietrza. Płyta posiada wymiary rzędu 400 x 400 mm a nawet więcej, dzięki czemu pokrywa całą tylną stronę kasety. Ponieważ w kasecie jest 25 do 50 złącz co najmniej 32-kontaktowych, w płycie wykonuje się co najmniej 800 otworów metalizowanych. Ponad wielowarstwową płytę wystają wyprowadzenia kontaktów. Dzięki temu dodatkowe połączenia można realizować za pomocą przewodów drutowych. Odpowiednie rozmieszczenie warstw uziemionych w płycie drukowanej zapewnia zmniejszenie przeników.

### 3. Szkielety płytowe

Szkielet płytowy przedstawiony na rys. 15 jest jakgdyby kaseta z wieloma warstwami pakietów, w której zamiast wielu obudów złącz z kontaktami umieszczono jedną obudowę z kontaktami - płytę. W tej samej sztywnej płycie osadzono prowadnice pakietów. W powyższej konstrukcji zastosowano złącza pośrednie. Części z gniazdami /kontakty żeńskie/ zamocowano na pakietach. Męskie kontakty nożowe umieszczono we wspólnej obudowie jaką jest płyta. Prowadnice mają kształt dużych kontaktów nożowych i stykają się z otworami i wrębami specjalnej ramki na pakiecie. Pojedynczy pakiet ustalany jest przez trzy prowadnice. Środkowy noż-prowadnica wchodzi w otwór ramki. Dwie boczne prowadnice stykają się z wrębami ramki, przy czym każdy nóż w tym rzędzie stanowi prowadnicę dla dwóch pakietów. Płyta jest zawieszona na ramie wykonanej z duralowych ceowników. Zewnętrzne wymiary szkieletu mają wymiary rzędu 340 mm x 280 mm x 90 mm.

Inne rozwiązanie szkieletu płytowego pokazano na rys. 16. Złącza bezpośrednie krawędziowe mają specjalną obudowę. Wyprowadzenia kontaktów są otoczone u podstawy materiałem izolacyjnym ukształtowanym w formie walcowego kołka. Płyta duralowa o wymiarach rzędu 850 x 500 x 4 mm stanowiąca szkielet posiada szereg otworów rozmieszczonych w węzłach siatki o boku równym podziałce wyprowadzeń kontaktów złącz. W powyższe otwory wciskane są walcowe kołki złącza. W ten sposób bez dodatkowych wkrętów mocujących złącze jest ustalone względem szkieletu. Niektóre podobne szkielety mają małe prowadnice mocowane do płyty duralowej. Prowadnice mogą być podobnie jak w kasetach pojedyncze lub zespołowe.





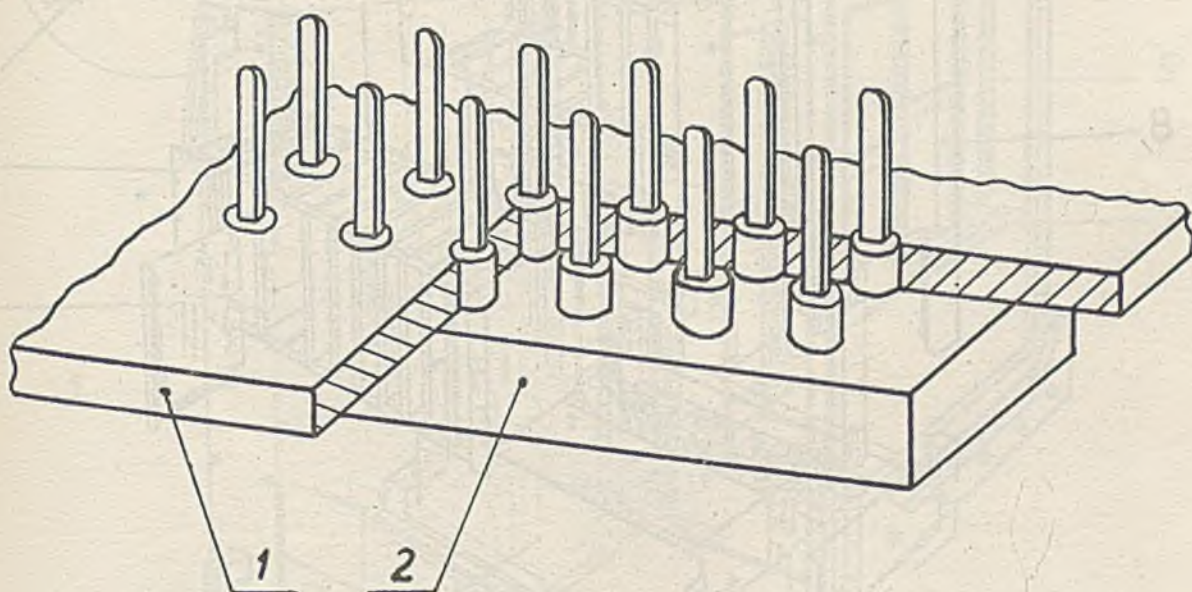
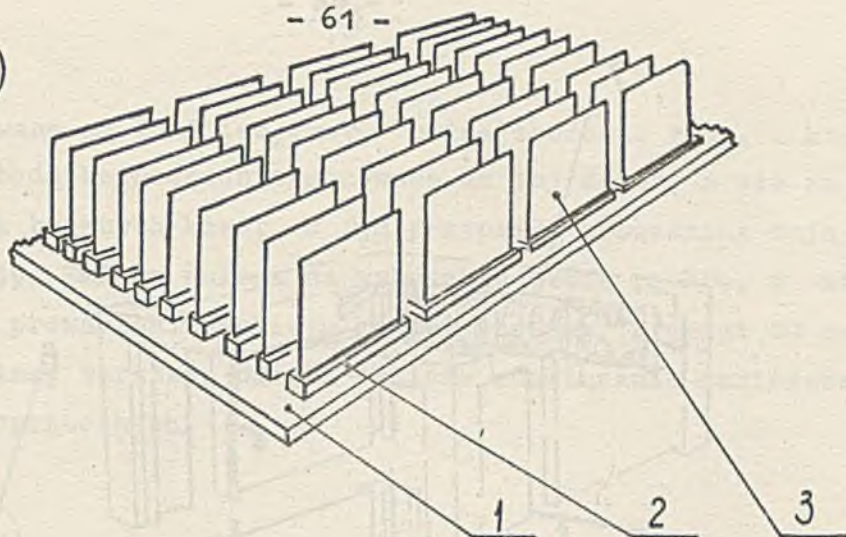
Rys. 15. Rama ze szkieletem płytowym, w którym męskie kontakty nożowe złączy zostały umieszczone we wspólnej tylnej płycie

1 zawias, 2 rama, 3 pakiet, 4 mikroukład, 5 obudowa podzespołu złącza z kontaktami żeńskimi. W obudowie wykonano wręby i otwór współpracujące z prowadnicami 7, 6 męskie kontakty osadzone we wspólnej płycie, 7 prowadnice nożowe, 8 płyta tylna

W szkieletach płytowych połączenia pomiędzy wyprowadzeniami kontaktów są rozwiązywane tak samo jak w kasetach /patrz pkt 2/.



a)

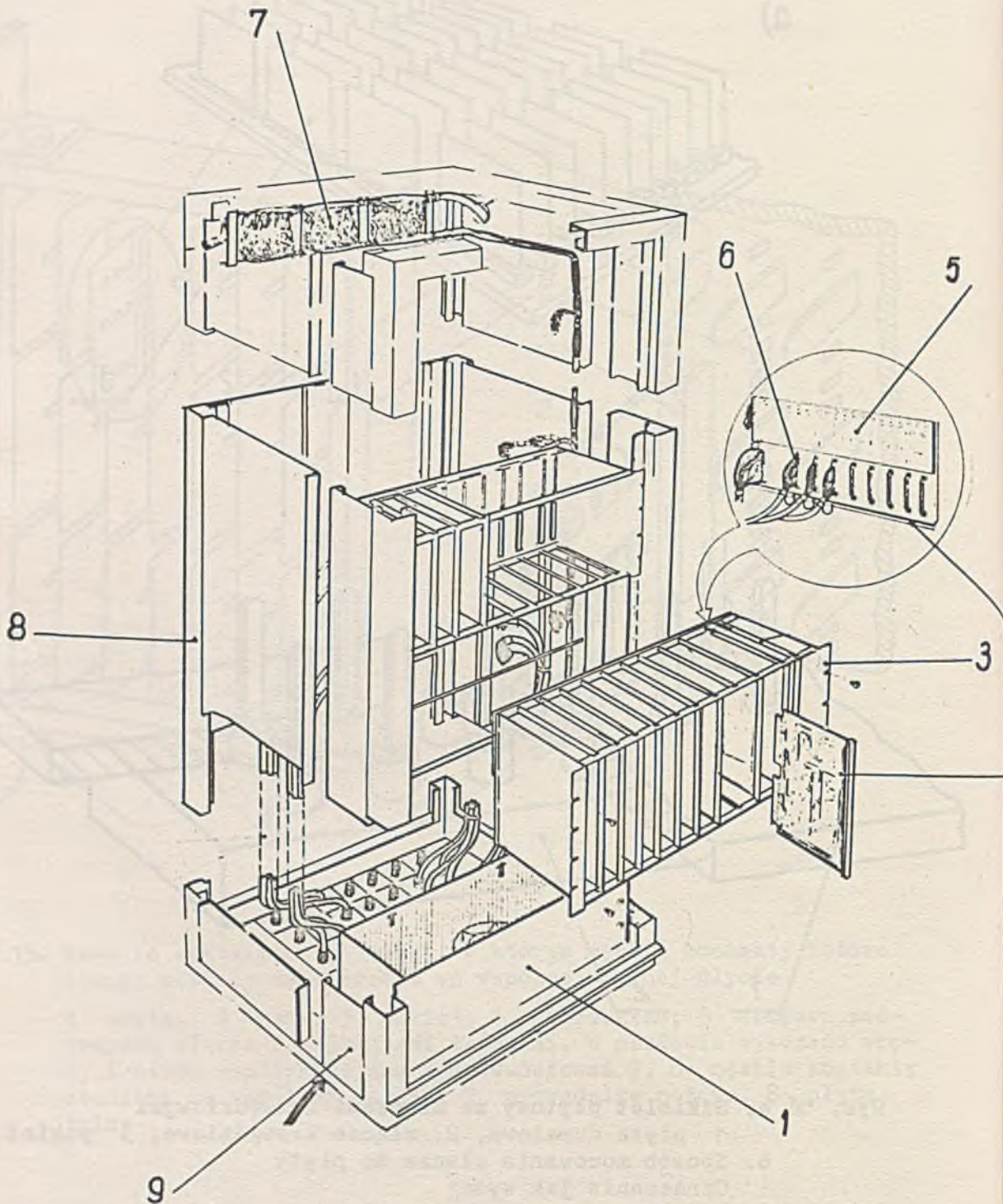


Rys. 16 a. Szkielet płytowy ze złączami krawędziowymi  
 1 płyta duralowa, 2 złącze krawędziowe, 3 pakiet  
 b. Sposób mocowania złącza do płyty  
 Oznaczenie jak wyżej

#### 4. Szkielety ram i szuflad

Kasety lub płyty stanowią części składowe większych bloków elektronicznych /rys. 17/. W niektórych rozwiązaniach ramy są wychylne. Możliwość wychylania ramy pozwala uzyskać łatwy dostęp do wyprowadzeń kontaktów złącz. Ramy mogą być konstrukcją nośną dla płyt /rys. 15/ lub dla kilku kaset. Kasety ustawiane są jedna na drugiej /nie więcej niż w 6 ÷ 8 warstwach/ i przymocowywane do ramy. Ponieważ ścianki boczne ka-



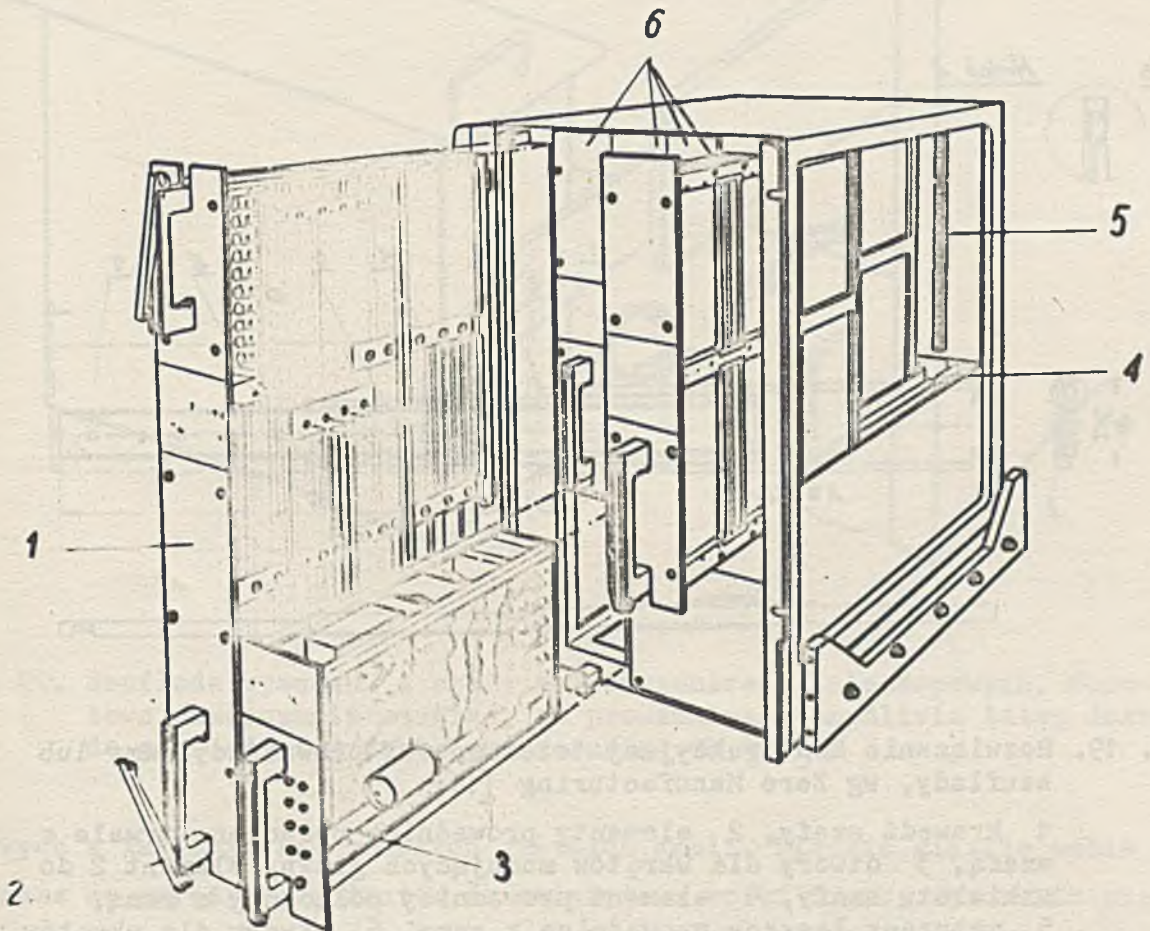


Rys. 17. Szkielet szafy wg Ferranti [6]

1 zespół dmuchawy, 2 moduły podstawowe - pakiety, 3 konstrukcja nośna kasety, 4 kabel uziemiający w postaci paska, 5 tylna płyta drukowana /ew. wielowarstwowe/ z wlutowanymi wyprowadzeniami kontaktów złącz, 6 złącza z wyprowadzeniami kontaktów przystosowanymi do wtykania odpowiednio zakończonych przewodów, 7 przewody interface podłączone do bloku kontaktowego, 8 konstrukcja nośna szafy, 9 kanał dla przepływu powietrza chłodzącego



set przymocowywane są do ścian ramy, można zbudować ramę, w której belki poprzeczne będą bezpośrednio mocowane do jej ścian, a nie za pośrednictwem ścianek bocznych kaset. W tym przypadku prowadnice mają nieco inną konstrukcję. Zmiana polega na wykonaniu dwóch rowków, z których jeden służy do prowadzenia pakietu górnej warstwy, a drugi do prowadzenia pakietu dolnej warstwy. Dzięki takiemu rozwiązaniu zmniejsza się liczba belek poprzecznych.

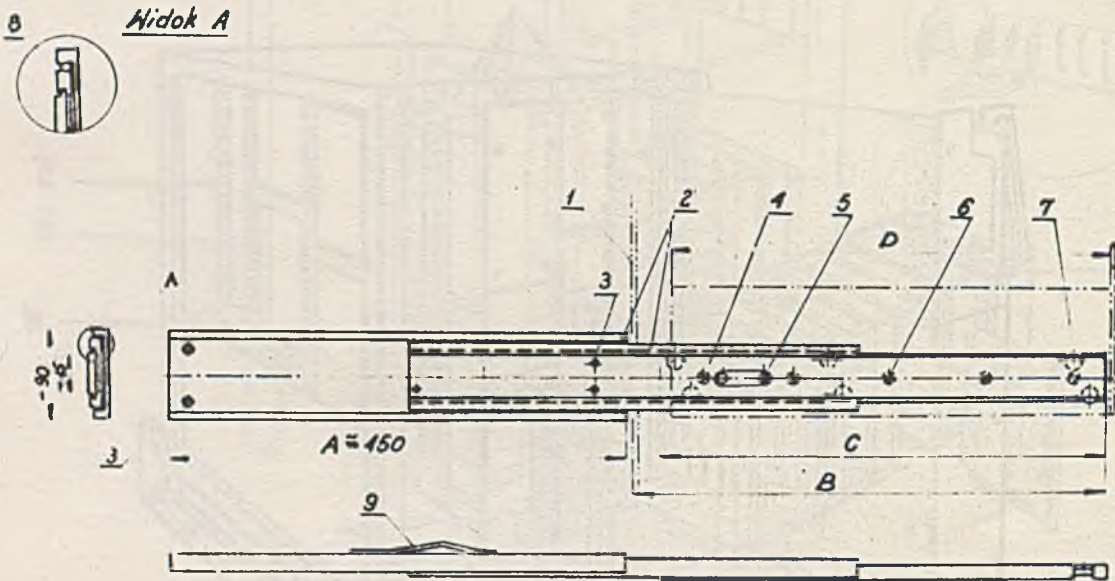


Rys. 18. Szkielet z ramami wysuwanymi. Połączenia między ramami a urządzeniem realizowane za pomocą złącz podobnych do złącz pośrednich, wg Ferranti [6]

1 szkielet podsystemu jednostki centralnej, 2 uchwyt do wyciągania ramy, 3 szkielet zasilacza, 4 kołki naprowadzające ramę w położenie pozwalające na prawidłową współpracę obu podzespołów złącza, 5 podzespoły złącz współpracujących z podzespołami umieszczonymi na szkielecie ramy, 6 szkielety jednostek pamięci



Wychylanie ram nie zawsze jest korzystne, a ponadto i gęstość upakowania przy ramach wychylanych nie jest zbyt duża. Wobec powyższego opracowano szkielet, w którym ramy wysuwane są z szafy jak książki z półki /rys. 18/. Ramy te mogą być wysuwane na prowadnicach teleskopowych o konstrukcji pokazanej na rys. 19. Na tej samej koncepcji została oparta konstrukcja szkieletów bloków składających się m.in. z ciężkich i dużych elementów jak np. transformatory w zasilaczach. Tego typu szkielety nazywa się szufladami.



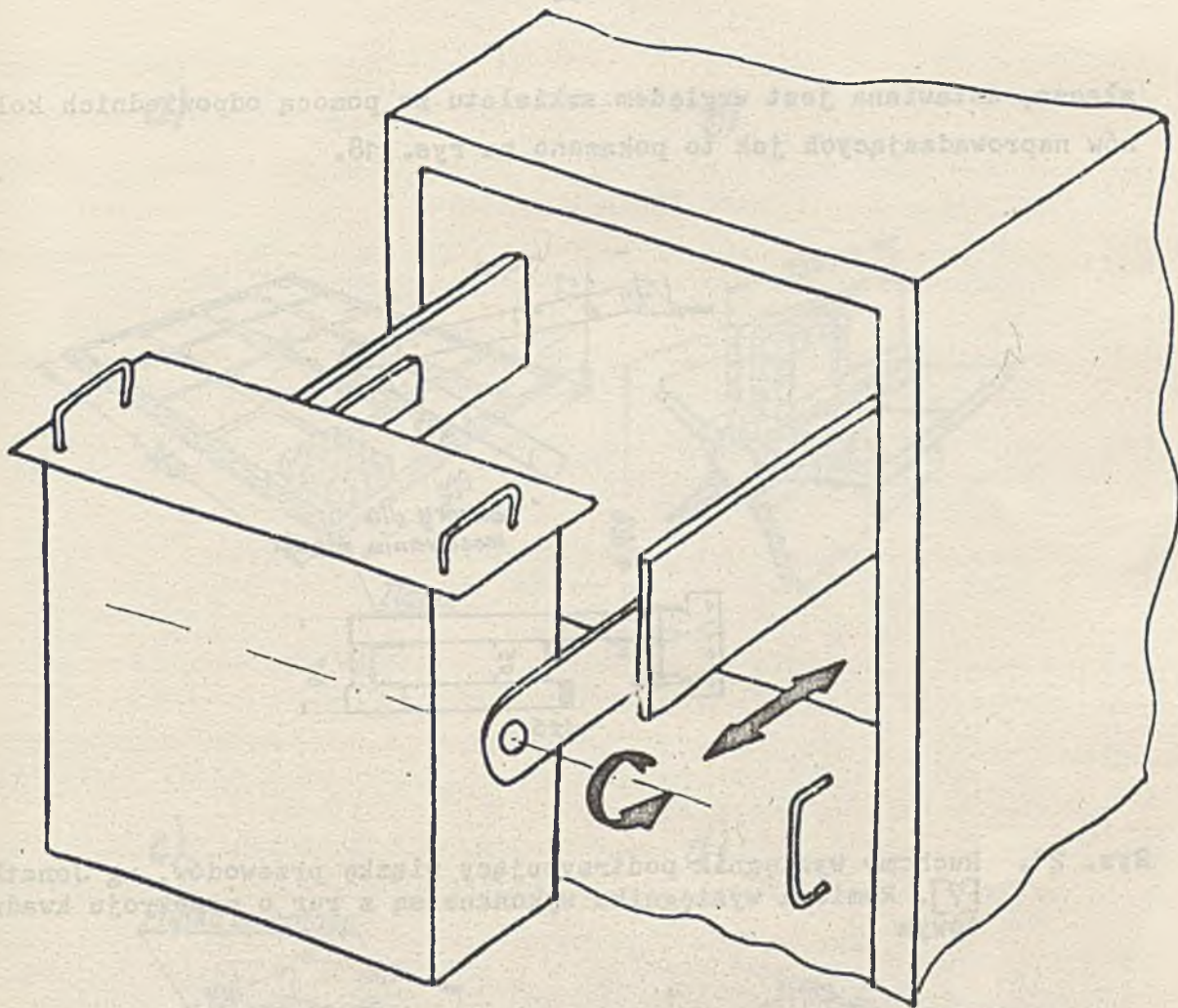
Rys. 19. Rozwiązanie konstrukcyjnej teleskopowej prowadnicy ramy lub szuflady, wg Zero Manufacturing [12]

1 krawędź szafy, 2 elementy prowadnicy połączone trwale z szafą, 3 otwory dla wkrętów mocujących główny element 2 do szkieletu szafy, 4 element prowadnicy połączony z ramą, 5 zatrzask łączący prowadnicę z ramą, 6 otwory dla wkrętów mocujących element 5 do ramy, 7 rolki, 8 kulki /nie zaznaczone na drugim rzucie rysunku/, 9 zatrzask ograniczający ruch listwy

Szuflady mogą być wysuwane, podobnie jak ramy, na prowadnicach. Dla zapewnienia dostępu do szuflad od dołu, bywają one mocowane obrotowo na prowadnicach jak pokazano na rys. 20.

Połączenia elektryczne pomiędzy ramami i dalszymi szkieletami mogą być realizowane za pomocą giętkich przewodów jak np. wiązka linek sche-





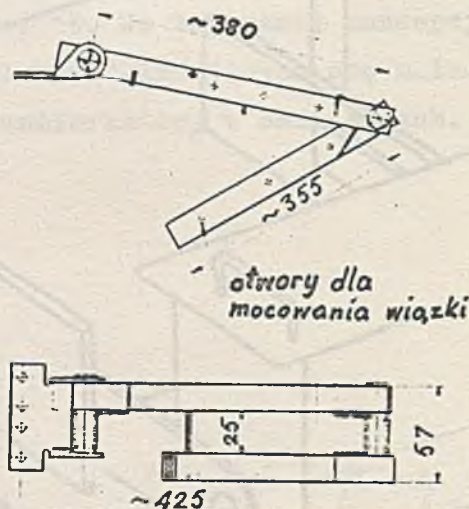
Rys. 20. Szuflada wysuwana z szafy na prowadnicach teleskopowych. Obrotowe zamocowanie szuflady na prowadnicach umożliwia łatwy dostęp do szuflady /wg Zero Manufacturing Co [12] /

matowych w izolacji lub płaskich giętkich kabli. Płaskie giętkie kable wykonane ze sprężystych drutów są zwinięte w rolki i przy wysuwaniu szuflady rozwijają się, a przy wsuwaniu same zwijają się. Natomiast wiązki z giętkich przewodów nie mają tej właściwości i mogą się plątać. Z tego powodu stosuje się specjalny wysięgnik podtrzymujący wiązkę i układającą ją podczas ruchu szuflady /rys. 21/.

Inne rozwiązanie połączeń elektrycznych polega na zastosowaniu złącz. Konstrukcja złącz jest bardzo podobna do konstrukcji pośrednich złącz płaskich do obwodów drukowanych. Jedna część złącza jest mocowana na zewnętrznej stronie tylnej ścianki szuflady. Druga część złącza umieszczona jest na szkielecie szafy. Szuflada, przed zetknięciem się obu części



złącza, ustawiana jest względem szkieletu za pomocą odpowiednich kołków naprowadzających jak to pokazano na rys. 18.

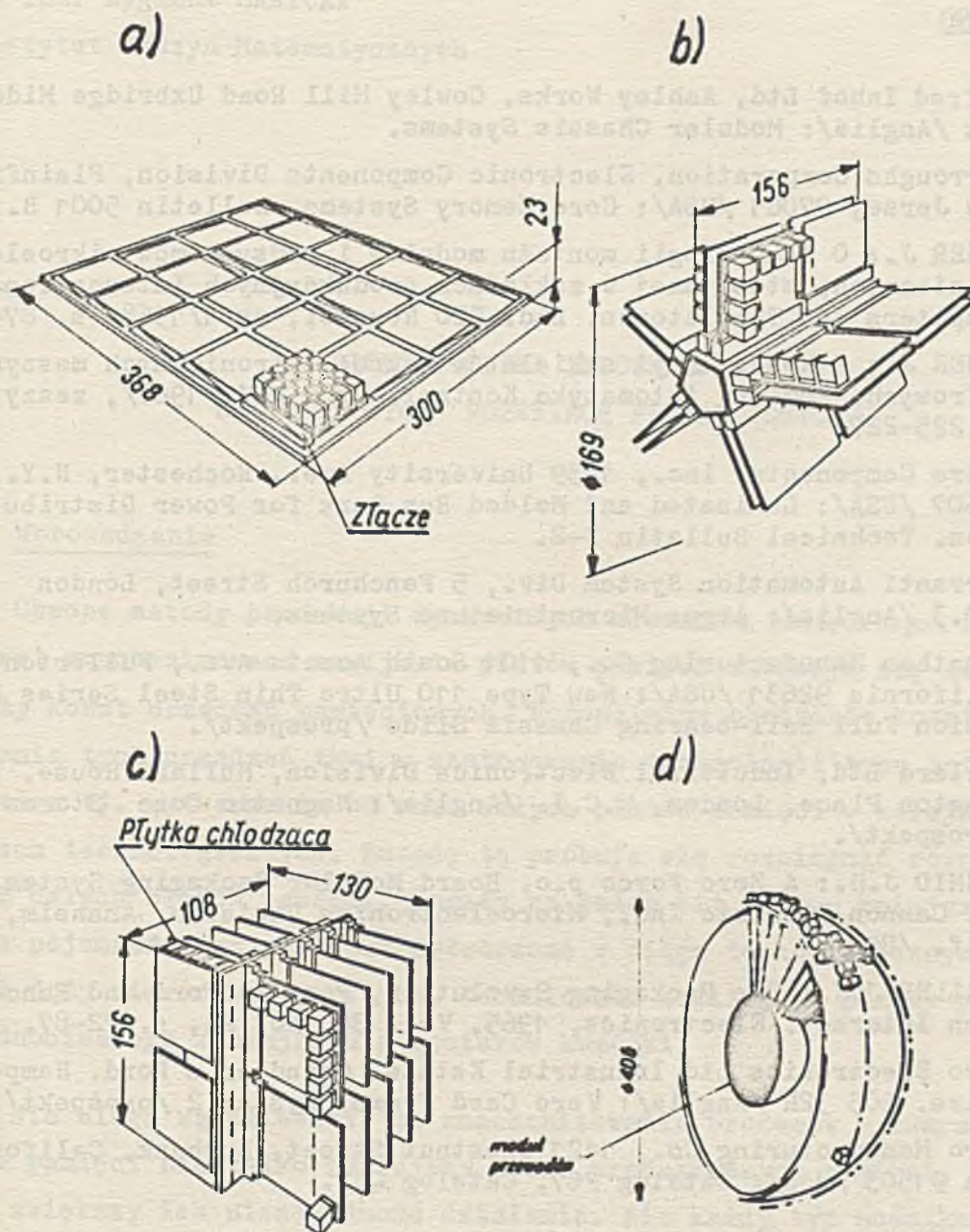


Rys. 21. Ruchomy wysięgnik podtrzymujący wiązkę przewodów, wg Jonathan [7]. Ramiona wysięgnika wykonane są z rur o przekroju kwadratowym

W przypadku wymagań specjalnych określających kształt zewnętrzny urządzenia elektronicznego, szkielety mogą przybierać taką postać jak na rys. 22.

Podczas pracy urządzenia wydziela się duża ilość energii cieplnej. W celu polepszenia chłodzenia zazwyczaj wbudowuje się w szkielety dmuchawy wymuszające obieg powietrza. Jeżeli w dolnych warstwach szafy mieszczą się elementy elektryczne dużej mocy, chłodzenie górnych warstw jest mało skuteczne. Z tego względu zasilacze umieszcza się raczej na górze szaf. Również z tego względu wbudowuje się w ściankę każdej szuflady lub kasety dmuchawy, które tłoczą strumień chłodnego powietrza na pakiety /rys. 7/. Takie rozwiązanie zapewnia skuteczniejsze chłodzenie niż w przypadku dmuchaw umieszczonych w dole szafy. W przypadkach wydzielania dużych mocy w szafach o małej objętości, pomiędzy szkieletami bloków umieszcza się węzownice z rurek, przez które przepływa ciecz chłodząca.





Rys. 22. Szkielety specjalne wg [10]

a szkielet płaski, b szkielet przestrzenny systemu umieszczonego wewnątrz konstrukcji o kształcie cylindra, c szkielet przestrzenny, d szkielet systemu umieszczonego wewnątrz kuli



## Literatura

- [1] Alfred Inhof Ltd, Ashley Works, Cowley Mill Road Uxbridge Middlesex /Anglia/: Modular Chassis Systems.
- [2] Burroughs Corporation, Electronic Components Division, Plainfield, New Jersey 07061 /USA/: Core Memory Systems, Bulletin 5001 B.
- [3] EKNER J.: O technologii montażu modułów i podsystemów mikroelektronicznych, stosowanej w zakładach produkcyjnych International Computers and Tabulatores, Ltd. ETO Nowości, nr 1/1968, s. 87-91.
- [4] EKNER J.: O konstrukcji szkieletów mikroelektronicznych maszyn cyfrowych. Pomiary Automatyka Kontrola, rok XIV /1968/, zeszyt 5, s. 225-227.
- [5] Eldre Components, Inc., 1239 University Ave., Rochester, N.Y., 14607 /USA/: Laminated and Molded Bus Bars for Power Distribution. Technical Bulletin B-2.
- [6] Ferranti Automation System Div., 5 Fenchurch Street, London E.C.3 /Anglia/: Argus Microminiature Systems.
- [7] Jonathan Manufacturing Co., 1101 South Acacia Ave., Fullerton, California 92631 /USA/: New Type 110 Ultra Thin Steel Series Precision Full Ball-bearing Chassis Slide /prospekt/.
- [8] Mullard Ltd, Industrial Electronics Division, Mullard House, Torrington Place, London, W.C.1. /Anglia/: Magnetic Core Stores /prospekt/.
- [9] SCHMID J.H.: A Zero Force p.c. Board Modular Packaging System. ITT Cannon Electric Inc., Microelectronics Division, Anaheim, Calif. /USA/.
- [10] STALLER J.J.: The Packaging Revolution, Part I: Form and Function Interact. Electronics, 1965, Vol. 38, No. 21, s. 72-87.
- [11] Vero Electronics Ltd Industrial Estate. Chandler's Ford. Hampshire. SO5 32R /Anglia/: Vero Card Frame. System 2 /prospekt/.
- [12] Zero Manufacturing Co., 1121 Chestnut Street, Burbank, California 91503 /USA/: Catalog P67, Catalog Q67.



Dr inż. Zygmunt SAWICKI  
Instytut Maszyn Matematycznych

681.327.66

## BLOKI NOŚNIKA INFORMACJI NA TRAWIONYCH RDZENIACH PERMALOJOWYCH

### 1. Wprowadzenie

Obecne metody produkcji dyskretnych elementów pamięciowych i ręczne lub nawet zmechanizowane nawijanie płytów pamięci składają się na stosunkowo duży koszt urządzeń pamięciowych. Potencjalne obniżenie kosztów wytwarzania tych urządzeń tkwi w zastosowaniu technologii typu batch fabrication tj. wytwarzania od razu całych płytów pamięci w kolejnych operacjach technologicznych. Zasadę tę próbuje się rozciągnąć również na montaż całych bloków pamięci. Koszty na jeden bit są tym mniejsze im większa pojemność pamięci jest wytwarzana w ciągu technologicznym, dlatego też dąży się do maksymalnych, technicznie możliwych, płytów pamięci i jednoczesnego zmniejszenia wymiarów komórki.

Nie ulega wątpliwości, że zmechanizowanie procesów wytwarzania płytów pamięci nie tylko zmniejszy koszt produkowanych pamięci, lecz także zwiększy ich niezawodność działania. Nie każdy typ nośnika informacji nadaje się do pełnej mechanizacji procesu wytwarzania pamięci. Dlatego też ciągle prowadzone są poszukiwania coraz to nowych typów nośników informacji, które spełniałyby wszystkie lub możliwie wszystkie wymagania ze względu na technologię i właściwości eksploatacyjne.

Prace nad zastosowaniem trawionych elementów z arkuszy permalojowych w konstrukcji płytów pamięci metodą batch fabrication podjęły dwie firmy amerykańskie. Firma L.F.E. Electronics, Boston /USA/ prowadzi prace nad wykorzystaniem trawionych rdzeni z arkuszy permalojowych do płytów pamięci, poz. [1]. Firma Radio Corporation of America, Princeton,



New Jersey /USA/ prowadzi prace nad wykorzystaniem trawionych transfluksorów z arkuszy permalojowych do płytów pamięci, poz. [2] i [3].

## 2. Zasada budowy i działania bloku pamięci na trawionych toroidach permalojowych

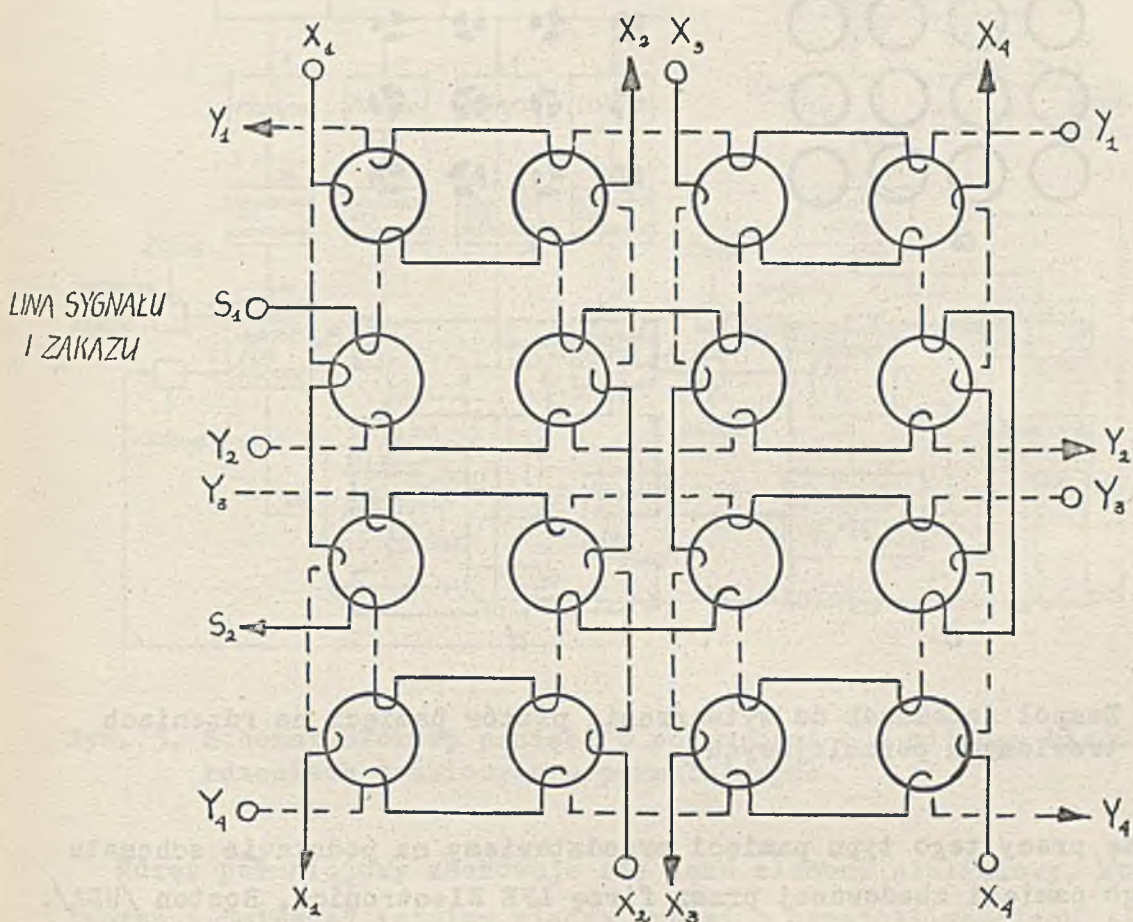
Wspomnieliśmy na wstępie, że są opracowywane dwie pamięci - jedna na elementach w postaci toroidów, druga zaś na elementach w postaci transfluksorów o dwóch otworach symetrycznych względem trzeciego otworu środkowego. Zasada działania pamięci na transfluksorach trawionych z arkusza permalojowego jest podobna do zasady działania na transfluksorach ferrytowych. Natomiast technologia wykonywania płytów na toroidach i transfluksorach jest podobna o tyle, że obydwie wykorzystują te same technologie cząstkowe, jednakże kolejność operacji technologicznych jest różna. Na podstawie dostępnej literatury wydaje się, że zarówno technologia jak i uzyskane wyniki są bardziej interesujące w przypadku toroidów trawionych. Dlatego zreferujemy przede wszystkim pamięć na rdzeniach permalojowych.

Płat pamięci składa się z rdzeni trawionych z arkusza permalojowego i uzwojeń sterujących, trawionych z arkusza miedzianego. Jak pokazano na rys. 1, mamy tutaj do czynienia z koincydencyjnym systemem zapisu. Przez wprowadzenie minimalnych modyfikacji można otrzymać liniowy system pamięci.

Zgodnie z przyjętymi oznaczeniami, kółeczka na rys. 1 przedstawiają toroidy trawione z arkusza, podczas gdy uzwojenia sterujące są przedstawione przy pomocy dwojakiiego rodzaju linii - linie przerywane oznaczają uzwojenia leżące poniżej toroidów, a linie grube oznaczają uzwojenia położone powyżej toroidów. Połączenie tych uzwojeń jest dokonane wewnątrz toroidów. Układ przestrzenny uzwojeń rozwiązano w taki sposób, że uzwojenia nigdy nie przecinają się na tej samej płaszczyźnie, chociaż wszystkie wykonuje się tylko w odpowiednio izolowanych od siebie i od toroidów dwóch płaszczyznach. Uzwojenia leżące w tych dwóch płaszczyznach są odpowiednio łączone w środku rdzeni za pomocą technologii elektrochemicznego osadzania w środku każdego toroidu trzech "wysepek" miedzianych łączących trzy uzwojenia przenikające



każdy rdzeń. Na rys. 2 przedstawiono fotomaski, które są potrzebne do wytwarzania płyty pamięci.

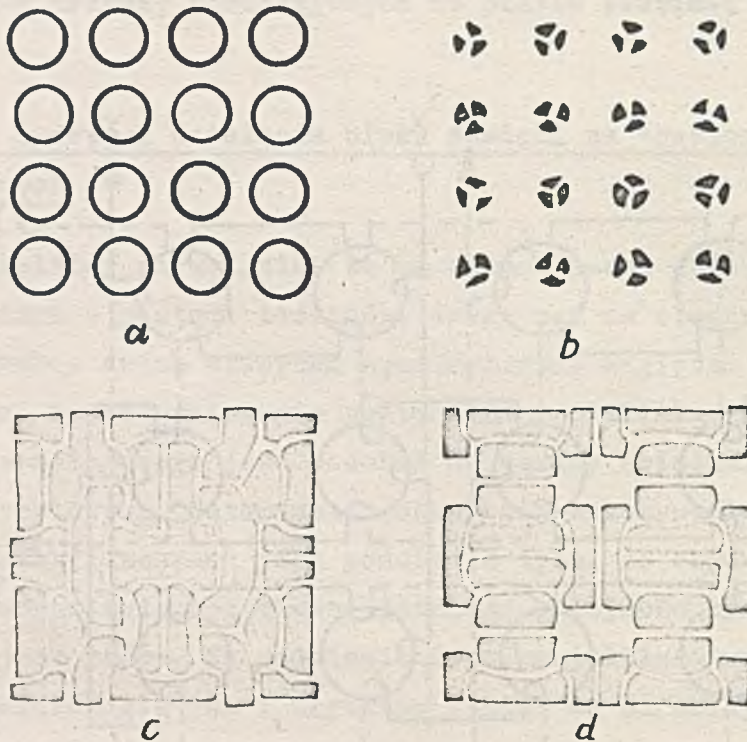


Rys. 1. Schemat ideowy płyty 4x4 bity

Na rys. 2a widzimy wzory masek toroidów, gdy rys. 2b przedstawia "wysepki", za pomocą których dokonuje się połączenia między uzwojeniami uwidocznionymi na rys. 2c i 2d. Precyzyjnie wykonane fotomaski dokładnie pasują do siebie przykrywając odpowiednie miejsca. W przypadku dużych płyt pamięci - wystarczy odpowiednio powielić przedstawiony wzór fotomasek.

Zasada pracy omawianej pamięci jest podobna do pracy w systemie koincydencyjnym z tą różnicą, że uzwojenie zakazujące i uzwojenie sygnału odczytu stanowi to samo uzwojenie. Mianowicie sygnał odczytu nakłada się tutaj na poziom stały prądu zakazującego.





Rys. 2. Zespół fotomasek do wytwarzania płyt pamięci na rdzeniach trawionych permalojowych

Zasadę pracy tego typu pamięci przedstawiamy na podstawie schematu blokowego pamięci zbudowanej przez firmę LFE Electronics, Boston /USA/. Na rys. 3 pokazano schemat blokowy takiej pamięci o pojemności 65 K słów /6,5 mil bitów/ na rdzeniach trawionych z arkuszy permalojowych.

Jak już wspomniano mamy tu do czynienia z koincydencyjnym systemem wybierania. Rejestr adresowy o długości 16 bitów podzielono na cztery sekcje, które tworzą układy dwóch matryc wybierających 16 x 16 wierszy i kolumn. Każda z matryc wybiera jedną z 256 linii bloku pamięci, w które posyłane są impulsy i w koincydencji których następuje zapis lub odczyt. Jednocześnie lub odpowiednio wcześniej linia "zakazująca" jest wysterowywana z rejestru informacyjnego. Zapisu informacji dokonuje się za pomocą impulsów prostokątnych, natomiast odczyt jest realizowany w sposób zupełnie odmienny od znanych metod konwencjonalnych. Dlatego też należy szczególnie uwypuklić tę oryginalną metodę odczytu. Adresowanie jest analogiczne do zapisu, lecz w linie sterujące bloku z poszczególnych matryc posyła się w pierwszym przypadku impulsy sinusoidalne o częstotliwości  $\omega_1$  a w drugim przypadku częstotliwości  $\omega_2$ .



Rdzeń permalojowy zachowuje się jako element nieliniowy, który wytwarza i "miesza" impulsy między innymi o częstotliwościach  $\omega_1 + \omega_2$ . Faza 0 lub  $\pi$  impulsu odpowiada według umowy informacji o wartości "1" albo "0". W omawianym systemie sygnał informacyjny odpowiada częstotliwości  $\omega_1 + \omega_2$ . W celu wyeliminowania wszystkich zakłóceń, między innymi pochodzących od impulsów sterujących, sygnał informacyjny jest wzmacniany przez układ o odpowiednio wąskim paśmie z częstotliwościową osią symetrii określoną przez  $\omega_1 + \omega_2$ . Detekcji fazy dokonuje się w specjalnym układzie uwidocznionym na rys. 3 względem tego samego przebiegu  $\omega_1 + \omega_2$ . Detektor fazy odpowiednio do fazy  $\pi$  i 0 na wyjściu dostarcza impulsy dodatnie lub ujemne w zależności od stanu rdzenia. Impulsy te są strobowane i posyłane do rejestru wyjściowego pamięci. Otrzymywany sygnał wynosi około 1 mV przy możliwym do osiągnięcia cyklu odczytu 10  $\mu$ s. Należy podkreślić raz jeszcze, że w omawianej pamięci impulsy odczytujące są sinusoidalnymi, podczas gdy impulsy zapisujące są impulsami prądu stałego.



Podstawowe parametry rdzenia permalojowego otrzymanego z trawionego arkusza są następujące:  $H_c = 0,2 \text{ Oe}$ ; połówkowy prąd wybierania dla rdzenia o średnicy 0,6 mm i prąd zapisu równy 30 mA. Stała przełączania wynosi około  $0,5 \text{ Oe}/\mu\text{s}$ .

### 3. Osiągnięcia i prognozy rozwoju bloków pamięci na rdzeniach trawionych z arkuszy permalojowych

Firma LFE Electronics, Boston /USA/ już w 1965 r. konstruowała pamięć omawianego typu o pojemności 8 000 tys. słów 30-bitowych o cyklu  $2 \mu\text{s}$ , mocy 10 W i objętości bloku w przybliżeniu  $10 \text{ cm}^3$ . Firma Radio Corporation of America od szeregu lat prowadzi prace badawcze nad rozwiązaniem bloków na transfluksorach trawionych z arkuszy permalojowych. Już w roku 1964 firma ta zbudowała prototyp pamięci wspomnianego typu o pojemności 128 słów 8-bitowych, osiągając gęstość upakowania 2000 bitów na cm sześcienny. Nowsze konstrukcje tej firmy pojawiły się z chwilą opanowania bardziej precyzyjnych fotomasek. Gęstość upakowania elementów w nowych konstrukcjach laboratoryjnych wynosi 30 000 bitów na cm sześcienny. Grubość elementów permalojowych dochodzi do  $50 \mu\text{m}$ .

Obydwie wymienione firmy przewidują rozwój tych pamięci jako pamięci masowych charakteryzujących się dużą gęstością upakowania elementów informacyjnych, niskim poziomem prądów sterujących, dużym zakresem temperatur, małą mocą zasilania i bardzo niską ceną za jeden bit /0,01 do 0,02 centa/. Firma LFE Electronics przewiduje, że pamięć o pojemności  $10^8$  bitów nie będzie droższa od 0,1 centa za jeden bit, włączając w to koszty elektroniki.

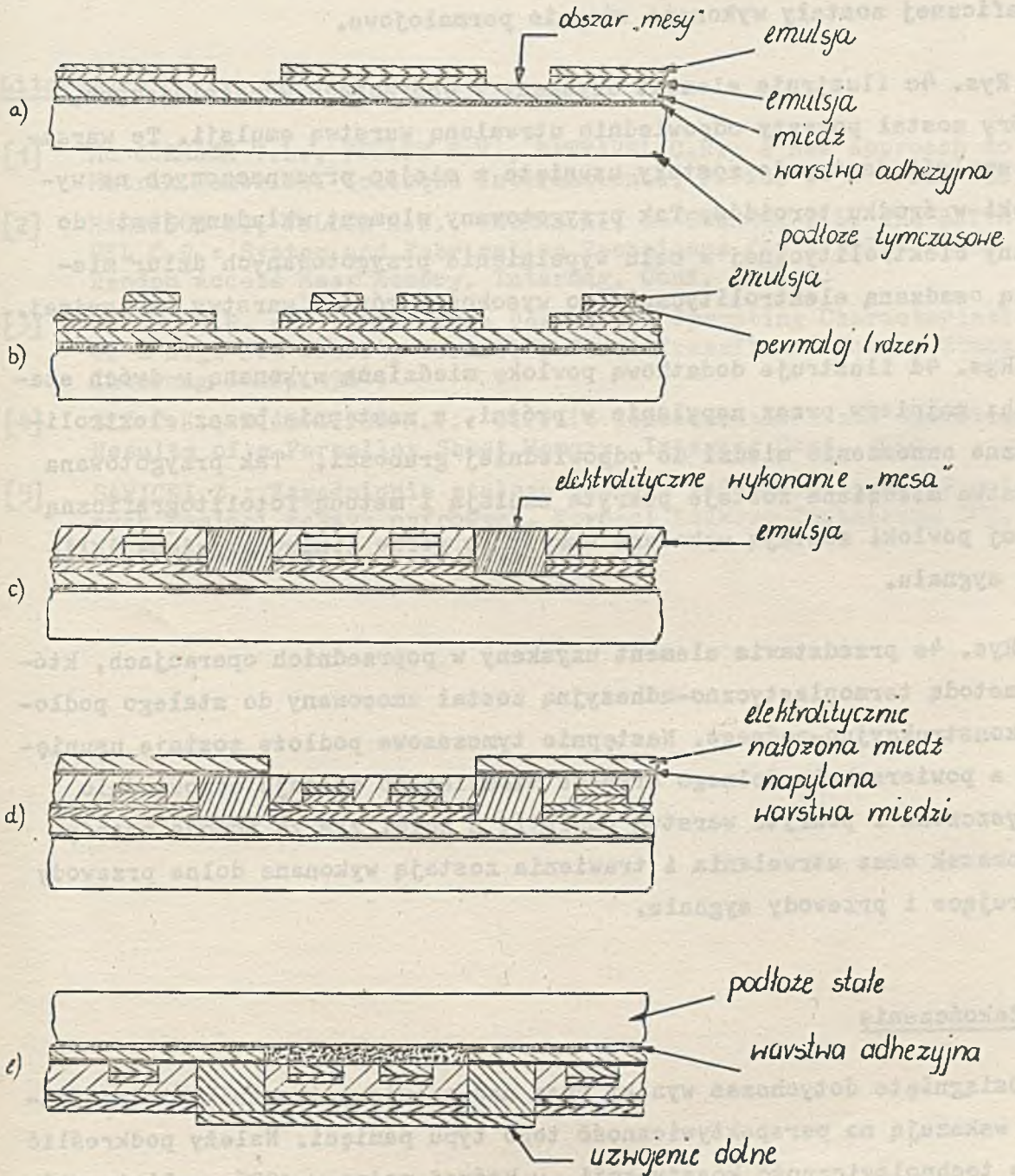
Według ocen amerykańskich [5] należy oczekiwać zbudowania w roku 1970 pamięci tego typu o pojemności  $20 \times 10^6$  słów i cyklu pracy rzędu 35  $\mu\text{sek}$ . Mówi się, że pamięci te będą konkutowały z pamięciami elektromechanicznymi w szczególności bębnowymi.

### 4. Zarys technologii wytwarzania bloków na permalojowych rdzeniach trawionych

Rys. 4 przedstawia nam odpowiednie przekroje płyty pamięci w różnych etapach procesu technologicznego. Chociaż rysunek ten wystarcza-



jąco dokładnie ilustruje przebieg procesu, uwypuklimy dodatkowo pewne istotne jego elementy. Na rys. 4a widzimy arkusz miedzi o grubości 35  $\mu\text{m}$ , który został przymocowany do tymczasowego podłoża metodą termoplastyczno-adhezyjną. Następnie arkusz ten został pokryty podwójną warstwą emulsji światłoczułej. Z kolei warstwy te zostały wykorzystane



Rys. 4. Przekrój płyty pamięci w kolejnych operacjach technologicznych



do wykonania wysypek "mesa" metodą fotomasek i trawienia. Pozostała warstwa emulsji służy jako warstwa adhezyjna do przyklejenia arkusza permaloju.

Rys. 4b przedstawia wcześniej przymocowany arkusz permaloju, który został pokryty warstwą emulsji i na którym za pomocą techniki fotolito-graficznej zostały wykonane rdzenie permalojowe.

Rys. 4c ilustruje element uzyskany w operacjach wcześniejszych, który został pokryty odpowiednio utrwaloną warstwą emulsji. Te warstwy emulsji następnie zostały usunięte z miejsc przeznaczonych na wysypki w środku toroidów. Tak przygotowany element wkładany jest do wanny elektrolitycznej w celu wypełnienia przygotowanych dziur miedzią osadzaną elektrolitycznie do wysokości górnej warstwy emulsyjnej.

Rys. 4d ilustruje dodatkową powłokę miedzianą wykonaną w dwóch etapach: najpierw przez napyłanie w próżni, a następnie przez elektrolityczne nanoszenie miedzi do odpowiedniej grubości. Tak przygotowana warstwa miedziana zostaje pokryta emulsją i metodą fotolitograficzną z tej powłoki zostają wykonane wszystkie górne linie sterujące i linie sygnału.

Rys. 4e przedstawia element uzyskany w poprzednich operacjach, który metodą termoplastyczno-adhezyjną został umocowany do stałego podłoża konstrukcyjno-nośnego. Następnie tymczasowe podłoże zostaje usunięte, a powierzchnia dolnego arkusza miedzianego zostaje odpowiednio oczyszczona i pokryta warstwą emulsji. Z kolei zaś za pomocą metody fotomasek oraz utrwalania i trawienia zostają wykonane dolne przewody sterujące i przewody sygnału.

## 5. Zakończenie

Osiągnięte dotychczas wyniki prac nad omawianymi nośnikami informacji wskazują na perspektywiczność tego typu pamięci. Należy podkreślić dużą technologiczność konstrukcji, w której można w 100% wyeliminować z procesu wytwarzania płyty operacje ręczne. Składowe technologie cząstkowe, które występują w produkcji laminowanych miedzią płyt epoksydowo-szklanych oraz układów scalonych /precyzyjna technika fotomasek



i technika trawienia wydają się być proste. Ponadto występują tutaj operacje wstępnego napyłania warstwy miedzianej i późniejszego pokrywania jej miedzią za pomocą metody elektrochemicznej. Jednakże w sumie w przypadku produkcji dużych płytów problem wysokiego stopnia dokładności oraz stałości warunków technologicznych praktycznie stawia ten rodzaj technologii w rzędzie bardzo trudnych.

#### Literatura

- [1] Mc CORMACK T.L., FULLER H.W., BATTAREL C.R.: A New Approach to Matrix Memories. Colloque International, Paris, 5-10 Avril 1965.
- [2] HARRISON W., FULLER H.W., THOMAS L., Mc CORMACK T.L. and BATTAREL C.R.: System and Fabrication Techniques for a Solid State Random Access Mass Memory. Intermag, Conf. 1964 r.
- [3] BRIGGS G.R. and TUSKA J.W.: Design and Operating Characteristics of a High-Bit Density Permalloy Sheet Transfluxor Memory Stack. Intermag Conf. 1964.
- [4] SIE C.H., D'AGOSTINO M.V.: Circuit Considerations and Operational Results of a Permalloy Sheet Memory. Intermag Conf. 1964.
- [5] SAWICKI Z.: Zagadnienie stałego nośnika informacji perspektywicznych pamięci maszyn cyfrowych. Nowości Naukowo-Techniczne IMM, Nr 2, maj 1967 r.







Mgr inż. Jan GROSZYŃSKI  
Instytut Maszyn Matematycznych

621.3.049.75.002.2-52:774

## AUTOMATYCZNE WYKONYWANIE MATRYC FOTOGRAFICZNYCH OBWODÓW DRUKOWANYCH

### 1. Metody wykonywania matryc

W produkcji obwodów drukowanych i układów scalonych konieczne jest przygotowanie matryc fotograficznych, zawierających rysunki poszczególnych warstw obwodu.

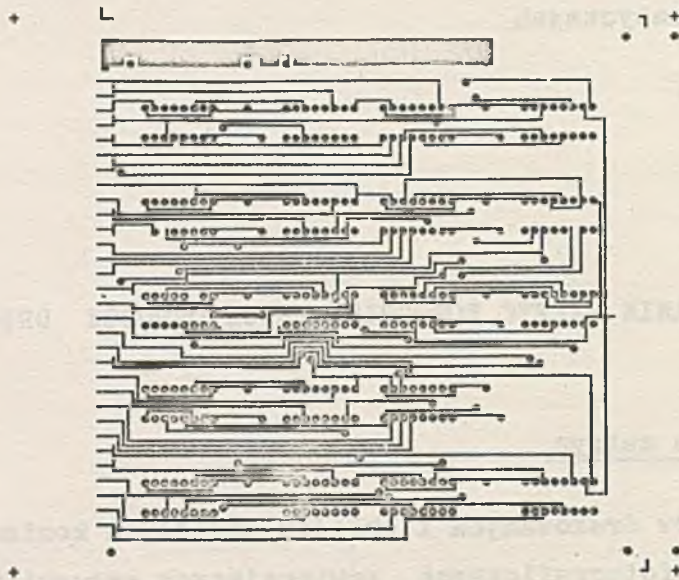
Na wstępnym etapie rozwoju techniki obwodów drukowanych stosowano przy wytwarzaniu tych matryc metody ręczne. Poza tradycyjnym wykreśleniem wzoru opracowano szereg metod udoskonalonych - wycinanie w dwuwarstwowym materiale foliowym oraz wyklejanie na przezroczystym podkładzie. Jednakże zaostrzające się wciąż wymagania dokładności z jednej strony oraz gwałtowny rozwój produkcji z drugiej, sprawiają że wytwarzanie ręczne nie dotrzymuje kroku zapotrzebowaniu i coraz szerzej wprowadza się automatyczne wytwarzanie matryc.

Automatyzacja ta dotyczy procesu najtrudniejszego i najbardziej pracochłonnego i obejmuje, przy pełnym rozwiązaniu, cały kompleks zagadnień związanych z przygotowaniem i sprawdzeniem programu sterującego pracą urządzenia wykonującego matrycę oraz automatycznym wykonaniem matrycy.

Rys. 1 przedstawia typową matrycę obwodu drukowanego. Jest to jedna ze stron płytki z nadrukiem dwustronnym z metalizowanymi otworami. Obwód taki charakteryzuje się:

- dużą liczbą ścieżek, punktów i znaków,
- dużą gęstością upakowania,
- niezbędną, wysoką dokładnością wykonania /nie mniej niż  $0,05 \pm 0,1$  mm/.





Rys. 1. Typowa matryca obwodu drukowanego /skala 1:2/

Automatyczne wykonanie matrycy może być realizowane metodą wykreślenia lub wycięcia wzorca, który jest następnie fotografowany i jednocześnie zmniejszony do żądanych wymiarów obwodu lub też nanoszony metodą naświetlania w ostatecznych wymiarach wprost na materiale światłoczułym.

Ta druga metoda jest bardziej nowoczesna. Pozwala uniknąć trudnego i skomplikowanego procesu zmniejszania fotograficznego pierwowzoru o dużych wymiarach.

W stołach kartograficznych służących do wycinania lub wykreślania pierwowzorów matryc zakresy przesuwu głowicy narzędziowej wynoszą od 100 x 800 mm do 1200 x 1500 mm. Osiąga się dokładności ustawiania głowicy rzędu 0,1 ÷ 0,2 mm, przy powtarzalności ustawiania ok. 0,05 mm. Prędkość przesuwania głowicy roboczej wynosi 2 ÷ 5 m/min.

Automatyczne urządzenia typu fotograficznego najczęściej realizują naświetlenie rysunku przez sukcesywne ekspozycje lampy błyskowej, oświetlającej diafragmę wzorcową. Obraz diafragmy rzutowany jest w płaszczyznę emulsji kliszy fotograficznej. Diafragma jest wymieniana w sposób automatyczny, programowany. Stół napędzany jest najczęściej za pomocą silników krokowych i pociągowych śrub tocznych.



Dla przykładu można podać bliższe informacje o urządzeniu pod nazwą: "Photo Artwork Generator" typu SNC 100 PX firmy Superior Electric. Zakres ruchu stołu - 280 x 430 mm. Działka elementarna przesunięcia na każdej osi - 0,001". Naświetlanie lampą błyskową. Diafragma wzorcowa o wymiarze do 0,8 mm wymienna automatycznie. Napęd: silniki krokowe i pociągowe śruby toczne. Matryca wykonywana jest na urządzeniu w ostatecznych wymiarach /w podziałce 1:1/.

Znane są również konstrukcje automatycznych stołów koordynatowych rozwiązywane w ten sposób, że umożliwiają, po niewielkim przystosowaniu, pracę zarówno metodą kreślenia, jak i fotografowania. Dla przykładu można tu wymienić stoły automatyczne typu "Kingmatic" firmy Kongsberg /Norwegia/ lub firmy Corradi.

## 2. Sterowanie i programowanie urządzeń automatycznych

Analiza logiczna procesu wykonywania matrycy fotograficznej, operacji wiercenia płyty drukowanej, procesu wykonywania montażu metodą połączeń owijanych lub spawania punktowego wykazuje, że istnieją między nimi bardzo znaczne podobieństwa. W każdym z tych procesów mamy do czynienia ze stołem koordynatowym, z przedmiotem obrabianym i głowicą narzędziową ustawianą kolejno w zadanych położeniach i wykonującą zabieg technologiczny.

W zasadzie różnice polegają tylko na różnych czynnościach głowic roboczych. Dlatego w budowie urządzeń technologicznych ze sterowaniem programowym rysuje się silna tendencja do budowy uniwersalnych jednostek sterujących. Jednostka sterująca może być wykorzystywana wprost lub po niewielkiej adaptacji do sterowania różnych urządzeń technologicznych.

Typowym przykładem może tu być cyfrowa jednostka sterująca firmy Superior Electric dla omówionego wyżej generatora matryc fotograficznych. Jest ona wykorzystywana również do sterowania wielowrzecionową wiertarką do płytek, urządzeniem do owijania, urządzeniem do wgniatania oczek i innych. Jednostka ta znalazła też zastosowanie do sterowania frezarki.



Cyfrowe jednostki sterujące z reguły umożliwiają pracę automatyczną z programem oraz pracę ręczną z pulpitu operacyjnego. Program wprowadza się najczęściej za pomocą taśmy dziurkowanej.

Warunkiem pełnego wykorzystania technologicznych urządzeń automatycznych jest dostarczenie odpowiednich programów. Realizacja tego zadania jest ważnym i trudnym problemem technicznym. Program powinien być przygotowany szybko i bezbłędnie. Spełnienie tego warunku stanowi w zasadzie podstawowe kryterium oceny zastosowanej metody. Istotnym celem jest również zapewnienie uniwersalności programu. Chodzi o to, by mógł on być wykorzystany w szeregu kolejnych operacji technologicznych płytki drukowanej.

W najprostszym przypadku program przygotowywany jest ręcznie. Programista odczytuje współrzędne z linii wymiarowych rysunku matrycy i wypisuje kolejne rozkazy dla urządzenia obejmujące wykonanie punktu, rozpoczęcie i zakończenie linii itd. Na podstawie rękopisu programu wypisuje się taśmę do sterowania urządzeniem.

W celu zredukowania liczby niezbędnych wymiarów rysunki matryc wykonuje się na zestandaryzowanych siatkach z dopuszczeniem położenia krawędzi znaków, punktów i ścieżek wyłącznie na liniach podziałki podstawowej /ewentualnie na ustalonych podwielokrotnościach - najczęściej  $1/2$  lub  $1/4$ /. Wszystkie krawędzie i ścieżki prowadzone są po osiach prostych wzajemnie prostopadłych, czasem dopuszcza się linie skośne nachylone pod ustalonymi kątami. Rysunek wykonywany jest ręcznie z niewielką dokładnością - jedynie taką, aby jednoznacznie można było określić linię siatki, po której prowadzona jest ścieżka lub krawędź pola.

Proces odczytywania współrzędnych wielkiej liczby znaków jest długotrwały, żmudny i stanowi potencjalne źródło wielu pomyłek. Przygotowany program powinien być sprawdzony - co jest właściwie zadaniem równie skomplikowanym i pracochłonnym, jak samo wykonanie programu.

Znacznym usprawnieniem może okazać się sporządzenie wydruku kontrolnego na szybkim pisaku cyfrowym. Sprawdzenie taką metodą układu ścieżek daje przejrzysty obraz rysunku matrycy - jednakże uzyskanie dostatecznie wiernego odwzorowania matrycy zawierającej zróżnicowane znaki graficzne jest dość kłopotliwe.



Istotnym ułatwieniem przygotowania programów wykonania matryc jest daleko posunięta normalizacja wykonywanych obwodów - ustalenie na płycie drukowanej położenia układów scalonych, dozwolonych otworów metalizowanych, układu ścieżek zasilających, pól ekranujących itd. Dzięki temu możliwe jest wykonywanie całych złożonych fragmentów obwodu według ustalonych i sprawdzonych podprogramów, przechowywanych w bibliotece.

Podstawowe wady ręcznego przygotowywania programu eliminuje się dzięki zastosowaniu stołów kartograficznych przystosowanych do rejestracji współrzędnych.

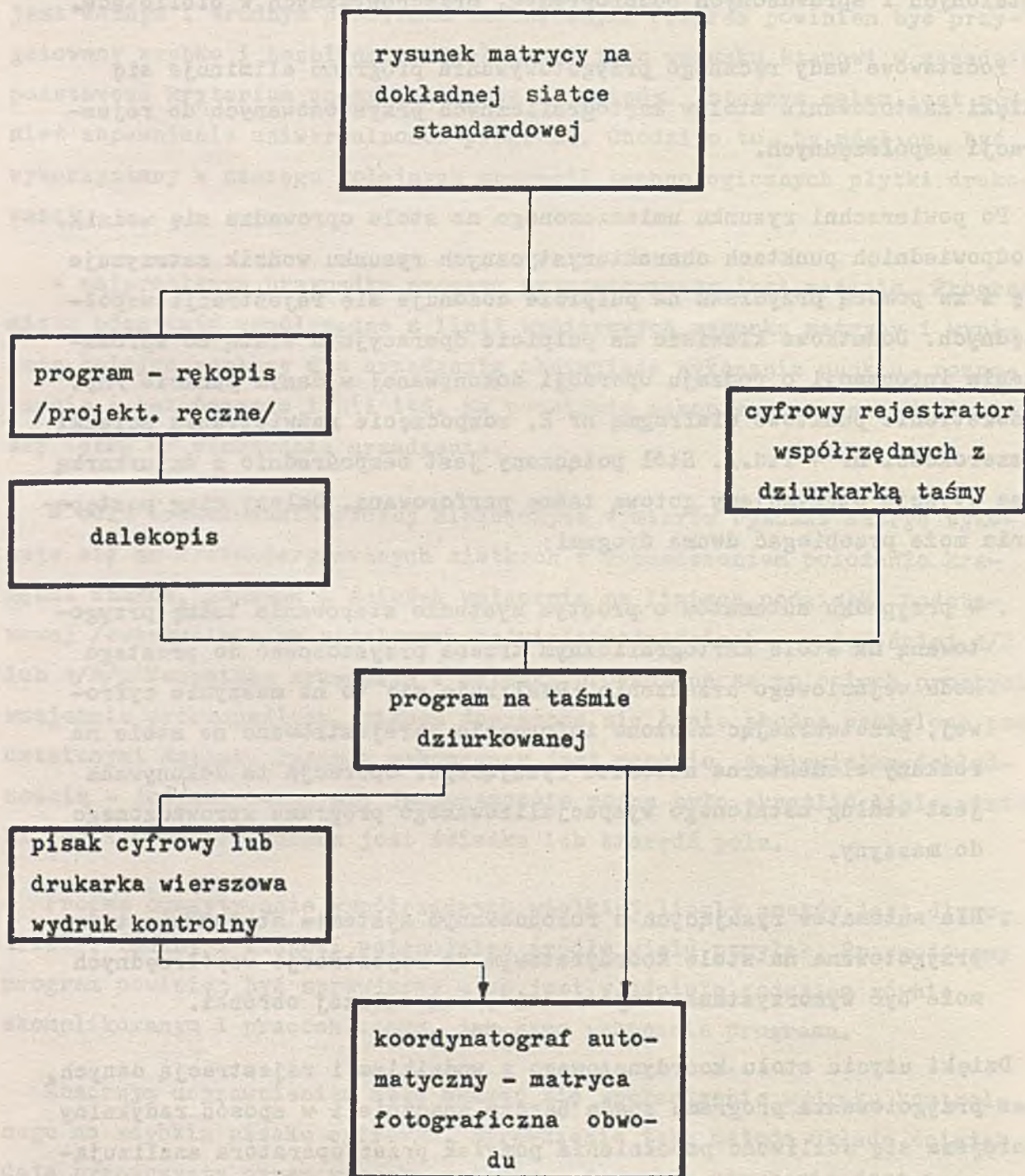
Po powierzchni rysunku umieszczonego na stole oprowadza się wózek. W odpowiednich punktach charakterystycznych rysunku wózek zatrzymuje się i za pomocą przycisku na pulpicie dokonuje się rejestracji współrzędnych. Dodatkowe klawisze na pulpicie operacyjnym służą do wprowadzenia informacji o rodzaju operacji dokonywanej w danym punkcie /np. naświetlenie punktowe diafragmą nr 2, rozpoczęcie naświetlania ścieżki o szerokości nr 4 itd./. Stół połączony jest bezpośrednio z dziurkarką i na wyjściu otrzymujemy gotową taśmę perforowaną. Dalszy ciąg postępowania może przebiegać dwoma drogami:

- . W przypadku automatów o prostym systemie sterowania taśmę przygotowaną na stole kartograficznym trzeba przystosować do prostego kodu wejściowego urządzenia. Realizuje się to na maszynie cyfrowej, przetwarzając złożone informacje zarejestrowane na stole na rozkazy elementarne automatu rysującego. Operacja ta dokonywana jest według ustalonego wyspecjalizowanego programu wprowadzonego do maszyny.
- . Dla automatów rysujących o rozbudowanym systemie sterowania taśma przygotowana na stole koordynatowym do rejestracji współrzędnych może być wykorzystana bezpośrednio, bez dalszej obróbki.

Dzięki użyciu stołu koordynatowego z wózkiem i rejestracją danych, czas przygotowania programu spada bardzo znacznie i w sposób radykalny zmniejsza się możliwość popełnienia pomyłek przez operatora analizującego rysunek.



Rysunek 2 przedstawia typowy przebieg procesu wykonania matrycy fotograficznej - od rysunku konstrukcyjnego do gotowego wyrobu. Jako przykład urządzenia do zautomatyzowanego wykonywania taśmy może posłużyć zestaw OPIC I /Optical Programming and Inspection Center/. Mamy tu do czynienia ze stołem koordynatowym ustawionym na sztywnej stabilnej podstawie



Rys. 2. Przebieg procesu wytwarzania matryc fotograficznych



Wodzik ustawiany jest za pomocą śrub. Pomiar realizują przetworniki analogowo-cyfrowe. Wynik wyświetla się na cyfrowych lampach wskaźnikowych. Działka elementarna wynosi  $\sim 0,0025$  mm.

Urządzenie to sprzężone jest z dziurkarką taśmy. Operator ustawia wodzik na żądany punkt i przez naciśnięcie przycisku powoduje wydruk odcinka taśmy z zarejestrowanymi współrzędnymi. Urządzenie nastawione jest również na wykonywanie taśmy dla jednostek sterujących oraz wier-tarek automatycznych do pakietów. Wykonana taśma używana jest bezpośred-nio do sterowania urządzeniem technologicznym - bez dalszej obróbki.

Operacja analizy i zdejmowania współrzędnych z rysunku matrycy jest całkowicie wyeliminowana w systemach zautomatyzowanego projektowania. Program dla urządzenia rysującego matrycę powstaje tutaj jako jeden z dokumentów końcowych procesu automatycznego projektowania obwodu druko-wanego. Jest on realizowany na maszynie cyfrowej na podstawie tabel po-łączeń logicznych oraz w ramach przyjętego systemu prowadzenia połączeń i innych wymagań specjalnych.

### 3. Krótka charakterystyka koordynatografu KA-70

Prace nad automatycznym wykonywaniem matryc fotograficznych do obwo-dów drukowanych prowadzi się m.in. w Instytucie Maszyn Matematycznych. Opracowano urządzenie do wykonywania matryc pracujące metodą bezpośred-niego naświetlania materiału światłoczułego.

Urządzenie to wykonuje matrycę o wymiarach pomniejszonych w stosunku do wymiarów żądanych. Ten wzorzec pośredni jest następnie powiększany na specjalnym powiększalniku precyzyjnym. Uzyskane wyniki z punktu wi-dzenia wymagań stawianych przy produkcji obwodów drukowanych okazały się zadowalające.

Urządzenie sterowane jest programowo przy pomocy cyfrowej jednostki sterującej. Nośnikiem programu jest taśma dziurkowana. Możliwe jest rów-nież ręczne sterowanie z pulpitu. System rozkazów jest czytelny i dobrze dostosowany do potrzeb opisanego rysunku matrycy, dogodny, zarówno dla ręcznego, jak i zautomatyzowanego przygotowywania programów.



Na urządzeniu można również wykonywać pierwowzory matryc dla układów scalonych i hybrydowych. Maksymalne wymiary uzyskanej matrycy fotograficznej - 70 x 60 mm. Działka elementarna - 0,01 mm. Dokładność położenia krawędzi znaków jest nie gorsza niż 0,005 mm, a przy pracy stołu w jednym kierunku nawet  $\pm 0,003$  mm. Czas wykonania kompletu 2 matryc dla skomplikowanego obwodu wynosi ok. 6 godzin.

Do tego należy doliczyć czas przygotowania programów.

W trakcie intensywnej eksploatacji urządzenie spełniło założone parametry konstrukcyjne i wykazało dobrą wydajność i pewność działania.

#### Literatura

- [1] HARLETT L.: Graphic Displays for Computer-Aided Design. Microelectronics 5/70.
- [2] Automatic Drafting Machine CORAGRAM - wyd. firmy Contraves.
- [3] The Automated Production of Artwork for Printed-Circuit Boards. Automation 12/69.
- [4] SCHIFFMAN M.: Graphic Digitizing Points the Way. Electronic, Packaging 7/69.
- [5] Surveying Automated Artwork Generators. Electronic, Packaging 12/68.



Mgr inż. Mirosław MIKA  
Instytut Maszyn Matematycznych

621.3.049.75.001.24

## O PROJEKTOWANIU DWUSTRONNYCH PŁYTEK DRUKOWANYCH

### 1. Zastosowanie

Pomimo tego, że zastosowanie płytek drukowanych, szczególnie dwustronnych i wielowarstwowych w nowoczesnym przemyśle elektronicznym jest obecnie bardzo szerokie, a korzyści wynikające z ich wykorzystania jako konstrukcji łączących elementy elektroniczne są bezsporne, podkreślenie ich wad i zalet wydaje się celowe choćby ze względu na potwierdzenie decyzji odnośnie ich zastosowania w konstrukcjach mikroelektronicznych.

Jak dla każdej dobrej konstrukcji, podobnie i w tym przypadku istnieją pewne ograniczenia i związane z nimi problemy. Argumenty za i przeciw stosowaniu płytek drukowanych można określić następująco:

#### Z a l e t y

1. Redukcja wagi 10:1
2. Zorganizowane wykorzystanie miejsca
3. Obniżka kosztów przez standaryzację i zautomatyzowanie produkcji
4. Niezawodność dzięki
  - prostemu jednolitemu zespołowi
  - miniaturyzacji połączeń

#### W a d y

1. niesprawność objętościowa /w zasadzie tylko 2 płaszczyzny/
2. Wzmoczone oddziaływanie wibracji
3. Trudna naprawa
4. Możliwość zwarcia odsłoniętych przewodów
5. Ograniczony i skomplikowany sposób odprowadzenia ciepła
6. Kompromisowy projekt mechaniczny i elektryczny



- |   |   |
|---|---|
| • zmechanizowanemu procesowi produkcji    | 7. Zmiana układu połączeń elektrycznych trudna lub niemożliwa |
| 5. Łatwość sprawdzenia                    |   |
| 6. Uproszczenie analizy diagnostycznej    |   |
| 7. Dobra i prosta identyfikacja elementów |   |

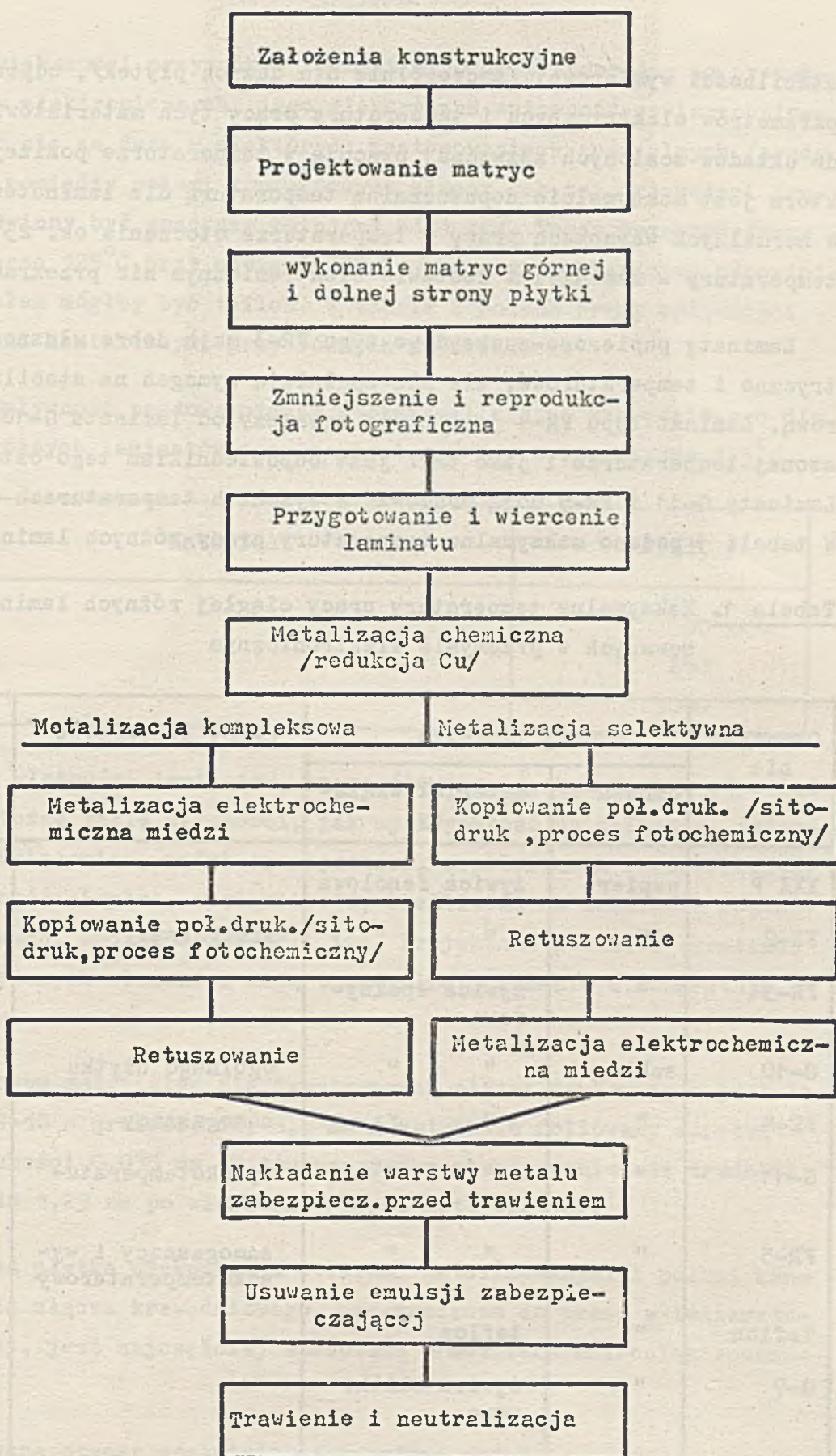
Optymalizacja projektu urządzenia jest możliwa po przeanalizowaniu połączeń elektrycznych, technik konstrukcyjnych, zastosowaniu określonych elementów, określeniu metod odprowadzania ciepła, dopuszczalnych wibracji i innych specjalnych warunków, które należy określić, rozważyć i kontrolować aż do zakończenia projektu. Zastosowanie układów scalonych i innych typów elementów mikroelektronicznych zmusza konstruktorów do maksymalnego wykorzystania miejsca. Wzrastają wymagania odnośnie produktu końcowego o minimalnych wymiarach i ciężarze przy większej niezawodności i rozsądnym koszcie wyrobu. Rezystancja, pojemność i inne parametry przewodów łączących wpływają decydująco na własności całego systemu.

Jeżeli tylko pozwalają na to wymagania elektryczne, należy stosować jednostronne płytki drukowane. Dwustronne płytki drukowane stwarzają dodatkowe trudności w projektowaniu i produkcji, i zmniejszają z reguły niezawodność konstrukcji drukowanych. Ze względu na gęstość upakowania przewodów dwustronnie drukowane płytki są obecnie podstawowym elementem konstrukcyjnym układów scalonych. Zasadniczym problemem, jaki występuje przy dwustronnych płytkach drukowanych jest ustalenie zbieżności między górną i dolną warstwą pól i przewodów drukowanych oraz jakość połączeń międzywarstwowych. Zasady projektowania i produkcji należy rozpatrywać głównie z punktu widzenia wymagań wysokiej jakości połączeń międzywarstwowych. Na rys. 1 podano podstawowe etapy produkcji i konstrukcji dwustronnych płytek drukowanych.

W przypadku modułów mikroelektronicznych stosuje się na ogół laminaty szklano-epoksydowe typu G-10<sup>\*\*</sup>. Wyboru dokonano na podstawie oceny

<sup>\*\*</sup> Stosujemy tutaj oznaczenia laminatów według norm amerykańskich





Rys. 1. Etapy konstrukcji i produkcji dwustronnych płytek drukowanych



stabilności wymiarowej /szczególnie dla dużych płytek/, odpowiednich parametrów elektrycznych i temperatury pracy tych materiałów. Płytki do układów scalonych zazwyczaj pracują w temperaturze poniżej 130°C, która jest maksymalnie dopuszczalną temperaturą dla laminatów G-10. W normalnych warunkach pracy w temperaturze otoczenia ok. 25°C wzrost temperatury w zamkniętym zestawie elektronicznym nie przekracza 20-30°C.

Laminaty papierowo-epoksydowe typu FR-3 mają dobre własności elektryczne i temperaturowe, ale nie spełniają wymagań na stabilność wymiarową. Laminat typu FR-4 jest nieco trwalszy od laminatu G-10 w podwyższonej temperaturze i jako taki jest odpowiednikiem tego ostatniego. Laminaty G-11 i FR-5 mogą pracować w wysokich temperaturach do 150°C. W tabeli 1 podano maksymalne temperatury pracy różnych laminatów.

Tabela 1. Maksymalne temperatury pracy ciągłej różnych laminatów stosowanych w przemyśle elektronicznym

Oznaczenie	Rodzaj laminatu		Cechy szczególne	Temperatura °C
	osnowa	materiał wiążący		
XXX P	papier	żywica fenolowa		120
FR-2	"	" "	samogasnący	120
FR-3	"	żywica epoksydowa	"	120
G-10	szkło	" "	ogólnego użytku	130
FR-4	"	" "	samogasnący	130
G-11	"	" "	wysokotemperaturowy	150
FR-5	"	" "	samogasnący i wysokotemperaturowy	150
Teflon	"	teflon		180
G-7	"	żywica silikonowa		200



Choć w większości przypadków laminat G-10 jest stosowany do produkcji modułów elektronicznych, jego elektryczna upływność powierzchniowa może okazać się za duża w niektórych zastosowaniach specjalnych /prądy upływności pomiędzy polami kontaktowymi złącza lub też przewodami drukowanymi powinny być znacznie mniejsze od 1 nA/. Testy przeprowadzone w temperaturze 125°C przy napięciu 30 V wykazały, że bardziej odpowiednim materiałem mogłby być teflon. W tabeli 2 podano prądy upływności między polami kontaktowymi przy różnych materiałach.

Tabela 2. Upływność prądowa między kontaktami złącza krawędziowego dla różnych laminatów przy napięciu 30 V i temperaturze 125°C

Materiał	Prąd, pA
Teflon	10
G-7	250
G-10, G-11	5000

Z innych własności laminatów, szczegółowo są dyskutowane w odpowiedniej literaturze takie własności, jak wytrzymałość na zginanie, deformacja pod obciążeniem, moduł sprężystości, współczynnik rozszerzalności, przewodność cieplna, nasiąkliwość, wrażliwość na działanie roztworów chemicznych, oporność izolacji itp. Projektant powinien określić, które z powyższych własności mają szczególne znaczenie w konkretnym zastosowaniu.

Standardowym materiałem dla dwustronnych płytek drukowanych jest laminat typu G-10 o grubości ok. 1,6 mm dwustronnie foliowany warstwą miedzi o grubości 0,035 mm. W tym przypadku otwory posiadają średnicę od 0,75 mm do 1,25 mm po wierceniu /przed metalizacją/.

Dwustronna płytka drukowana z otworami metalizowanymi i polami kontaktowymi dla złącza krawędziowego, przeznaczona do pracy w temperaturze pokojowej, jest najczęściej stosowana w modułach mikroelektronicznych.

Metalizowane otwory spełniają następujące zadania:



1. zapewniają połączenia między warstwami przy zachowaniu odpowiednich parametrów elektrycznych,

2. umożliwiają zamocowanie i połączenie elementów elektronicznych, zapewniając wysoką niezawodność.

Założenia, jakie powinny spełniać metalizowane otwory podano w skrócie w tabeli 3.

Tabela 3. Wymagania dla metalizowanych otworów:

1. Całkowite pokrycie
2. Jednakowa grubość warstwy metalizowanej w otworach i na powierzchni
3. Droбноziarnista struktura metalu
4. Bez bryłek, wtrąceń metalicznych itd
5. Bez nadmiaru metalu /nabudowywanie/ przy krawędziach otworów i na brzegach pól drukowanych
6. Bez pęknięć
7. Minimalna grubość warstwy miedzi w otworach 0,025 mm /około 0,040 do 0,075 mm stosuje się dla zapewnienia niezawodności i umożliwienia wymiany elementów/

Wymagania produkcyjne powinny być zazwyczaj podporządkowane odpowiedniej normie, określającej zakres i przeznaczenie płytki drukowanej.

## 2. Zasady projektowania

Projektowanie płytki zaczyna się od wyrysowania sieci połączeń drukowanych. Jest to zazwyczaj dwukolorowy rysunek /szkic/ pokazujący kierunek przewodów, położenie otworów itp. Oczywiście rysunek ten nie jest wykonany z zachowaniem odpowiednich wymiarów, ale na bazie siatki podstawowej i wtórnej powinien uwzględniać dalsze założenia, takie



jak rozmieszczenie elementów /mikroukładów/, odległości pomiędzy otworami i przewodami drukowanymi, szerokość przewodów i wiele innych niezbędnych informacji, wynikających z założeń konstrukcyjnych podstawowych, wymagań elektrycznych, własności materiałów i procesu produkcji.

Metodyka prowadzenia połączeń drukowanych jest związana z trudnym procesem optymalizacji sieci połączeń wielowarstwowych. Wśród wielu innych należy pamiętać, aby przy najmniejszej ilości połączeń międzywarstwowych uzyskać najmniejszą długość przewodów drukowanych, rozmieszczonych z największą dopuszczalną gęstością przy uwzględnieniu wzajemnych przeników /sprzężeń/ i innych efektów indukcyjno-pojemnościowych. Droga kolejnych przybliżeń dochodzi się do najbardziej optymalnego projektu. Z reguły zaś należy co najmniej 3-krotnie ponawiać próbę wykonania dobrego projektu.

### 3. Parametry elektryczne przewodów drukowanych

Na ogół obciążalność prądowa przewodów drukowanych nie stwarza problemów. Natomiast ich rezystancja może być istotna w wypadkach, gdy przewody są stosunkowo długie, a spadek napięcia jest zbyt duży. Na podstawie rys. 2, 3 można wyznaczyć rezystancje przewodów i wzrost temperatury przy określonym obciążeniu prądowym. Rezystancja może być także obliczona według wzoru:

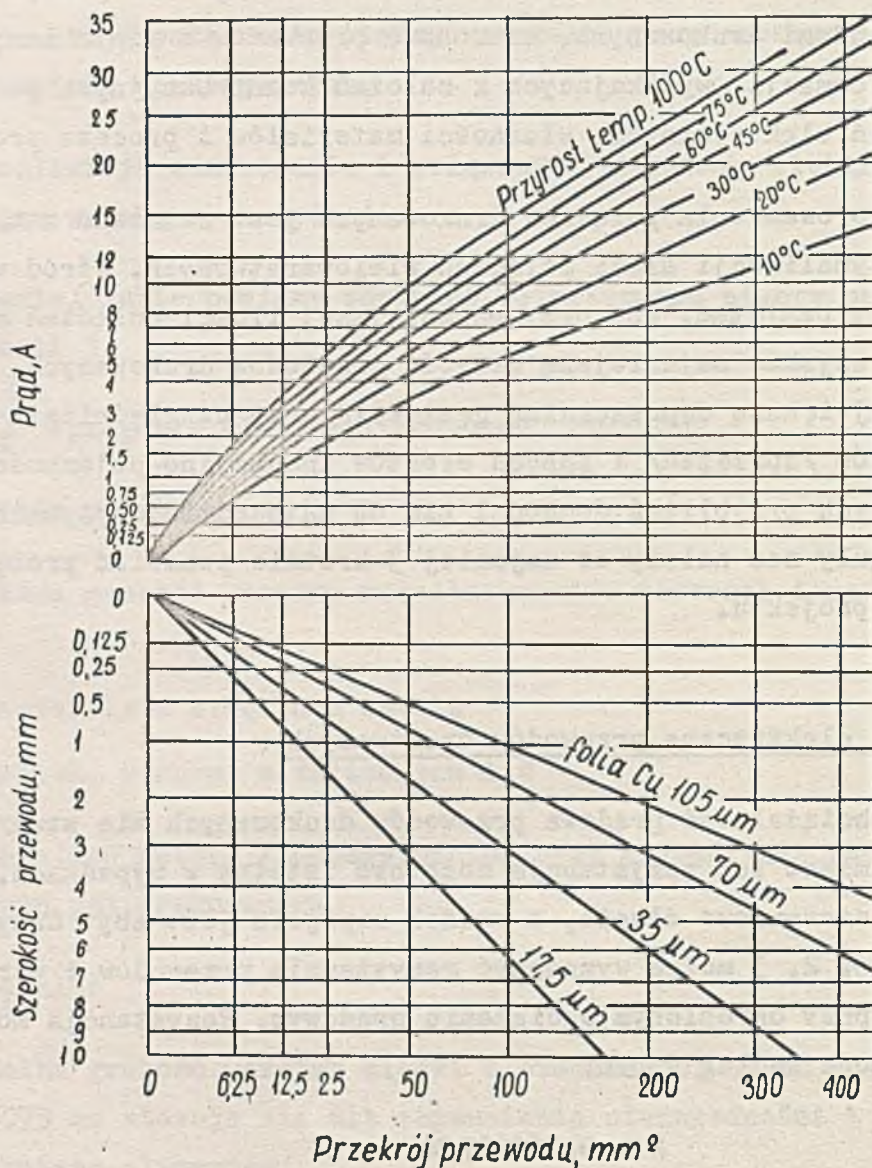
$$R = 0,000227/W,$$

gdzie  $R$  - rezystancja,  $\Omega$  /cm,  $W$  - szerokość przewodu, cm.

Wzór ten odnosi się do przewodu z miedzi /99,5%/ o grub. 0,070 mm. W obwodach wysokiej częstotliwości należy uwzględnić pojemność rozproszoną przewodów umieszczonych jeden nad drugim, która średnio wynosi 0,3 pF/10 cm. Poniżej podano zależność pozwalającą w przybliżeniu określić jej wartość:

$$\text{Pojemność /pF/cm/} = \frac{\text{szer. przewodu /10}^{-3} \text{ cm/} \times \text{stała dielektryczna}}{\text{grub. dielektryka /10}^{-3} \text{ cm/} \times 11,30}$$





Rys. 2. Obciążalność prądowa przewodów drukowanych dla różnych przyrostów temperatury powyżej temperatury otoczenia w zależności od szerokości i grubości tych przewodów

Pojemność pomiędzy sąsiednimi przewodami /w tej samej płaszczyźnie poziomej/ jest funkcją szerokości, grubości i odległości między nimi oraz zależy od rodzaju materiału płytki. Można ją obliczyć z zależnościami:

$$C = 0,12 \left( \frac{d}{W} \right) + 0,09 \left( 1 + \epsilon \right) \log \left[ 1 + \frac{2W}{S} + \frac{2W}{S} + \frac{W^2}{S^2} \right],$$

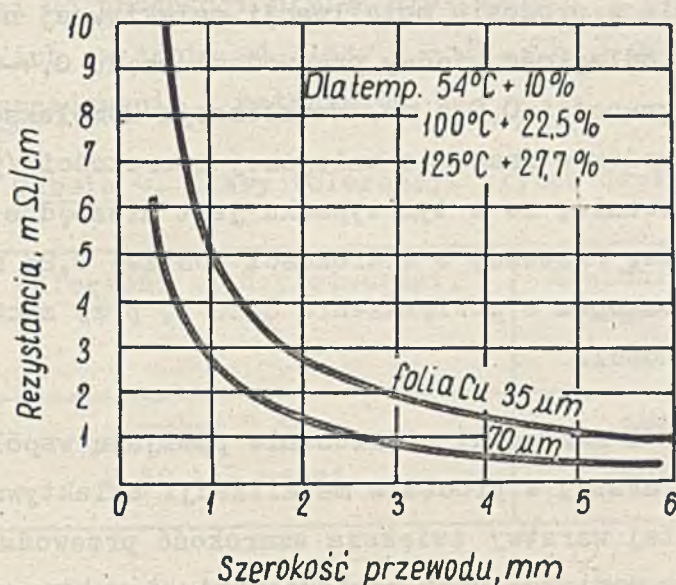
gdzie  $\epsilon$  - stała dielektryczna materiału,

$d$  - grubość przewodów, cm,



W - szerokość przewodów, cm,

S - odległość /dystans/ dzieląca przewody, cm.



Rys. 3. Rezystancja przewodów drukowanych w zależności od ich szerokości i grubości dla temperatury 20°C /100% przewodności/

Należy zachować szczególną ostrożność przy obwodach drukowanych, położonych nad płaszczyzną ekranującą lub uziemioną, ponieważ cała długość przewodu jest sprzężona pojemnościowo z tą płaszczyzną i konsekwentnie z przewodami tego samego pokrewieństwa.

Zostało udowodnione, że dla obwodów wysokiej częstotliwości charakterystyki elektryczne połączeń wykonanych na jednostronnej płytce drukowanej są nieodpowiednie i że są konieczne pewne konfiguracje przewodów z towarzyszącą płaszczyzną uziemiającą [2].

Warto podkreślić, że omówione powyżej parametry elektryczne mogą być wykorzystane do kontroli procesu produkcyjnego dwustronnych płytek drukowanych /podtrawienie przewodów/.

#### 4. Wymiary przewodów drukowanych

Wymiary przewodów drukowanych powinny być bardzo dokładnie przeanalizowane, ponieważ wąskie przewody i małe tolerancje wymiarowe podno-



szą koszty płytki drukowanej. W stosunku do konstrukcji mikroelektro-nicznych podstawowym problemem jest ustalenie racjonalnych minimów szerokości i odległości między przewodami drukowanymi.

Praktyczne ograniczenia w procesie metalizacji selektywnej narzucają minimalną szerokość i odległość między przewodami rzędu 0,4–0,5 mm dla laminatów z folią o grubości 0,035 mm. Metalizacja kompleksowa umożliwia wykonanie przewodów o znacznie mniejszej szerokości /poniżej 0,10 mm/, ale ich retuszowanie, co w tym wypadku jest niezbędne, sprawia bardzo wiele kłopotów. Przewody o szerokości poniżej 0,25 mm należy retuszować pod mikroskopem o powiększeniu 8–20 x, przy zachowaniu wszelkich środków ostrożności.

Inżynierowie projektanci zazwyczaj niesłusznie pomijają współczyn-nik bocznego narastania warstwy w procesie metalizacji selektywnej. Każde 0,025 mm grubości tej warstwy zwiększa szerokość przewodu o oko-ło 0,05 mm, o czym należy pamiętać przy projektowaniu i wykonywaniu ma-tryc. Natomiast w procesie metalizacji kompleksowej na skutek podtra-wienia występuje zmniejszenie wymiarów przewodów, co jednak dość często bywa brane pod uwagę.

Powyższe informacje są tylko przykładem wymagań wynikających z pro-cesu produkcji płytek drukowanych. Te i inne wymagania są omawiane szczegółowo w literaturze dotyczącej procesów produkcji dwustronnych płytek drukowanych [2, 4].

W wielu wypadkach wprowadza się bezkołnierzowe otwory metalizowane celem zwiększenia gęstości upakowania przewodów. W procesie metalizacji następuje nakładanie się metalu na ściankach otworów, przy wejściu do otworu i na powierzchniach zewnętrznych płytki. Przy konstrukcji bez-kołnierzowej /bez pól otaczających otwory/ nakładanie metalu formuje małą otoczkę wokół otworu, która pozostaje lub odpada w procesie tra-wienia i oczyszczania płytki. Bardzo często ma to również miejsce pod-czas montażu i lutowania. W rezultacie powstają zwarcia lub przerwy elektryczne w połączeniu. Ponieważ otoczki są trudne do usunięcia, by-łoby znacznie lepiej nie stosować otworów bezkołnierzowych, chyba że są one niezbędne. Zaleca się stosowanie kołnierzy o szerokości 0,40 mm. Pozostawiając znacznie mniejszą otoczkę z folii miedzianej, można wyeli-minować kłopoty związane z technologią otworów bezkołnierzowych.



## 5. Standardowe wymiary i tolerancje dla płytek drukowanych

Wymienione w tabelach 4-13 tolerancje i wymiary mogą być pomocne dla projektantów przy ustalaniu wymagań pod adresem konstrukcji, materiałów i narzędzi do produkcji płytek drukowanych [2]. Tolerancje podano w kolejności ich zwężenia od klasy I - IV. Kl. I odpowiada najmniejszym kosztom oprzyrządowania i materiałów.

Tabela 4. Klasy tolerancji płytek drukowanych

Klasy	Odległość między otworami, mm	Minimalna szerokość i odległość między prze- wodami, mm
1 i 2	powyżej 2,50	powyżej 0,40
3 i 4	2,50 lub mniej	mniej niż 0,40

Tabela 5. Wymiary i tolerancje otworów przed metalizacją

Średnica otworu, mm	Klasa, mm			
	1	2	3	4
0 - 0,80	$\pm 0,08$	$\pm 0,05$	$\pm 0,025$	$\pm 0,025$
0,80 - 1,60	$\pm 0,10$	$\pm 0,08$	$\pm 0,05$	$\pm 0,025$
1,60 - 5,00	$\pm 0,13$	$\pm 0,10$	$\pm 0,08$	$\pm 0,05$
otwory dowolne do 50,00	$\pm 0,13$	$\pm 0,08$		

Tolerancja otworów /przed metalizacją/ obowiązuje dla płytek o grubości 1,60 mm; powyżej do 3,00 mm należy do podanych wartości dodać  $\pm 0,025$ .

Tabela 6. Stosunek średnicy otworów /przed metalizacją/ do grubości płytki

Klasa	Stosunek	Minimalna średnica otworu %
1	2:3	66
2	3:6	50
3	3:10	30
4	3:12	35



Tabela 7. Wymiary i tolerancje otworów po metalizacji

Grubość warstwy metalizowanej jest podawana tylko w sensie minimum. Tolerancja od zera do plus 100% jest uznana za właściwą. Tolerancja średnicy otworu po metalizacji jest równa tolerancji otworu przed metalizacją plus 2 x minimalna grubość warstwy metalizowanej np.:

Wymiary, mm	Tolerancja otworu metalizowanego mm	Wartość nominalna, mm
Średnica otworu = 1,30 /tab. 5/	$\pm 0,10$	1,30
min. grubość miedzi = 0,025	0,05	0,075
min. grubość stopu lutowniczego = 0,013	0,025	
Tolerancja całkowita	$+0,10$ $-0,175$	$+ 0,10$ $1,22 - 0,17$

Tabela 8. Tolerancja położenia otworów względem układu odniesienia

Układ odniesienia /współrzędne X, Y/ określają /trzy/ otwory z polami drukowanymi, na których zaznaczono położenia osi, wyznaczających środki otworów. Tolerancja położenia otworu jest określona przez średnicę pola, w którym będzie położona faktycznie oś /środek/ otworu.

Odległość od układu odniesienia mm	klasa, mm			
	1	2	3	4
największy wymiar współrzędnej 150,00	0,50	0,35	0,25	0,15
największy wymiar współrzędnej 150,00	0,70	0,50	0,35	0,25



Tabela 9. Tolerancje położenia pola drukowanego /lutowniczego/ względem układu odniesienia

a. Z układem odniesienia - obie strony płytki

Odległość od układu odniesienia mm	klasa, mm			
	1	2	3	4
Największa współrzędna < 150,00	0,50	0,35	0,25	0,15
Największa współrzędna > 150,00	0,70	0,50	0,35	0,25

b. Bez układu odniesienia - obie strony płytki

Odległość, mm		Klasa, mm		
		1	2	3 i 4
Wymiary	< 150,00	0,80	0,50	stosować układ
Wymiary	> 150,00	1,00	0,70	odniesienia

Podobnie jak w tabeli 8, tolerancje położenia pola są wyznaczone przez średnią pola, w którym będzie położona faktyczna oś /środek/ pola drukowanego. Dokładność położenia pól obu stron płytki względem siebie może być określona przez wymiar minimalny kołnierza otaczającego otwór - od brzegu do brzegu pola drukowanego.

Tabela 10. Szerokości i odległości między przewodami drukowanymi

Na rysunku konstrukcyjnym płytki należy podać tylko minimalne szerokości i odległości między przewodami. Matrycę należy wykonać w powiększeniu zapewniającym uzyskanie właściwych tolerancji końcowych /zazwyczaj w skali 4:1/.

a. Przykłady zmiany wymiarów projektowanych w procesie produkcji /w najgorszym przypadku/

Szerokość przewodu	Klasa, mm			
	1	2	3	4
Minimum wg projektu	0,80	0,40	0,25	0,13
Minimum po wykonaniu	0,50	0,25	0,15	0,08



b. Tolerancje wymiarów przewodów niemetalizowanych i metalizowanych  
/dla płytek z otworami metalizowanymi/

Szerokość przewodu	klasa, mm			
	1	2	3	4
bez metalizacji	+ 0,15	+ 0,10	+ 0,05	+ 0,025
	- 0,25	- 0,13	- 0,10	- 0,05
z metalizacją	+ 0,40	+ 0,20	+ 0,10	+ 0,05
	- 0,25	- 0,13	- 0,10	- 0,05
Odległość między przewodami	klasa, mm			
	1	2	3	4
bez metalizacji	+ 0,25	+ 0,13	+ 0,10	+ 0,05
	- 0,15	- 0,10	- 0,05	- 0,025
z metalizacją	+ 0,25	+ 0,13	+ 0,10	+ 0,05
	- 0,40	- 0,20	- 0,10	- 0,05

Powyższe tolerancje dotyczą płytek z metalizowanymi otworami z laminatu o grubości do 1,60 mm z folią o grubości 0,035 mm. Dla laminatów o większej grubości /lub dla płytek, w których stosunek średnicy otworu do grubości płytki jest mniejszy od 2:3/ metalizacja spowoduje dalsze powiększenie szerokości przewodów. Podobnie przy wzroście grubości folii o każde 0,025 mm zostaje zmniejszona szerokość przewodów o 0,025 mm na stronę.

Tabela 11. Wymiary pól drukowanych /lutowniczych/

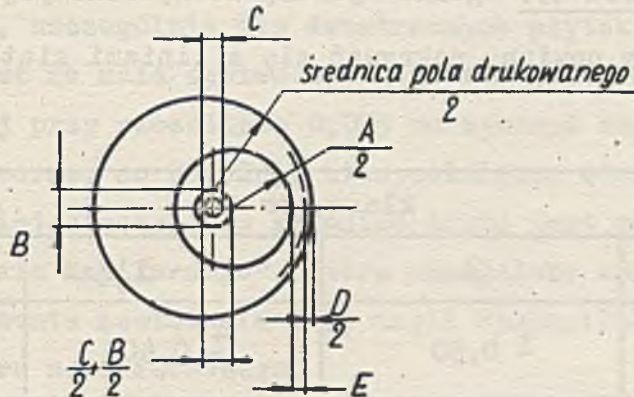
W klasie 1, 2 i 3 dopuszcza się odpowiednie wymiary zależnie od charakteru procesu produkcji. W klasie 4 przyjmuje się dla wyrobu najmniejsze wymiary kołnierza /odległość między brzegiem otworu a brzegiem pola drukowanego/ równe 0,05 mm.

W związku z powyższym należy rozważyć ogólną sumę tolerancji dla wybranego wymiaru otworu w stosunku do wymiaru pola. Poniżej podano przykład obliczeń dla metalizowanych otworów w klasie 4:



Minimalna średnica pola drukowanego

$$= 2 \left( \frac{A}{2} + \frac{B}{2} + \frac{C}{2} + \frac{D}{2} + E \right) = 2 \left( \frac{0,76}{2} + \frac{0,28}{2} + \frac{0,15}{2} + \frac{0,10}{2} + 0,05 \right) =$$
$$= 1,39 \text{ mm}$$



Rys. 4. Wymiary pola drukowanego

gdzie

- A - tab. 7. Maksymalna średnica otworu metalizowanego /założono, że wynosi 0,76 mm/.
- B - tab. 8. Tolerancje położenia otworu<sup>1</sup>
- C - tab. 9. Tolerancje położenia pola drukowanego
- D - tab. 10. Ogólne dopuszczalne zmniejszenie średnicy pola. Pola będą się zmniejszać podobnie jak przewody
- E - tab. 11. Minimalny wymiar kołnierza - odległość brzegu otworu od brzegu pola drukowanego

<sup>1</sup> Tolerancję położenia otworu podano w tab. 8 dla wymiarów płytki poniżej 150,00 w klasie 4 wynosi 0,15 mm. Ponieważ minimalne wymiary pola drukowanego są obliczane dla największego otworu, wymiar 0,15 mm powinien wzrosnąć o tyle, o ile sam otwór zmieni się od najmniejszego wymiaru po metalizacji. Dlatego do wymiaru 0,15 mm należy dodać tolerancję otworu w kl. 4 wg tab. 5 oraz minimalny przyrost po metalizacji wg tab. 7, co w sumie wynosi:

$$B = 0,15 + 0,05 + 0,076 \approx 0,28 \text{ mm}$$



Tabela 12. Odległość krawędzi płytki od układu odniesienia

klasa, mm			
1	2	3	4
$\pm 0,40$	$\pm 0,25$	$\pm 0,20$	$\pm 0,13$

Tabela 13. Ogólne wymiary zewnętrzne płytki

Ogólne wymiary powinny pokrywać się z liniami siatki podstawowej /moduł 2,50 mm/.

klasa, mm			
1	2	3	4
$\pm 0,75$	$\pm 0,50$	$\pm 0,40$	$\pm 0,25$

Przy korzystaniu z tabel należy pamiętać, że wybór odpowiedniej klasy z jednej z nich nie oznacza, że przy korzystaniu z drugiej nie można zmienić tej klasy na inną. Ogólnie, można stwierdzić, że kl. I i II odpowiadają odległości między otworami powyżej 2,50 mm i nominalnej szerokości i odległości między przewodami drukowanymi powyżej 0,40 mm, a kl. III i IV odległości pomiędzy otworami wynoszącej 2,50 mm lub mniej oraz szerokości i odległości między przewodami poniżej 0,40 mm.

## 6. Zalecenia związane z procesem lutowania

Właściwe lutowanie powierzchni metalizowanych przewodów drukowanych, podobnie jak stosunek średnicy otworów do wyprowadzeń, kierunek przewodów oraz inne parametry powinny być poprawnie określone z punktu widzenia procesu lutowania. Rozzaje powierzchni metalizowanych i ich lutowalność zostały omawiane przy metalizacji dwustronnych płytek drukowanych [2, 3].

Stosunek średnicy otworu do wyprowadzenia jest wynikiem kompromisowego uwzględnienia wielu wymagań, z punktu widzenia montażu większy



otwór i mniejsza średnica drutu ułatwia zarówno ręczne jak i automatyczne wetknięcie wyprowadzenia. Tak np. projektant płytki chciałby stosować jednakowe otwory. Z reguły zaś średnica wyprowadzenia bywa narzucana przez producenta elementów. W wyniku obserwuje się wiele zakłóceń związanych z optymalnym lutowaniem płytek drukowanych.

W przypadku gdy spoiwo lutownicze i topnik powinny wpłynąć do środka metalizowanego otworu właściwy stosunek wymiarów drutu i otworu staje się bardzo ważny, szczególnie dla dwustronnych płytek drukowanych. Jeżeli szczelina jest za mała spoiwo nie może się przez nią przedostać do środka. Zazwyczaj przy szczelinie 0,025 mm wystąpi zamknięcie topnika lub gazów w otworze, co powoduje niewypełnienie otworu spoiwem lutowniczym. Z drugiej strony, gdy średnica drutu jest mała a otwór duży nie ma "ciśnienia kapilarnego", które pomagałoby wpłynięciu topnika i spoiwa do momentu zestalenia się, czyli wystąpiłoby niecałkowite wypełnienie otworu metalizowanego.

Należy mieć pewność, że szczelina jest nie mniejsza od 0,05 mm jeżeli się uzna, że drut jest ułożony dokładnie w środku otworu. Trzeba przypomnieć, że całkowite wypełnienie otworu nie jest konieczne, co można stosunkowo prosto wyliczyć określając obciążalność prądową połączenia lutowanego [2]. Wyniki obliczeń pomagają określić stopień kompletności wypełnienia metalizowanego otworu. W przypadku gdy całkowite wypełnienie jest niemożliwe ze względu na inne wymagania i zalecany stosunek średnicy drutu do otworu nie może być utrzymany, zagięcie wyprowadzenia na powierzchni pola lutowniczego może okazać się wystarczające mimo niewypełnienia otworu spoiwem lutowniczym.






W płytkach drukowanych o wysokiej gęstości upakowania przewodów, odległości między przewodami drukowanymi są tak małe, jak tylko na to pozwalają wymagania elektryczne. Jednakże stwarza to niebezpieczeństwo formowania mostków lutowniczych pomiędzy sąsiednimi przewodami w procesie lutowania. Projektant, aby złagodzić możliwości wystąpienia tego zjawiska powinien przestrzegać o tym, że wszystkie ciasno rozmieszczone przewody powinny przebiegać równolegle do kierunku "przechodzenia" płytki drukowanej przez falę lutowniczą. Czasami indywidualne cechy, takie jak szerokość lub długość płytki, dyktują kierunek ruchu płytki. Ze względu na ograniczoną szerokość fali lutowniczej, należy utrzymywać



równoległy kierunek przewodów wzdłuż dłuższego wymiaru płytki. Zastosowanie masek lutowniczych, które stanowią selektywne zabezpieczenie płytki przed zwilżaniem przez spoiwo lutownicze, może wyeliminować ten problem.

W przypadku gdy kształt i wymiary przewodów drukowanych są funkcją dopuszczalnej obciążalności prądowej i dostępnej powierzchni, na której należy je rozmieścić, ukształtowanie pól lutowniczych, otaczających otwory, zależy przede wszystkim od projektanta. W tabeli 14 pokazano kilka konfiguracji pól lutowniczych. Dla mikroukładów typu pajak, najczęściej stosowanym jest wzór uniwersalny [1].

Tabela 14. Różne kształty pól lutowniczych /drukowanych/

Typ		Zalecany kierunek zagięcia wyprowadzenia	Kształt połączenia lutowanego	Uwagi
	łezka	ku dłuższemu końcowi	równy i prawie okrągły	dobrze rozwiązanie, powiększona powierzchnia styku
	okrągły	-	równy i okrągły	wzór uniwersalny
	"D"	ku końcowi	nierówny	niezbyt często stosowany
	prostokątny	do rogu lub ku dłuższemu końcowi	nierówny	niezbyt często stosowany
	Delta	ku podstawie	nierówny	stosowany jeżeli powierzchnia jest ograniczona

Przy jednoczesnym lutowaniu wszystkich elementów na płytce drukowanej należy przestrzegać, aby pola lutownicze ze względu na pojemność cieplną były równe lub do siebie podobne. Przestrzeganie powyższego warunku sprzyja poprawie parametrów lutowania i zabezpieczeniu przed uszkodzeniem elementów elektronicznych.



## 7. Metodyka prowadzenia połączeń drukowanych

Te same zasady, które przyjęto dla konwencjonalnych sieci połączeń elementów elektronicznych realizowanych przez drutowe połączenia /"punkt do punktu"/ obowiązują dla połączeń drukowanych. I tak, aby zabezpieczyć się przed niewskazanymi przenikami elektrycznymi obowiązują właściwe odległości lub też ekranowanie przewodów wejściowych i wyjściowych. Jednakże pomimo tych samych zasad, wymiary połączeń, ich odległości i ograniczenie przestrzeni do dwóch równoległych płaszczyzn stwarza inne możliwości i inne problemy.

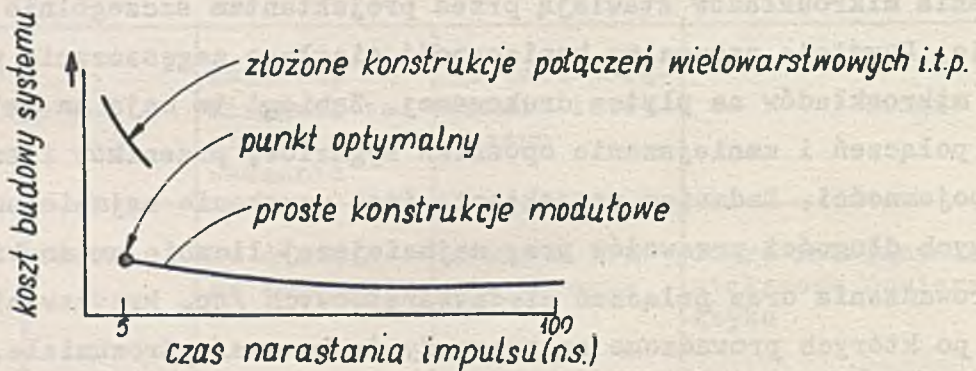
Stwierdzono, że wysoki stopień komplikacji połączeń pomiędzy mikroukładami w typowych sieciach elektronicznych oraz rosnąca szybkość działania mikroukładów stawiają przed projektantem szczególnie trudne zadanie. Powstaje naturalna konieczność ciągłego zagęszczania przewodów i mikroukładów na płycie drukowanej. Zabiegi te mają na celu skrócenie połączeń i zmniejszenie opóźnień sygnałów, przeników i szkodliwych pojemności. Zadaniem projektanta jest uzyskanie najmniejszej z możliwych długości przewodów przy najmniejszej liczbie zmian kierunków ich prowadzenia oraz połączeń międzywarstwowych /np. krzyżowania się dróg, po których prowadzone są przewody drukowane/. Zrozumiałe, że określony wzór połączeń drukowanych będzie bezpośrednio związany z założonym rozmieszczeniem elementów na płycie oraz kształtem i wymiarami tej płytki.

Doświadczenie wskazuje, że po kompromisowym, zrównoważonym oszacowaniu wielu powiązanych ze sobą parametrów, preferuje się szczególnie dla konstrukcji mikroelektronicznych proste i równoległe prowadzenie przewodów po każdej stronie płytki drukowanej /rys. 5/. Stwierdzono również, że dla mikroukładów, których szybkość działania nie przekracza 5 nsek wystarczają płytki drukowane dwustronne. Natomiast przy większych szybkościach /poniżej 5 nsek/ należy stosować bardziej złożone struktury połączeń, takie jak wielowarstwowe płytki drukowane /rys. 6/ [6].

Jednym z rozwiązań przy projektowaniu połączeń drukowanych, w którym główny nacisk położono na uzyskanie maksymalnych gęstości przewodów, najbardziej korzystne okazało się prowadzenie ich w matrycy X-Y tzn. przez poziomy kierunek przewodów po jednej stronie i pionowy po drugiej stronie płytki drukowanej.



Rys. 5. Klasyczna prosto-równoległa konfiguracja przewodów drukowanych



Rys. 6. Konstrukcje modułowe a szybkość układów scalonych

Projektowanie połączeń drukowanych zaczyna się od wstępnego rozmieszczenia mikroukładów na powierzchni płytki drukowanej /rys. 7a/.

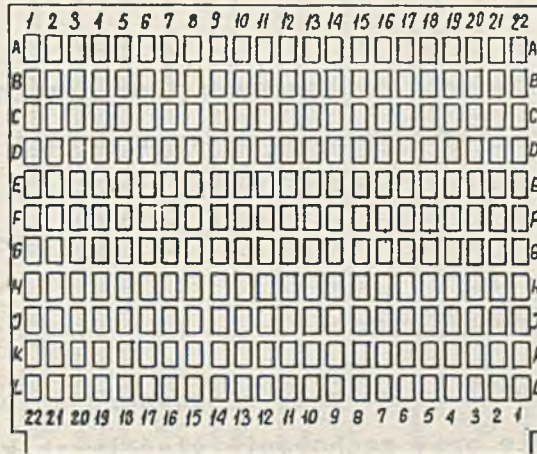
Plan rozmieszczenia i schemat połączeń elektrycznych jest podstawą do sporządzenia tabeli bezpośrednich połączeń między mikroukładami. Następnie należy przystąpić do właściwego projektu połączeń drukowanych. Wykorzystuje się w tym celu arkusz papieru z nadrukowaną siatką pomocniczą /rys. 7b/.

Ciągłe linie siatki rozmieszczono w odległościach, które będą korespondować z rozstawieniem wyprowadzeń mikroukładów, a przerywane linie w środku między liniami ciągłymi będą korespondować z przewodami pomiędzy polami lutowniczymi metalizowanych otworów. W dalszej fazie należy zaznaczyć położenie otworów dla wyprowadzeń mikroukładów oraz zygzakowatymi, poziomymi liniami zaznaczyć położenie przewodów

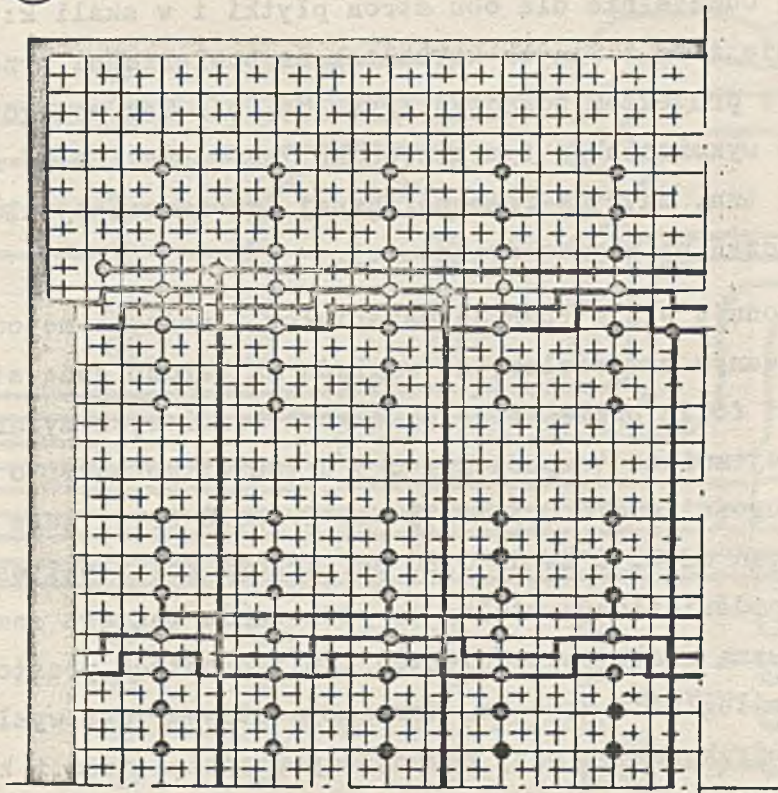


zasilających. Ostatnim etapem będzie wyrysowanie na arkuszu przezroczystej folii, którą umieszczono na wykonanym już wzorze połączeń zasilających, poziomo-pionowych przewodów połączeń sygnałowych wzdłuż wolnych linii siatki pomocniczej.

(a)



(b)



Rys. 7. Etapy projektowania połączeń drukowanych

a. rozmieszczenie mikroukładów, b. wyrysowanie połączeń zasilających, które poprzedzają wzór połączeń sygnałowych



Linie poziome, przewidziane do wytrawienia na dwustronnej płytce drukowanej po stronie mikroukładów wyrysowuje się jednym kolorem, a linie pionowe od strony lutowania w innym kolorze. W trakcie rysowania należy zaznaczyć przejścia z jednej strony płytki na drugą, odpowiadające położeniu metalizowanych otworów, dzięki którym realizuje się ciągłość elektryczną pomiędzy warstwami przewodów drukowanych obu stron płytki.

Skończony projekt połączeń drukowanych jest przeznaczony do wykonania matryc, przedstawiających rysunki nadruku każdej strony dwustronnej płytki.

## 8. Matryce połączeń drukowanych

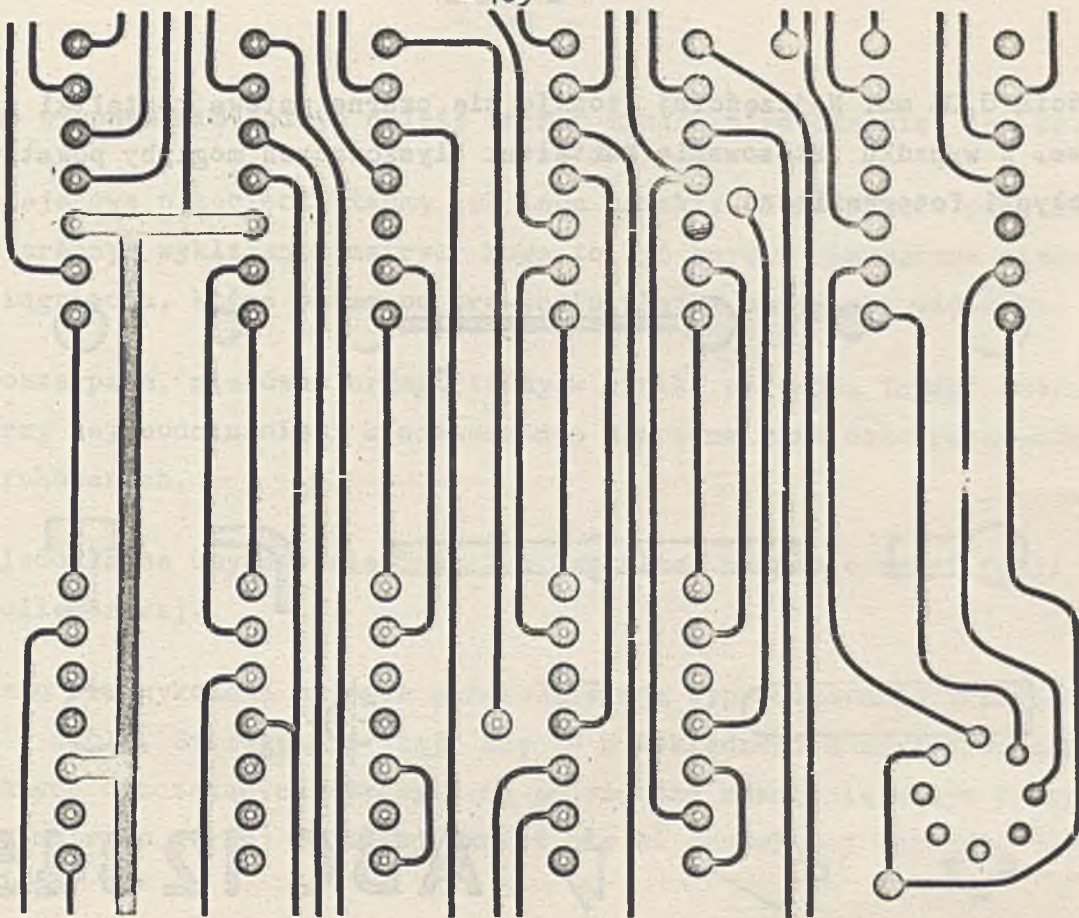
Matryce połączeń płytki drukowanej są odwzorowaniem projektu wykonanego w poprzednim etapie przy zachowaniu właściwych kształtów, wymiarów położenia i odległości między przewodami drukowanymi. Wykonuje się je najczęściej oddzielnie dla obu stron płytki i w skali 2:1 lub 4:1 przez wyklejenie taśm i innych kształtek na powierzchni przezroczystej folii zgodnie z projektem połączeń /rys. 8a, b/. Tak przygotowane matryce służą do wykonania /w tym przypadku już w skali 1:1/ reprodukcji fotograficznej tzn. matrycy fotograficznej przeznaczonej dla kopiowania wzoru połączeń na płytce drukowanej.

Matryce wykonuje się z różnych materiałów i różnymi metodami. Najczęściej stosowanym materiałem, ze względu na bardzo dużą stabilność wymiarową, jest folia poliestrowa o nazwach handlowych mylar, astralon itp., dla której zmiana temperatury o  $5^{\circ}\text{C}$  lub wilgotności o 20% powoduje zmianę długości około 0,3 mm/75 cm. Grubość folii może wynosić zależnie od wymagań od 0,10 mm do 0,20 mm. Arkusz folii poliestrowej układa się na podświetlonym stole, po podłożeniu takiego samego arkusza, z nadrukowaną siatką pomocniczych linii prostych prostokątnych najczęściej w odległości 2,54 mm. Następnym etapem jest wyklejanie wzoru połączeń drukowanych przy pomocy odpowiednich taśm i kształtek zgodnie z projektem połączeń.

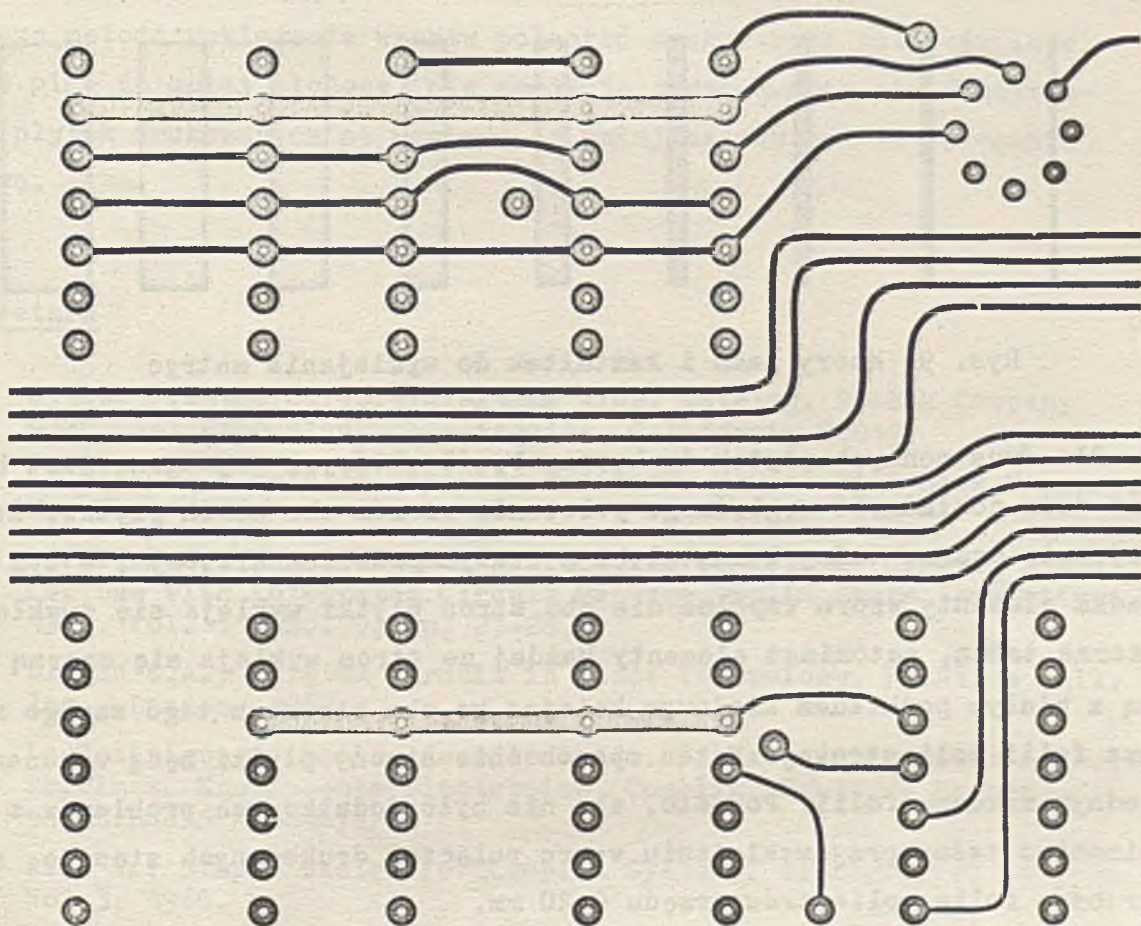
Producenci taśm i innych kształtek do wyklejania zapewniają duży, prawie dowolny wybór kształtów i wymiarów /rys. 9/ wykonanych z dokład-



a



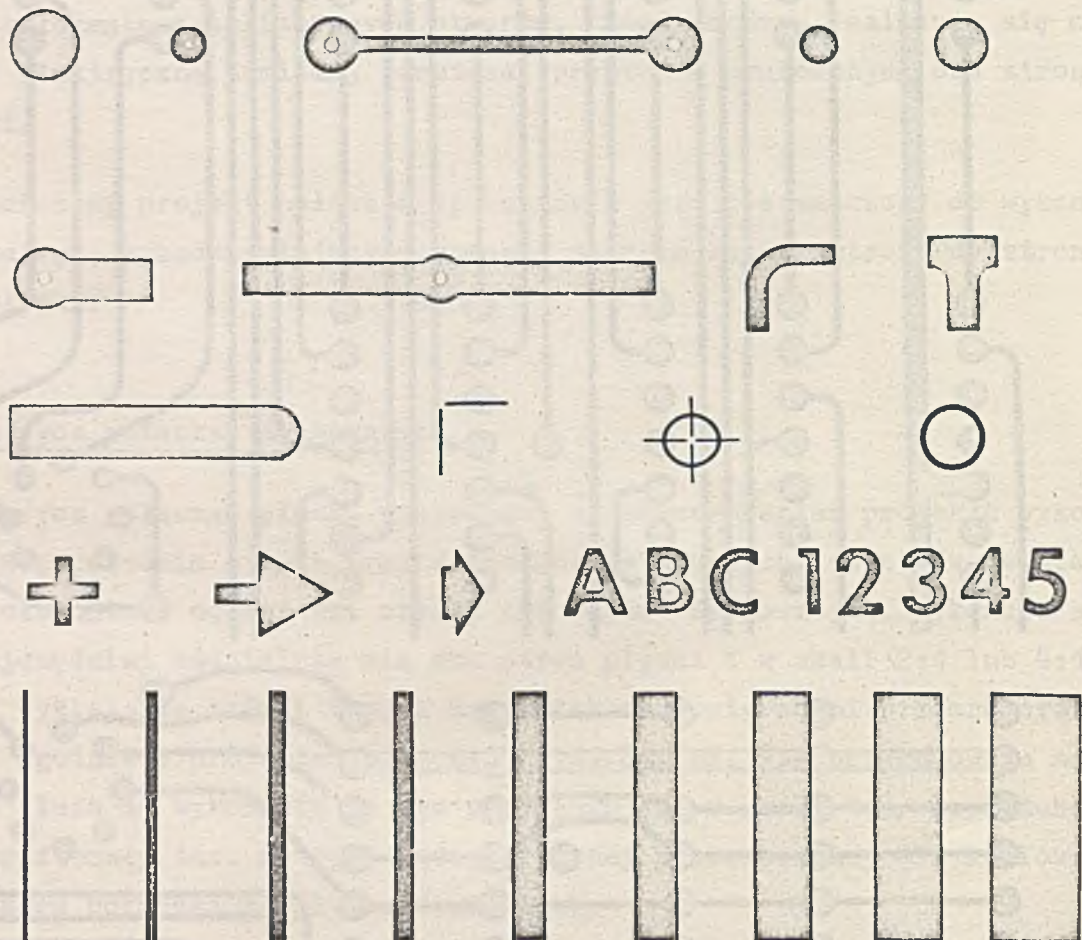
b



Rys. 8. Fragmenty matryc połączeń dwustronnej płytki drukowanej  
a. strona górna, b. strona dolna



nością 0,05 mm. Najczęściej stosuje się czarne matowe kształtki papierowe. W wypadku stosowania kształtek błyszczących mogłyby powstawać odbłyśki fotograficzne.



Rys. 9. Wzory taśm i kształtek do wyklejania matryc

Dla dwustronnych płytek drukowanych, dla których wymagana jest bardzo duża dokładność względnego położenia wzorów obu stron płytki, stosuje się czarne taśmy i kształtki z białym podłożem klejowym. W tym przypadku elementy wzoru wspólne dla obu stron płytki wykleja się zwykłą, czarną taśmą, natomiast elementy każdej ze stron wykleja się czarną taśmą z białym podkładem klejowym kolejno po obu stronach tego samego arkusza folii poliestrowej. W ten sposób obie strony płytki będą wykonane na jednym arkuszu folii. Ponadto, aby nie było dodatkowych problemów z przycinaniem taśmy przy wyklejaniu wzoru połączeń drukowanych stosuje się grubsze folie poliestrowe rzędu 0,20 mm.



Przy wykonywaniu matryc należy unikać takich niedociągnięć jak np.:

- miejscowe przecięcia taśmy lub inne defekty występujące przy niestarannym wyklejaniu matryc. Mogą to być bardzo nieznaczne niedociągnięcia, które potem po trawieniu płytki stają się widoczne,
- poszarpane, nierówne brzegi taśmy w wyniku używania tępego ostrza przy jej podcinaniu i konsekwentnie nierówne krawędzie przewodów drukowanych,
- niedokładne usytuowanie taśm lub kształtek na powierzchni folii poliestrowej.

Często źle wykonane matryce uniemożliwiają wyprodukowanie dobrych płytek w ogóle. Szczególnie wiąże się to z dokładnością usytuowania pól drukowanych otaczających otwory i ma największe znaczenie w tym przypadku, gdy matryce górnej i dolnej części płytki drukowanej wykonuje się oddzielnie.

Poza metodą wyklejania wzorów połączeń drukowanych istnieją inne, które mimo że mniej złożone, nie znajdują zastosowania dla dwustronnych płytek drukowanych ze względu na mniejszą dokładność wykonania matryc.

#### Literatura

- [1] By-Buk Printed Circuit Drafting Aids. Catalog. By-Buk Company 4326 West Pico Blvd., Los Angeles, California 90019.
- [2] COOMBS C.F.: Printed Circuits Handbook. McGraw-Hill Book Company, New-York 1967.
- [3] DUFFEK E.F., ARMSTRONG E.: Fabrication of Printed Circuit Board for Use with Integrated Circuit Package. Solid State Technology, 1968, Vol. 11, No. 9, pp. 23-28.
- [4] LINDEN E.A.: Printed Circuit in Space Technology. Prentice Hall, Inc., London, 1962.
- [5] La Technique française dans le monde. Études réalisations circuits imprimés. Equipements Electronics, Comelin, Route de Marcoussis 91, LIMOURS /Francja/.
- [6] RICE R.: Simple Design for Complex Systems. Electronics, Vol. 39, No. 3, 1966.
- [7] SCHLABACH T.D., RIDER D.K.: Printed and Integrated Circuitry Materials and Process. McGraw-Hill Book Company, New York 1963.







Mgr inż. Mirosław MIKA  
Instytut Maszyn Matematycznych

621.3.049.75.001.24.0022

## WIELOWARSTWOWE PŁYTKI DRUKOWANE

### C z ę ś ć I

#### Wstęp

Wykorzystanie wielowarstwowych płytek drukowanych do budowy elektronicznych maszyn cyfrowych przedstawiano w opracowaniu [14]. Obecnie podejmuje próbę systematycznego ujęcia tematu i kolejnego omówienia etapów projektowania, standardów wymiarowych, własności technologicznych materiałów, a także typowych konstrukcji i procesów technologicznych płytek wielowarstwowych z podkreśleniem zarówno kwestii konstrukcji płytek o otworach metalizowanych jak i procesu laminowania. Nie przedstawiono tu przykładów konkretnych rozwiązań konstrukcyjnych jako, że celem opracowania jest podanie niezbędnych informacji ogólnych, które powinny wystarczyć do samodzielnego projektowania płytek wielowarstwowych.

#### 1. Charakterystyka ogólna

Wielowarstwowe płytki drukowane stanowią jedną z najdoskonalszych form łączenia układów mikroelektronicznych w zespoły funkcjonalne. Umożliwia to zmniejszenie długości połączeń i zwiększenie gęstości upakowania, co w konsekwencji prowadzi do zmniejszenia objętości oraz redukcji ciężaru całego systemu. Zalety takiego rozwiązania są następujące:

- W konstrukcjach modułowych, szczególnie w systemach cyfrowych, wielowarstwowe płytki drukowane realizują kompletny zespół połączeń.



- W wielu innych urządzeniach można stosować połączenia wielowarstwowe dla realizacji pewnych wybranych celów i tam, gdzie to jest możliwe, zmniejszyć wymiary, ciężar, uprościć montaż i zwiększyć niezawodność całego zespołu.
- Poprzez rozbudowanie zespołu połączeń do wymiaru trzeciego istnieje możliwość zrealizowania bardziej złożonych układów na płytce o tych samych wymiarach, jakie mają np. dwuwarstwowe płytki drukowane.
- Bardzo istotną zaletą jest możliwość włączenia warstw ekranujących lub uziemiających bezpośrednio do układu połączeń. Warstwa miedzi może być wprowadzona zarówno między warstwy wewnętrzne jak i na powierzchniach zewnętrznych. W tym sensie połączenia mogą być ekranowane od zewnętrznych lub wewnętrznych zakłóceń. Warstwy uziemiające mogą być połączone ze szkieletem konstrukcji nośnej dla zapewnienia skutecznego odprowadzenia ciepła.
- Włączenie warstwy uziemiającej do zespołu połączeń warstwowych przy ściśle kontrolowanej grubości warstwy izolacyjnej pomiędzy poszczególnymi warstwami oraz precyzyjnie wykonanych szerokościach przewodów drukowanych umożliwia uzyskanie połączeń o stałej impedancji. Ta zaleta jest szczególnie cenna dla układów pracujących w zakresie wysokich częstotliwości.
- Pomimo bardzo małych wymiarów nowoczesnej obudowy układów scalonych płytka wielowarstwowa stanowi dla nich całkowity system połączeń z otworami położonymi w odpowiednio małej odległości. Warstwy zewnętrzne mogą być wykonane zarówno z miedzi, nadającej się do połączeń lutowanych, jak i z innych materiałów stosowanych do połączeń zgrzewnych.
- W wielu przypadkach, w których wprowadza się zespoły połączeń poziomu drugiego, wielowarstwowe płytki drukowane mogą służyć do rozprowadzania zasilania przez zbieranie różnych poziomów napięcia zasilającego na poszczególnych warstwach.
- W wielowarstwowych płytkach drukowanych występuje znaczne skrócenie długości połączeń pomiędzy elementami, co jest szczególnie ważne dla układów pracujących w zakresie wysokich częstotliwości.



- Poprzez nałożenie warstwy zewnętrznej z odpowiedniego materiału można uchronić połączenia drukowane przed mechanicznymi lub innymi uszkodzeniami zewnętrznymi.

Należy podkreślić, że wielowarstwowe płytki drukowane posiadają kilka niewątpliwych wad, które w pewnych sytuacjach mogą okazać się bardzo poważne. Należą do nich:

- Długi czas projektowania,
- długi czas produkcji,
- wysokie koszty krótkich serii produkcyjnych,
- trudne i kosztowne zmiany skończonej płytki,
- trudne sprawdzenie końcowego wyrobu,
- bardzo skomplikowane specjalne narzędzia naprawy.

Ogólnie uważa się wielowarstwowe płytki drukowane za konstrukcje bardzo skomplikowane, trudne do projektowania, modyfikacji i naprawy, a ponadto bardzo drogie [7, 8, 11]. Wytwórcy systemów cyfrowych powszechnego użytku uważają, że tego rodzaju płytki nie nadają się do metod masowej produkcji i eksploatacji. Nieco inaczej traktuje się ten problem w systemach specjalnych, w których ponad wszystko przekłada się dużą szybkość, niezawodność oraz małą objętość i ciężar jako nieodłączne cechy mikroelektronicznych konstrukcji modułowych [4, 6, 16].

## 2. Etapy projektowania

Wielowarstwowe płytki drukowane służą do łączenia mikroukładów w dowolnej obudowie. W każdym przypadku większość elementów, które łączy płytka wielowarstwowa posiada stałą, powtarzalną liczbę wyprowadzeń rozmieszczonych w tym samym typowym układzie. Stwarza to możliwość projektowania płytek z identyczną konfiguracją przewodów o tym samym usytuowaniu pól i otworów dla wyprowadzeń mikroukładów /tzw. punktów końcowych/. Złożoność połączeń wewnętrznych oraz liczba warstw mogą się zmieniać zależnie od funkcji układów elektronicznych realizowanych przez płytkę. Kolejne etapy projektowania obwodów wielowarstwowych przedstawiono w tabeli 1.



Tabela 1. Etapy projektowania wielowarstwowych płytek drukowanych

1. Podział systemu /schematu logicznego/ na jednostki podstawowe:

- dobór optymalnej wielkości płytki z punktu widzenia liczby mikroukładów i związanej z tym liczby warstw połączeń /złożoności połączeń wewnętrznych/ lub inaczej
- zapewnienie powtarzalności płytek w systemie /liczba typów płytek/ i złożoności połączeń zewnętrznych oraz ocena elastyczności projektu, kosztów eksploatacji, systemu itp.,
- ustalenie liczby połączeń zewnętrznych ograniczających zwrotnie, poprzez specyfikę schematu logicznego, liczbę mikroukładów na płytce /liczbę wyprowadzeń lub inaczej punktów końcowych/.

2. Fizyczny projekt płytki /ustalenie wymiarów płytki/:

- ustalenie wymiarów otworów i pól drukowanych dla połączeń międzywarstwowych oraz pól lutowniczych /łączących/ dla wyprowadzeń mikroukładów,
- ustalenie położenia mikroukładów /pól lutowniczych lub łączących/ z uwzględnieniem miejsca dla określonej liczby połączeń międzywarstwowych i przewodów drukowanych.

3. Rysunek płytki:

- wyszczególnienie danych wg punktu 2,
- wyszczególnienie danych o otworach montażowych i innych obszarach zabronionych dla połączeń drukowanych.

4. Oznaczenie i ustalenie położenia mikroukładów i ich wyprowadzeń /pól końcowych/ na płytce po przeanalizowaniu schematu logicznego:

- grupowanie mikroukładów z największą liczbą połączeń między nimi,
- zgrupowanie mikroukładów z największą liczbą połączeń zewnętrznych przy krawędzi płytki /złączu/.



5. Ustalenie zasad prowadzenia przewodów drukowanych:

- określenie szerokości przewodów i odległości między nimi z punktu widzenia wymagań elektrycznych i technologicznych,
- określenie przewidywanej liczby przewodów drukowanych /przy danej szerokości i odległości między nimi/ możliwych do poprowadzenia pomiędzy dwoma punktami końcowymi w różnych miejscach płytki.

6. Szablony punktów końcowych z zaznaczeniem obszarów zabronionych.

7. Projekt końcowy /rysunki/ połączeń drukowanych poszczególnych warstw płytki.

Po ustaleniu wymiarów płytki, położenia wszystkich mikroukładów, położenia otworów i pól drukowanych /lutowniczych/ oraz określeniu metody wyprowadzenia połączeń zewnętrznych /rodzaj złącza/ można przystąpić do wykonania rysunku płytki. W rysunku powinny być zawarte wszystkie powyższe informacje oraz te, które dotyczą innych dodatkowych otworów, takich jak otwory montażowe niezbędne do zamocowania płytki, złącza itp. Należy również zaznaczyć obszary zabronione dla prowadzenia przewodów, aby uniemożliwić przecięcie ich przez otwory montażowe wykonane w ostatniej operacji.

Niezależnie od wszelkich ewentualnych możliwości otwory w płytkach wielowarstwowych powinny być rozmieszczone bardzo blisko celem zwiększenia gęstości upakowania połączeń. Dlatego zaleca się stosowanie otworów bezkołnierzowych.

Ponadto, zwłaszcza w przypadku stosowania mikroukładów typu krab<sup>1</sup>, nie należy umieszczać przewodów drukowanych na powierzchniach zewnętrznych płytki, pozostawiając je wyłącznie do połączenia mikroukładów, w przeciwnym razie pojawiają się problemy związane z ciasno rozmieszczonymi przewodami i konsekwentnie mniejszymi tolerancjami w stosunku do połączeń warstw wewnętrznych.

W innym przypadku wymagania wysokoczęstotliwościowe narzucają określony układ przewodów drukowanych dla dopasowania impedancji połączeń do układów scalonych. Wówczas przewody muszą być umieszczone na powierzchni płytki

<sup>1</sup> Odpowiednik nazwy angielskiej: Flatpack



Przy wykonywaniu rysunku płytki należy zwrócić szczególną uwagę na rozmieszczenie mikroukładów opisanych w schemacie połączeń elektrycznych. Z tego schematu wynika, które z mikroukładów mają najwięcej połączeń między sobą i powinny być zgrupowane obok siebie. Podobnie powinny być położone mikroukłady, dla których zastrzeżono krótkie połączenia elektryczne. Oczywiście, mikroukłady z największą liczbą wyprowadzeń zewnętrznych powinny znaleźć się w pobliżu krawędzi płytki zarezerwowanej dla pól kontaktowych złącza krawędziowego lub dla pól lutowniczych złącza szpilkowego.

Przy rozmieszczaniu przewodów drukowanych należy uwzględnić wszystkie wymagania elektryczne i technologiczne dotyczące ich szerokości i odległości między nimi. Należy przy tym ustalić ile przewodów określonej szerokości, prawidłowo rozmieszczonych można przeprowadzić pomiędzy dwoma punktami końcowymi w różnych miejscach płytki. Określenie liczby warstw i odległości między nimi może nastąpić dopiero po wykonaniu kompletnego projektu połączeń drukowanych. Wstępne wyznaczenie tej liczby wydaje się zbyt optymistyczne i wprowadza niepotrzebne ograniczenia na etapie projektowania połączeń.

Przy projektowaniu sieci połączeń z reguły korzysta się z powiększonych szablonów zawierających wszystkie punkty połączeń końcowych, właściwie rozmieszczonych na powierzchni płytki z zaznaczeniem obszarów zabronionych, na których nie wolno prowadzić przewodów drukowanych. Szablony te służą do rozmieszczenia połączeń wewnętrznych na różnych warstwach płytki. Skala ich powinna ułatwiać pracę i zapewniać odpowiednią dokładność położenia pól i przewodów.

Projektowanie połączeń drukowanych jest bardzo ciekawym problemem topologicznym. Niejednokrotnie próbowano zrealizować automatyczne, programowane projektowanie tych połączeń. Jednakże duża liczba zmiennych oraz długi czas przygotowywania programów zmusza, przynajmniej na razie, do wykonania tego bez pomocy wspomnianych metod i urządzeń.

Przed przystąpieniem do wykonania rysunków /projektowanie/ sieci połączeń drukowanych należy umieścić kilka arkuszy folii poliestrowej na szablonie z oznaczonymi punktami połączeń końcowych i granicami obszarów zabronionych. Liczba arkuszy powinna odpowiadać oczekiwanej liczbie



warstw. Następnie wszystkie arkusze należy skleić przy pomocy taśmy tak, aby każdy z nich był łatwo dostępny. Taki zestaw można umieścić na powierzchni roboczej stołu podświetlanego. Narysowanie około 80% ogólnej liczby połączeń jest stosunkowo łatwe, ale pozostała część sprawia wiele kłopotów [12]. Niekiedy należy przemieścić pewne połączenia z jednej warstwy na drugą, aby wygospodarować miejsce dla następnych. Należy podkreślić, że całkowity projekt połączeń powinien być wykonany przez tę samą osobę, natomiast sprawdzenia połączeń powinna dokonywać inna osoba.

### 3. Wymiary i tolerancje

Wymiary i tolerancje przewodów w wielowarstwowych płytkach drukowanych w zasadzie niewiele odbiegają od analogicznych wymiarów zalecanych dla dwuwarstwowych płytek drukowanych, ponieważ ograniczenia wynikają z tego samego procesu technologicznego, a zwłaszcza metalizacji otworów i trawienia przewodów. Ze względu na dużą gęstość upakowania przewodów, znacznie większe możliwości zmniejszenia ich długości oraz specjalne konfiguracje w zakresie wysokich częstotliwości, wymiary i tolerancje wielowarstwowych płytek drukowanych są znacznie mniejsze.

#### 3.1. W a r s t w y   p o j e d y n c z e

Cienkie laminaty foliowane miedzią stosowane w produkcji wielowarstwowych płytek drukowanych mają różne grubości począwszy od 0,05 mm. Zależnie od wymagań elektrycznych można prawie dowolnie przedzielać przewodzące arkusze miedziane, ale w poprawnych, bardziej ekonomicznych rozwiązaniach wszystkie warstwy wykonuje się z laminatu tej samej grubości.

#### 3.2. P r z e w o d y   w a r s t w   w e w n ę t r z n y c h

Połączenia metalizowane pomiędzy przewodami różnych warstw wewnętrznych są realizowane za pośrednictwem obrzeża miedzianego odsłoniętego na powierzchni cylindra otworu. W związku z tym należy zauważyć, że przewody grubsze /pola drukowane warstw wewnętrznych/ zapewniają więk-



szą powierzchnię kontaktu z warstwą metalizowaną na ściankach otworów. Dlatego w połączeniach warstw wewnętrznych stosuje się zazwyczaj folię o grubości 70  $\mu\text{m}$ ; warstwa miedzi o grubości 35  $\mu\text{m}$  raczej nie jest stosowana, ponieważ nie zapewnia wystarczającej powierzchni kontaktu.

Szerokość przewodów jest określana przez wymaganą obciążalność prądową. Zalecane jest ograniczenie minimalnej szerokości przewodów do 0,5 mm, lecz przy bardzo dużej gęstości upakowania można stosować szerokość 0,25 mm lub 0,2 mm. Należy pamiętać, że podczas produkcji na skutek podtrawienia nastąpi zmniejszenie szerokości faktycznej przewodu w stosunku do szerokości nadrukowanej, co jest uwzględniane przy wykonywaniu matryc.

### 3.3. O d l e g ł o ś c i   m i ę d z y   p r z e w o d a m i

Odległości między przewodami warstw wewnętrznych wielowarstwowej płytki drukowanej są mniej istotne niż dla typowych dwuwarstwowych płytek drukowanych, ponieważ szczelina między tymi przewodami jest wypełniona żywicą epoksydową i nie pozostaje w bezpośrednim kontakcie z atmosferą otoczenia. Tak więc odległości rzędu 0,5 mm są uznane za minimalne, choć można by je zredukować do 0,25 mm o ile pozwala na to dopuszczalny poziom przeników między przewodami, przy odległościach między przewodami rzędu 0,25 mm płytki wytrzymują obciążenie napięciowe rzędu 500 V. Odległości mniejsze od 0,25 mm są zdecydowanie niezalecane.

Należy zaznaczyć, że odległości 0,5 mm i 0,25 mm są właściwe również z punktu widzenia dokładności położenia otworów oraz poszczególnych warstw przewodów drukowanych względem siebie.

Przy określaniu odległości między przewodami i polami drukowanymi należy również uwzględniać wolne obszary, na których aktualnie nie ma pól drukowanych i określać wymaganą odległość między przewodami i polami od nie istniejących pól drukowanych.

Natomiast przy kompensowaniu szerokości przewodów, która została zmniejszona w czasie ich trawienia, wymagana odległość między przewodami nie powinna być zwiększana, ponieważ kształt przekroju przewodów na warstwach wewnętrznych jest po trawieniu trapezoidalny /podstawa jest



szersza od strony podłoża/ i zostaje nieznacznie zmniejszona w stosunku do drukowanej. I tak dla wymaganej szerokości 0,25 mm i odległości 0,25 mm /grubość folii 70  $\mu\text{m}$ / należy wykonać na matrycy przewody o szerokości 0,35 mm, aby odległość pomiędzy nimi pozostała taka sama i aby całkowity obszar zajmowany przez przewód i przerwę wynosił 0,60 mm.

### 3.4. O t w o r y i p o l a d r u k o w a n e

W wielowarstwowych płytkach drukowanych można wykonywać otwory o minimalnej średnicy rzędu 0,40 mm po metalizacji. Jednakże istnieją inne ograniczenia dotyczące najmniejszych otworów.

Po pierwsze ze względu na proces lutowania otwór powinien być dopasowany do wyprowadzenia elementu, tzn. średnica otworu powinna być większa od średnicy drutu, który będzie w nim lutowany o 0,15 do 0,25 mm. Zalecenie to traci sens, gdy otwory służą tylko do realizacji połączeń międzywarstwowych.

Drugie ograniczenie wynika z procesu metalizacji. Przy zastosowaniu obecnych technik metalizacji można wykonać płytkę z otworami, których średnica jest nie mniejsza od  $1/3$  ogólnej grubości płytki. Ograniczenie to wpływa na wielkość otworów oraz grubość płytki, czyli liczbę warstw, którą można przewidywać. Na szczęście jest ono rygorystyczne, ale nie- zbyt ograniczające, ponieważ dla otworów o średnicy 0,5 mm ogólna grubość płytki może wynosić 1,5 mm. Przy tej grubości płytki można zmieścić 8 warstw połączeń drukowanych, tzn. liczbę dostateczną, aby wykonać bardzo złożone układy.

Aby zapewnić warstwie metalizowanej miejsce w otworach spełniających rolę połączeń międzywarstwowych, należy zwiększyć ich średnicę o 0,20 do 0,25 mm w stosunku do wymiaru minimalnego.

Dla warstw wewnętrznych, w miejscach gdzie przewody są połączone z otworami metalizowanymi, należy przewidzieć pola drukowane o odpowiednich wymiarach. Pola powinny być tak duże, aby zapewnić otoczkę o szerokości 0,025 mm na całym obwodzie otworu /100%/ i uzyskać dostateczną współosiowość ich położenia na poszczególnych warstwach, zwłaszcza po



wierceniu i laminowaniu. Z tych powodów pola powinny mieć większy promień od promienia otworu przynajmniej o 0,25 mm. Wskazane jest, aby średnica pól była o 0,75 mm większa od średnicy gotowego otworu; dla konstrukcji miniaturowych o 0,5 mm. Tak więc dla otworu o średnicy 0,5 mm średnica pola powinna wynosić dla warstw wewnętrznych przynajmniej 1 mm.

Wymaganie to stanowi automatyczne ograniczenie odległości między otworami, które powinno wynosić przynajmniej 1,25 mm, jeżeli ponadto nie przewiduje się żadnego przewodu drukowanego pomiędzy takimi otworami. Powyższe rozważania mogą także posłużyć dla ustalenia minimalnej odległości między otworami wówczas, gdy zakłada się poprowadzenie przewodów między nimi.

### 3.5. W a r s t w y   u z i e m i a j ą c e   i   o d p r o w a d z a j ą c e   c i e p ł o

W wielu przypadkach w celu odprowadzenia ciepła przewiduje się paski lub pola innego kształtu na warstwach zewnętrznych płytki. Mogą to być warstwy metalizowane lub laminowane do powierzchni płytki. Warstwy uziemiające /ekranujące/ wewnątrz płytki także spełniają rolę elementów odprowadzających ciepło. Płytki wielowarstwowe mogą posiadać jedną lub kilka wewnętrznych warstw uziemiających oraz jedną lub dwie warstwy zewnętrzne na powierzchniach płytki dla elektrycznego odizolowywania lub ekranowania pewnych układów. Ponadto w konstrukcjach pracujących w zakresie wysokich częstotliwości warstwy uziemiające spełniają rolę elementów uzupełniających określoną konfigurację linii przesyłowej.

Warstwy uziemiające wewnętrzne są płaszczyzną ciągłą folii miedzianej, w której wytrawiono okrągłe pola wokół przewidywanych otworów przelotowych płytki. Pola trawione w warstwach uziemiających powinny mieć średnicę większą co najmniej o 1,25 mm od średnicy otworu, który w tym miejscu zaplanowano. Jeżeli takie warstwy uziemiające są usytuowane w płytce centralnie to zapewniają równomierny rozkład naprężeń wewnętrznych. Jeżeli są one umieszczone przy jednej z powierzchni płytki, wówczas występuje nierównomierny rozkład naprężeń i znaczne



wygięcie płytki, które może w konkretnej konstrukcji urządzenia okazać się propozycją chybioną.

### 3.6. Z a l e c e n i a o g ó l n e

Zasadniczym parametrem wymiarowym dla wielowarstwowych płytek drukowanych jest odległość pomiędzy otworami oraz ich średnice. Średnica otworu /po metalizacji/ narzuca wymiary pola drukowanego. Średnica pola wraz z odległością pomiędzy otworami określa liczbę przewodów, które można poprowadzić pomiędzy otworami. To z kolei decyduje o liczbie warstw w płytce wielowarstwowej. Z drugiej strony średnica otworu ogranicza ogólną grubość płytki, która łącznie z wymaganiami elektrycznymi związanymi z odległością między warstwami pozwala ustalić liczbę warstw, które można przewidzieć dla danej płytki.

Jeżeli otwory mają średnicę powyżej 0,75 mm i są rozmieszczone w odstępach 2,5 mm, nie ma poważnych problemów przy projektowaniu. Dopóty, dopóki średnica otworu wraz z odpowiednim polem drukowanym umożliwia przeprowadzenie jednego przewodu pomiędzy dwoma sąsiednimi otworami i nie ogranicza liczby warstw w płytce, wówczas można sporządzić optymalny projekt płytki.

Problemy pojawiają się dopiero wtedy, kiedy odległość między osiami otworów spada poniżej 2,5 mm. Jeżeli otwory są rozmieszczone w odległości 2,0 mm, to wówczas można przeprowadzić jeszcze jeden przewód między nimi, ale takie rozmieszczenie należy do krytycznych i nie powinno być stosowane.

Jeżeli otwory są rozmieszczane w odległości 1,25 mm, wówczas nie można przewidywać żadnego przewodu między nimi. Takie płytki będą bardzo kosztowne. W tabeli 2 i na rys. 1 podano zalecane wymiary i tolerancje odnoszące się do projektowania, wykonywania matryc i produkcji wielowarstwowych płytek drukowanych [1, 10].



Tabela 2. Wymiary i tolerancje wielowarstwowych płytek drukowanych

Parametr wymiarowy <sup>1</sup> /rys. 1/	Odległości między otworami < 2,5 mm		Odległości między otworami ≥ 2,5 mm	
	Wymiary zalecane przy projektowaniu mm	Tolerancje lub minimalne wymiary końcowe /wyrobu/ mm	Wymiary zalecane przy projektowaniu mm	Tolerancje lub minimalne wymiary końcowe /wyrobu/ mm
A. Odległość między otworami /minimum/  Położenie otworów /na odcinku o długości do 150 mm/ <sup>2</sup>  Położenie otworów /na odcinku o długości powyżej 150 mm/ <sup>2</sup>	1,25  -  -	-  0,25 / $\pm 0,07$ /  0,35 / $\pm 0,15$ /	2,5  -  -	-  0,35 / $\pm 0,15$ /  0,50 / $\pm 0,15$ /
B. Położenie pól drukowanych różnych warstw względem siebie <sup>2</sup>	-	0,25 / $\pm 0,07$ /	-	0,35 / $\pm 0,15$ /
C. Średnica otworu po metalizacji	min 0,45 lub 1/3 grubości płytki lub max średnica wyprowadzenia +0,15 /wybrać największy z wymiarów/	$\pm 0,07$ dla 90% otworów, $\pm 0,15$ dla pozostałych otworów	min 1/3 grubości płytki lub maksymalna średnica wyprowadzenia +0,25 /wybrać największy z wymiarów/	$\pm 0,15$



Tabela 2. Wymiary i tolerancje wielowarstwowych płytek drukowanych /c.d./

Parametr wymiarowy <sup>1</sup> /rys. 1/	Odległości między otworami < 2,5 mm		Odległości między otworami ≥ 2,5 mm	
	Wymiary zale- cane przy pro- jektowaniu  mm	Tolerancje lub mini- malne wymiary końco- we /wyrobu/  mm	Wymiary zale- cane przy pro- jektowaniu  mm	Tolerancje lub minimalne wymia- ry końcowe /wy- robu/  mm
D. Średnica otworu po wier- ceniu	-	±0,025	-	±0,050
E. Średnica pola drukowa- nego lub lutowniczego dla warstw wewnętrznych /minimum/	-	0,35 + nominalna średnica otworu	-	0,7 + nominalna średnica otworu
F. Średnica pola drukowa- nego lub lutowniczego dla warstw zewnętrznych /minimum/	-	0,35 + nominalna średnica otworu	-	0,7 + nominalna średnica otworu
G. Szerokość kołnierza ota- czającego otwór /warstwy wewnętrzne/	-	min 0,025	-	min 0,025
H. Szerokość kołnierza ota- czającego otwór /warstwy zewnętrzne/	-	min 0,05	-	min 0,15
H <sub>1</sub> . Szerokość kołnierza ota- czającego otwór "bezkoł- nierzowy" /warstwy ze- wewnętrzne/	-	min 0,05	-	min 0,05



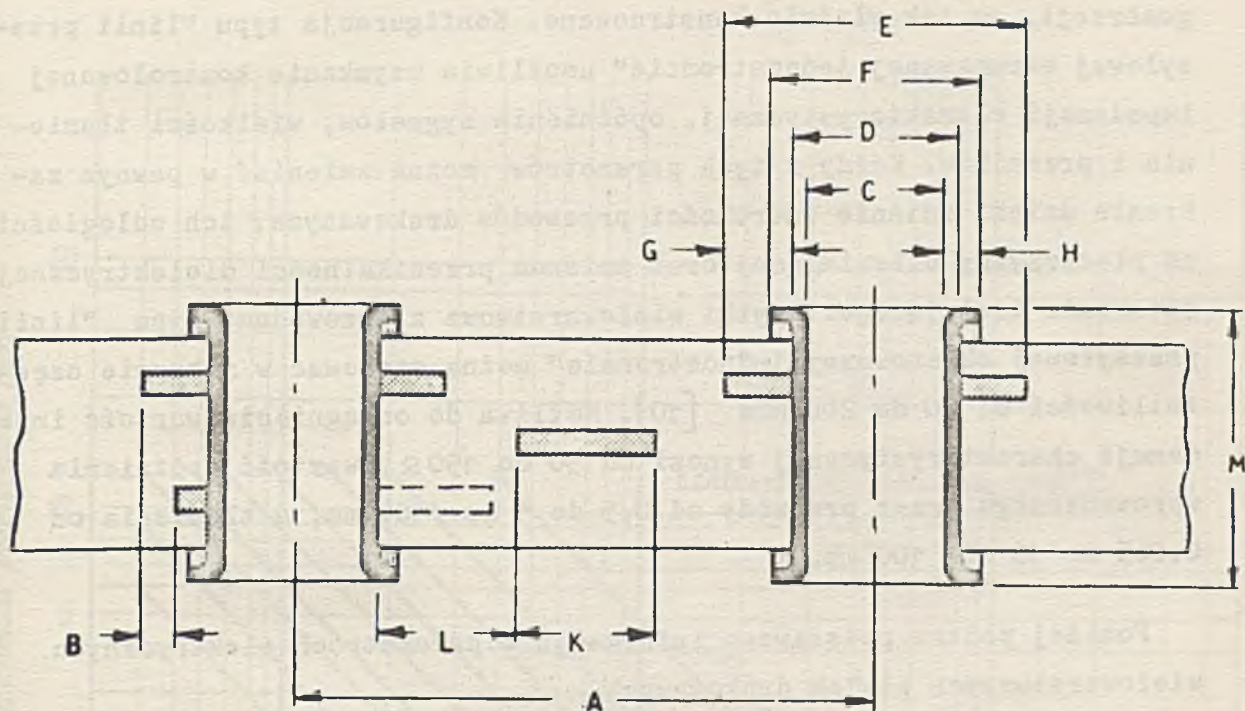
Tabela 2. Wymiary i tolerancje wielowarstwowych płytek drukowanych /c.d./

Parametr wymiarowy <sup>1</sup> /rys. 1/	Odległości między otworami < 2,5 mm		Odległości między otworami ≥ 2,5 mm	
	Wymiary zale- cane przy pro- jektowaniu  mm	Tolerancje lub mi- nimalne wymiary końcowe /wyrobu/  mm	Wymiary zale- cane przy pro- jektowaniu  mm	Tolerancje lub minimalne wymia- ry końcowe /wy- robu/ mm
K. Szerokość przewodu	więcej niż zalecana 0,25	$\pm 0,050$	więcej niż 0,50	$\pm 0,07$ warstwy we- wnętrzne $\pm 0,10$ warstwy ze- wnętrzne
K <sub>1</sub> . Szerokość przewodu /minimum/	-	0,15	-	0,25
L. Odległość pomiędzy otwo- rami /po wierceniu/ i przewodem	min 0,25	min 0,07	min 0,60	min 0,25
M. Grubość płytki wielo- warstwowej i tolerancje	max grubość: 3x min średni- ca otworu po metalizacji	-	max grubość: 3x min średni- ca otworu po metalizacji	-
do 1,5 powyżej 1,5	-	$\pm 0,15$ $\pm 10\%$ nominalnej grubości płytki wie- lowarstwowej	-	$\pm 0,15$ $\pm 10\%$ nominalnej grubości płytki wielowarstwowej

<sup>1</sup> W tabeli podano zalecane wymiary i tolerancje, które należy uwzględnić przy projektowaniu, wykonywaniu matryc i produkcji płytek wielowarstwowych

<sup>2</sup> Średnica pola tolerancji, w którym będzie położona faktyczna oś otworu lub pola drukowanego





Rys. 1. Oznaczenie wymiarów zalecanych przy projektowaniu i w procesie produkcji płytek wielowarstwowych

#### 4. Charakterystyki elektryczne

Stały postęp w technologii układów scalonych sprawia, że szybkość działania tych układów wzrasta. Bez zmniejszenia opóźnień spowodowanych przez przewody łączące niemożliwe jest pełne wykorzystanie właściwości mikroukładów. Wielowarstwowe płytki drukowane są doskonałym rozwiązaniem tego problemu przede wszystkim dzięki zmniejszeniu długości połączeń między układami oraz dzięki uformowaniu odpowiednich układów połączeń drukowanych. W typowej konstrukcji płytki występuje centralne usytuowanie warstwy zasilającej i uziemiającej przy jednoczesnym przesunięciu przewodów sygnałowych do warstw położonych tuż przy lub na powierzchni płytki drukowanej. Taka konstrukcja jest zazwyczaj stosowana w urządzeniach pracujących w zakresie 25 MHz /czas narastania impulsów rzędu kilku ns [3].

Możliwość formowania linii przesyłowych w płytkach wielowarstwowych była początkowo podawana w wątpliwość. Obecnie wszystkie duże płytki połączeń poziomu drugiego /między modułami mikroukładów realizujących



określoną funkcję elektroniczną/ zwłaszcza w maszynach cyfrowych III generacji, są tak właśnie konstruowane. Konfiguracja typu "linii przesyłowej ekranowanej jednostronnie" umożliwia uzyskanie kontrolowanej impedancji charakterystycznej, opóźnienia sygnałów, wielkości tłumienia i przeników. Każdy z tych parametrów można zmieniać w pewnym zakresie dzięki zmianie szerokości przewodów drukowanych, ich odległości od płaszczyzny uziemiającej oraz zmianom przenikalności dielektrycznej materiału izolującego. Płytki wielowarstwowe z przewodami typu "linii przesyłowej ekranowanej jednostronnie" można stosować w zakresie częstotliwości od 20 do 200 MHz [10]. Możliwa do osiągnięcia wartość impedancji charakterystycznej wynosi od 50 do 150  $\Omega$ , wartość opóźnienia wprowadzonego przez przewody od 0,5 do 1 ns /100 mm, a tłumienia od 0,065 do 16 dB/ 100 mm.

Poniżej podano podstawowe informacje o parametrach elektrycznych wielowarstwowych płytek drukowanych.

#### 4.1. Z a k r e s   n i s k i c h   c z ę s t o t l i w o ś c i

Parametry elektryczne płytek drukowanych w zakresie niskich częstotliwości są dobrze znane i jako takie nie różnią się niczym od parametrów płytek dwuwarstwowych. Należy w szczególności uwzględnić zwiększone sprzężenie pojemnościowe pomiędzy gęsto rozmieszczonymi przewodami warstw sąsiednich i pewien spadek obciążalności prądowej przewodów zatopionych w materiale izolacyjnym.

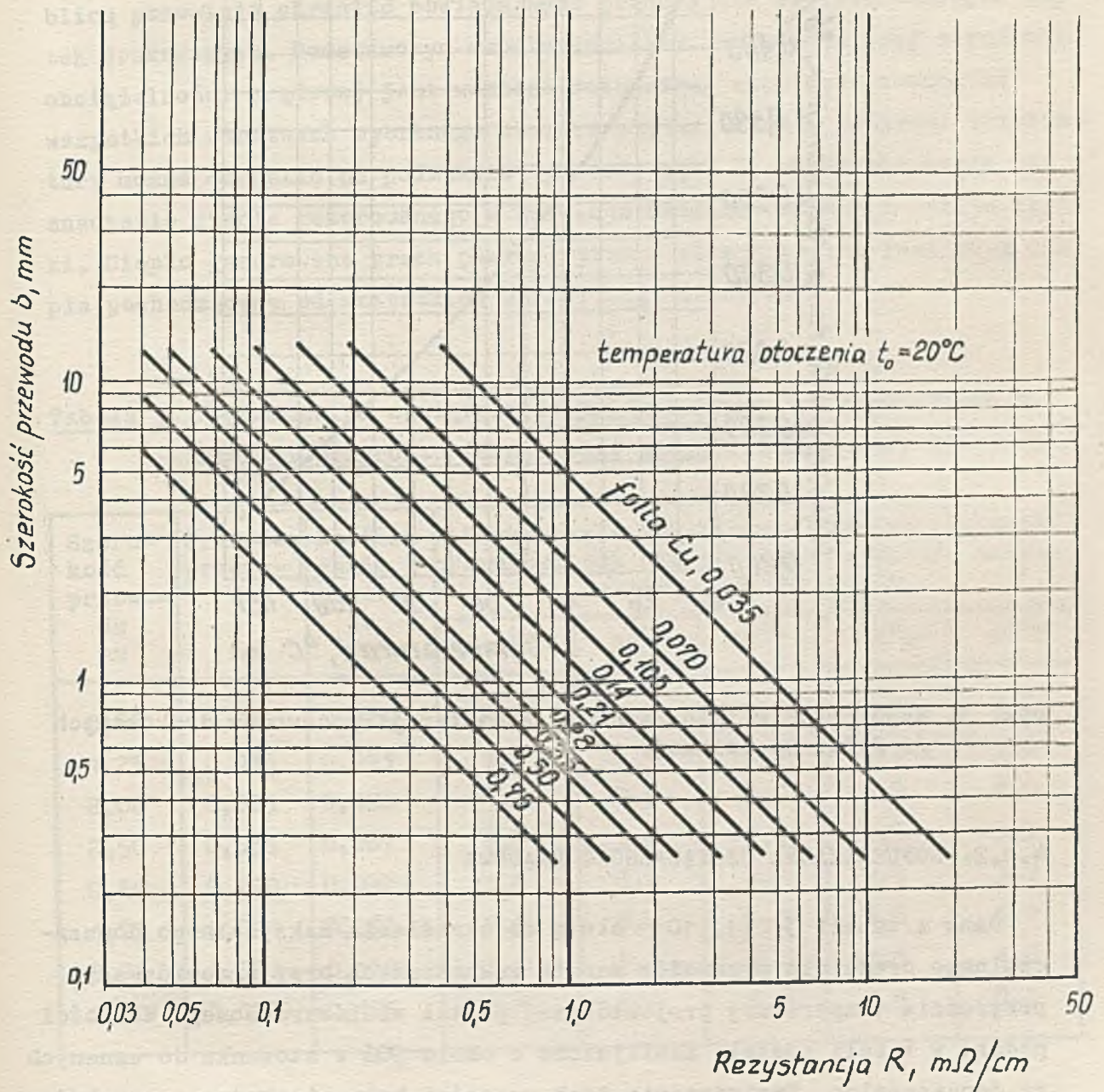
##### 4.1.1. REZYSTANCJA PRZEWODÓW

Rezystancję  $R_1$  przewodów drukowanych różnej grubości i szerokości przy temperaturze  $t_1$  równej 20°C można określić z wykresu rys. 2 [1, 10]. Aby określić rezystancję  $R_2$  dla innych temperatur  $t_2$  należy posłużyć się zależnością:

$$R_2 = R_1 \left[ 1 + \alpha / t_2 - t_1 / \right],$$

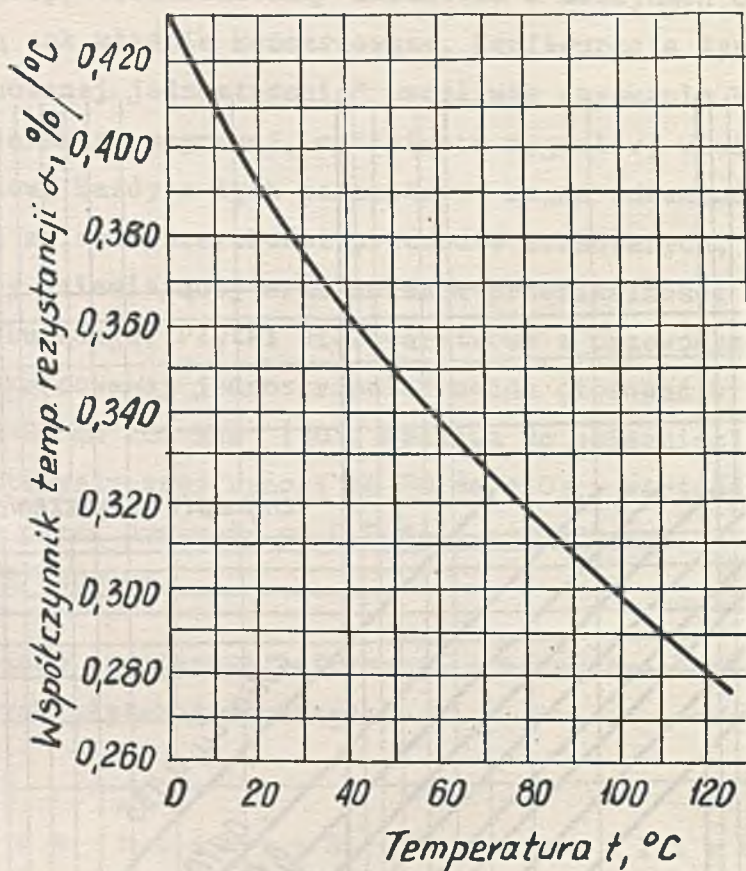
przy czym  $\alpha$  - współczynnik temperaturowy rezystancji przy temperaturze  $t_2$  określony na podstawie wykresu rys. 3





Rys. 2. Rezystancja przewodów drukowanych płytki wielowarstwowej w zależności od ich szerokości





Rys. 3. Współczynnik temperaturowy rezystancji przewodów drukowanych /z folii miedzianej/

#### 4.1.2. DOPUSZCZALNA OBCIĄŻALNOŚĆ PRĄDOWA

Dane z tabeli 3 [1, 10] służą do określenia maksymalnego dopuszczalnego prądu dla przewodów warstw wewnętrznych przy przewidywanym przyroście temperatury projektowanej płytki wielowarstwowej. Wartości podane w tabeli zostały zmniejszone o około 50% w stosunku do uznanych za dopuszczalne. Zmniejszenie tych wartości było niezbędne ze względu na prawdopodobne zmiany szerokości przewodów, dokładność ich zatopienia w warstwie dielektryka, różne własności materiału podstawowego itp.

W celu określenia prądów dopuszczalnych dla przewodów położonych na powierzchni płytki należy skorzystać z wykresu rys. 4 [1, 10].

Jednakże przy bardzo gęstym upakowaniu połączeń, jakie występują w wielowarstwowych płytkach drukowanych wszystkie przewody przyczyniają się jednocześnie do wzrostu temperatury płytki. Aby oceniać przyrost



temperatury całej /lub pewnego obszaru/ płytki należy skorzystać z danych według wykresów rys. 5 oraz tabeli 4 [1, 10]. Wykresy wraz z tabelicą pozwalają określić obciążalność prądową dla wielowarstwowych płytek drukowanych. Podstawowym współczynnikiem stosowanym przy określaniu obciążalności prądowej jest wartość całkowitej mocy generowanej we wszystkich warstwach wybranego obszaru płytki. Średni przyrost temperatury można określić na podstawie wykresów rys. 5, umożliwiających wyznaczenie ciepła generowanego w dowolnym obszarze każdej z warstw płytki. Ciepło generowane przez pewien wybrany obszar płytki jest sumą ciepła pochodzącego od wszystkich warstw tego obszaru.

**Tabela 3.** Dopuszczalna obciążalność prądowa przewodów drukowanych w funkcji przyrostu temperatury powyżej temperatury otoczenia<sup>1</sup>

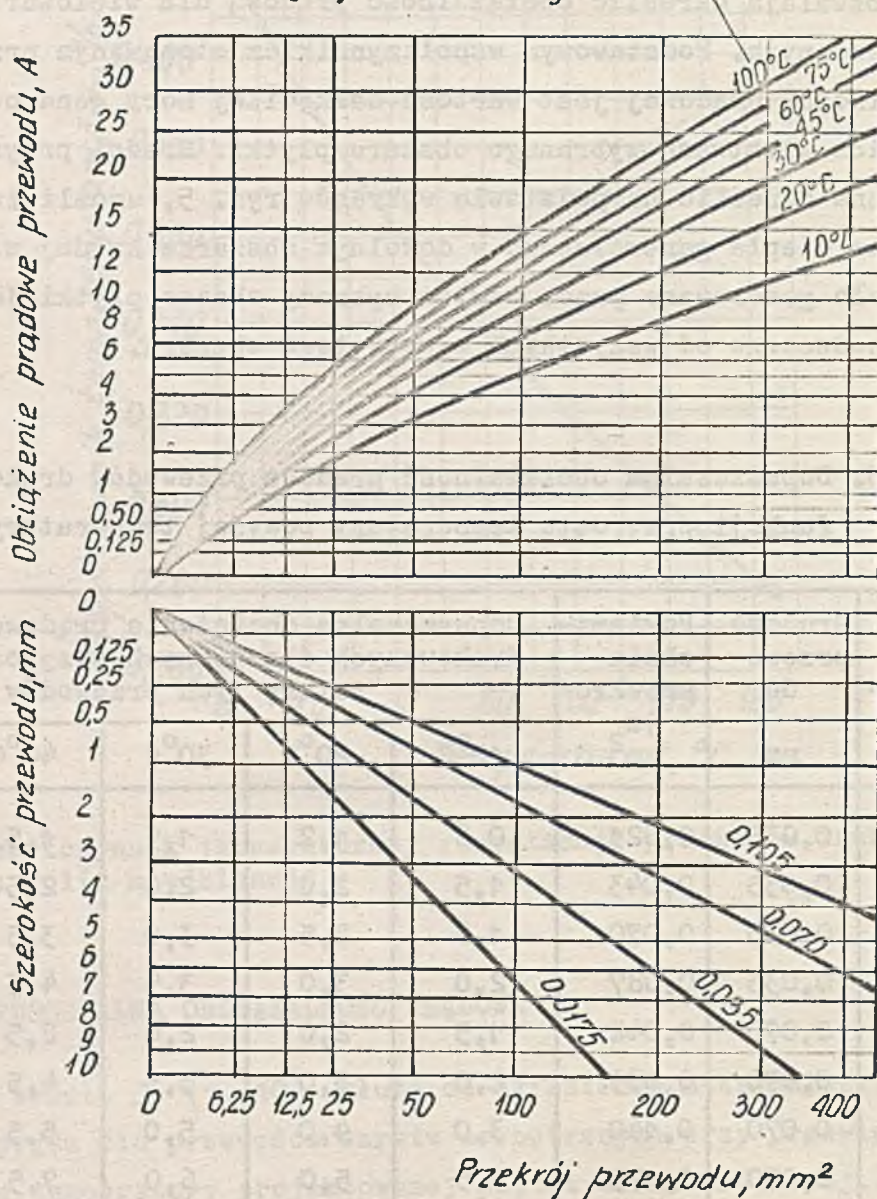
Szerokość przewodu mm	Grubość przewodu mm	Powierzchnia przekroju $j_u$ $\text{mm}^2$	Dopuszczalne obciążenie prądowe przewodów drukowanych dla różnych przyrostów temperatury tych przewodów				
			10°C	20°C	30°C	40°C	60°C
0,60	0,035	0,021	0,8	1,2	1,5	1,5	1,8
1,25	0,035	0,043	1,5	2,0	2,0	2,5	3,0
2,00	0,035	0,070	1,8	2,5	3,0	3,5	4,0
2,50	0,035	0,087	2,0	3,0	3,5	4,5	5,5
0,60	0,070	0,042	1,5	2,0	2,0	2,5	3,0
1,25	0,070	0,089	2,0	3,0	3,5	4,5	5,0
2,00	0,070	0,140	3,0	4,0	5,0	5,5	7,0
2,50	0,070	0,175	3,5	5,0	6,0	7,5	8,0

<sup>1</sup> wartości prądowe w A

Średni przyrost temperatury dla określonej ilości ciepła generowanego przez płytkę może być następnie wyznaczony z tabeli 4. Przez zmniejszenie wymiarów rozważanego obszaru można wyznaczyć temperaturę wybranego punktu na powierzchni płytki. Analogiczna procedura prowadzona w kolejności odwrotnej pozwala wyznaczyć szerokość przewodu niezbędnego dla założonego, minimalnego przyrostu temperatury.



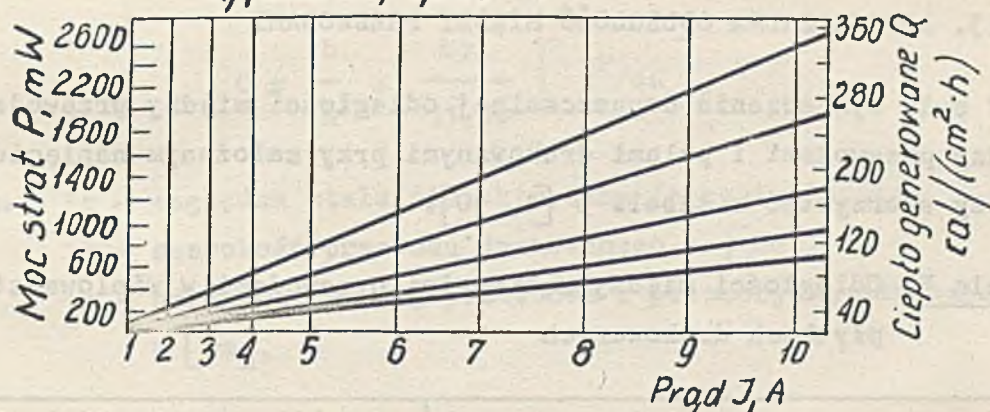
Przyrost temperatury przewodu  
powyżej temperatury otoczenia



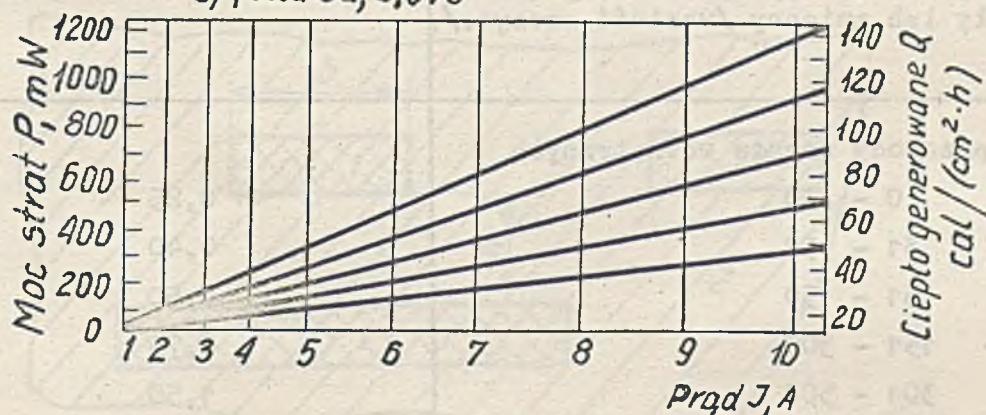
Rys. 4. Obciążalność prądowa przewodów drukowanych dla różnych przyrostów temperatury powyżej temperatury otoczenia, w zależności od szerokości i grubości tych przewodów



a) folia Cu, 0,035



b) folia Cu, 0,070



Rys. 5. Moc strat i ciepło generowane /gęstość strumienia energii cieplnej/ przewodów drukowanych płytki wielowarstwowej

Tabela 4. Średni przyrost temperatury powierzchni płytki wielowarstwowej w zależności od ciepła generowanego przez przewody drukowane

Ciepło generowane /gęstość strumienia energii cieplnej/, cal/cm <sup>2</sup> .h	Średni przyrost temperatury powierzchni, °C
110	< 5,5
165	8,3
220	11,1
274	13,9
330	16,7
384	19,4
440	22,2
495	25,0
550	27,8
760	30,6



#### 4.1.3. DOPUSZCZALNA ODLEGŁOŚĆ MIĘDZY PRZEWODAMI

W celu wyznaczenia dopuszczalnej odległości między przewodami albo między przewodami i polami drukowanymi przy założonym napięciu pracy należy skorzystać z tabeli 5 [1, 10].

Tabela 5. Odległości między sąsiednimi przewodami w wielowarstwowych płytkach drukowanych

Napięcie międzyprzewodowe, prąd stały lub zmienny /wartość szczyt./, V	Odległości minimalne, mm
a. przewody warstw wewnętrznych	
0 - 30	0,25
31 - 50	0,40
51 - 150	0,50
151 - 300	0,75
301 - 500	1,50
ponad 500	0,003 mm
b. przewody warstw zewnętrznych /nie pokryte/	
0 - 50	0,50
51 - 150	0,60
151 - 300	1,25
301 - 500	1,50
ponad 500	0,005 mm

#### 4.1.4. POJEMNOŚCI ROZPROSZONE

Przewody drukowane w płytkach wielowarstwowych są sprzężone pojemnościowo zarówno w płaszczyźnie poziomej jak i pionowej. Wartości liczbowe tych pojemności mogą być w przybliżeniu obliczone według niżej podanych zależności.

Pojemność C na jednostkę długości przewodów usytuowanych w postaci linii przesyłowej ekranowanej jednostronnie /rys. 6/ jest określona wyrażeniem [1, 10]:

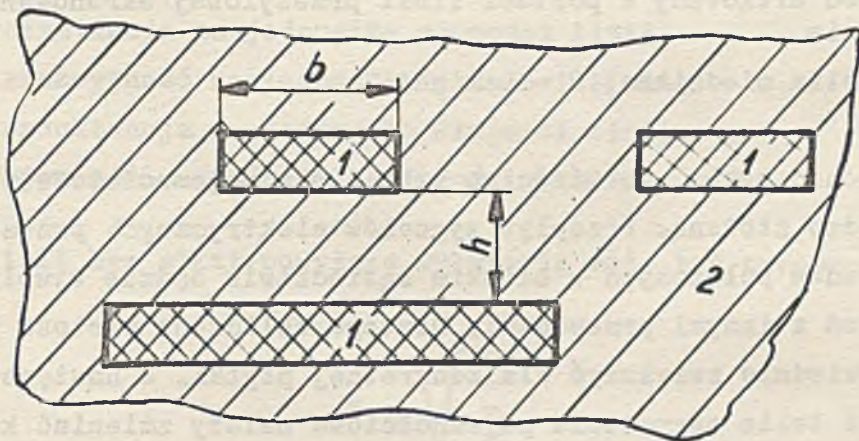


$$C = \frac{b}{h} \times \frac{\epsilon r}{11,30} \left[ p^F / \text{cm} \right],$$

przy czym:  $\epsilon r$  - względna stała dielektryczna /przenikalność/,

$b$  - szerokość przewodu drukowanego w [mm],

$h$  - odległość między przewodem i płaszczyzną ekranującą w [mm],



Rys. 6. Przewód drukowany w postaci linii przesyłowej ekranowanej jednostronnie

1 - Folia miedziana, 2 - Laminat

Powyższe wyrażenie obowiązuje w przypadku, w którym  $\frac{b}{h} > 10$ .

Dla konfiguracji przewodów w postaci linii przesyłowych ekranowanych dwustronnie /rys. 7/ pojemność między przewodem i płaszczyznami ekranującymi można obliczyć według wyrażenia [1, 10]:

$$C = 0,35 \frac{\frac{b}{l}}{1 - \frac{d}{l}} \epsilon r \left[ p^F / \text{cm} \right],$$

przy czym:

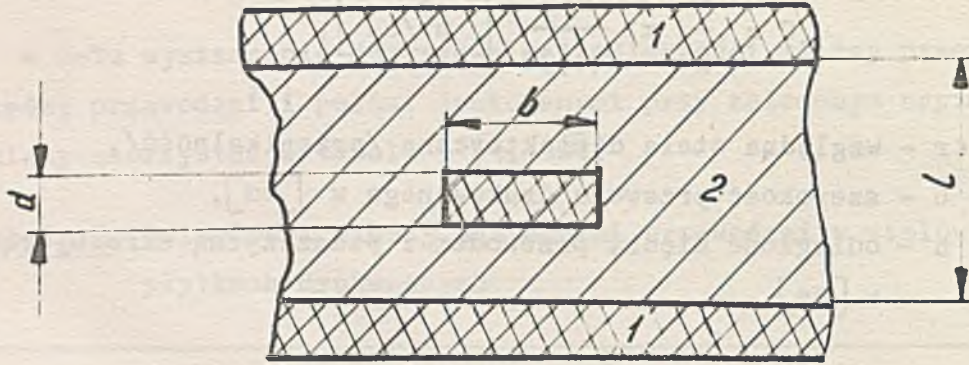
$\epsilon r$  - względna stała dielektryczna /przenikalność/,

$b$  - szerokość przewodu drukowanego w [mm],

$d$  - grubość przewodu drukowanego w [mm],

$l$  - odległość między płaszczyznami ekranującymi w [mm].





Rys. 7. Przewód drukowany w postaci linii przesyłowej ekranowanej dwustronnie

1 - Folia miedziana, 2 - Laminat

Należy zwrócić uwagę, że właściwe sprzężenie pojemnościowe jest zależnością bardzo złożoną. Przepływ sygnałów elektrycznych przez przewód z grupy przewodów położonych w bliskim sąsiedztwie będzie wywoływał sprzężenie na wskroś z innymi przewodami. Dlatego obliczona wartość pojemności może się odpowiednio zwiększyć dla konkretnej płytki. W następstwie tego, aby zmniejszyć takie sprzężenie pojemnościowe należy zmieniać kolejno kierunek prowadzenia przewodów dla każdej następnej warstwy połączeń.

#### 4.2. Z a k r e s   w y s o k i c h   c z ę s t o t l i w o ś c i

Jak już stwierdzono, wielowarstwowe płytki drukowane z połączeniami w postaci linii przesyłowych można stosować w urządzeniach pracujących w zakresie bardzo wysokich częstotliwości rzędu 200 MHz. Aby wybrać odpowiedni typ linii przesyłowej uformowanej z przewodów drukowanych należy rozważyć następujące parametry:

1. impedancję charakterystyczną linii przesyłowej,
2. czas propagacji /opóźnienia/ sygnału po przejściu przez linię,
3. przenoszone pasmo częstotliwości,
4. przeniki /przesłuchy/ pomiędzy sąsiednimi liniami przewodów drukowanych.

Najbardziej istotnym parametrem linii przesyłowej jest jej impedancja.



#### 4.2.1. IMPEDANCJA CHARAKTERYSTYCZNA

Ogólnie impedancję charakterystyczną linii przesyłowej  $Z_0$  w zakresie wysokich częstotliwości określa się wzorem:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}$$

przy czym:

- R - rezystancja na jednostkę długości linii,
- L - indukcyjność na jednostkę długości linii,
- G - konduktancja na jednostkę długości linii,
- C - pojemność na jednostkę długości linii.

Dla linii bez strat powyższe wyrażenie może być uproszczone do postaci

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

W wielowarstwowych płytkach drukowanych tylko dwa typy linii przesyłowych są najpowszechniej stosowane: linia przesyłowa ekranowana jednostronnie i dwustronnie.

Linia przesyłowa ekranowana jednostronnie /rys. 6/ jest to pojedynczy, cienki i wąski przewód drukowany usytuowany nad odizolowaną równoległą płaszczyzną ekranującą /uziemiającą/.

Linia przesyłowa ekranowana dwustronnie /rys. 7/ jest to pojedynczy, wąski przewód równoległy i umieszczony w środku między dwoma również równoległymi płaszczyznami ekranującymi /uziemiającymi/.

Impedancja charakterystyczna  $Z_0$  linii przesyłowej ekranowanej dwustronnie dla wysokich częstotliwości i przy założeniu, że

$$\frac{b}{l} \gg 0,35$$

jest określona wyrażeniem  $[1, 10]$ :



$$Z_o = \frac{60}{\sqrt{\epsilon r}} \ln \left( \frac{41}{d_o} \right) [\Omega],$$

przy czym  $d_o$  jest równoważną średnicą przewodu okrągłego, która może być przeliczona z wymiarów przewodów, jakie występują w konfiguracji linii przesyłowej ekranowanej dwustronnie za pomocą wyrażenia

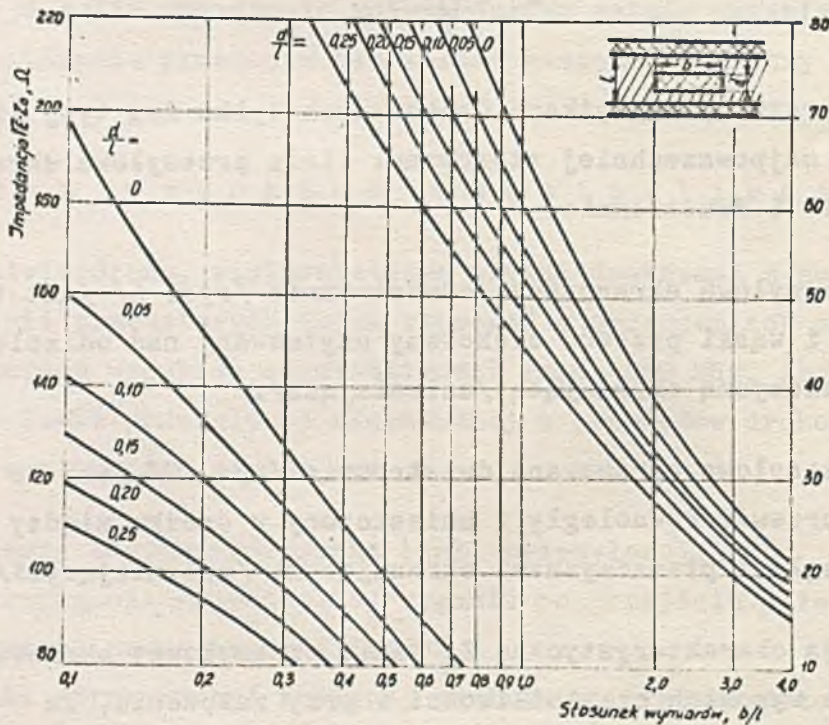
$$d_o = 0,567 b + 0,67 d,$$

przy czym:

$b$  - szerokość przewodu drukowanego w [mm],

$d$  - grubość przewodu drukowanego w [mm].

Na rys. 8 przedstawiono wykres  $Z_o$  w zależności od stosunku  $b/l$  [1, 10].



Rys. 8. Impedancja charakterystyczna przewodu drukowanego w postaci linii przesyłowej ekranowanej dwustronnie w zależności od stosunku szerokości i odległości przewodu od płaszczyzny uziemiającej



Wartość teoretyczna impedancji charakterystycznej  $Z_0$  linii przesyłowej ekranowanej jednostronnie może być wyznaczona, przy pominięciu wpływów rozproszonego strumienia, z zależności [1, 10]:

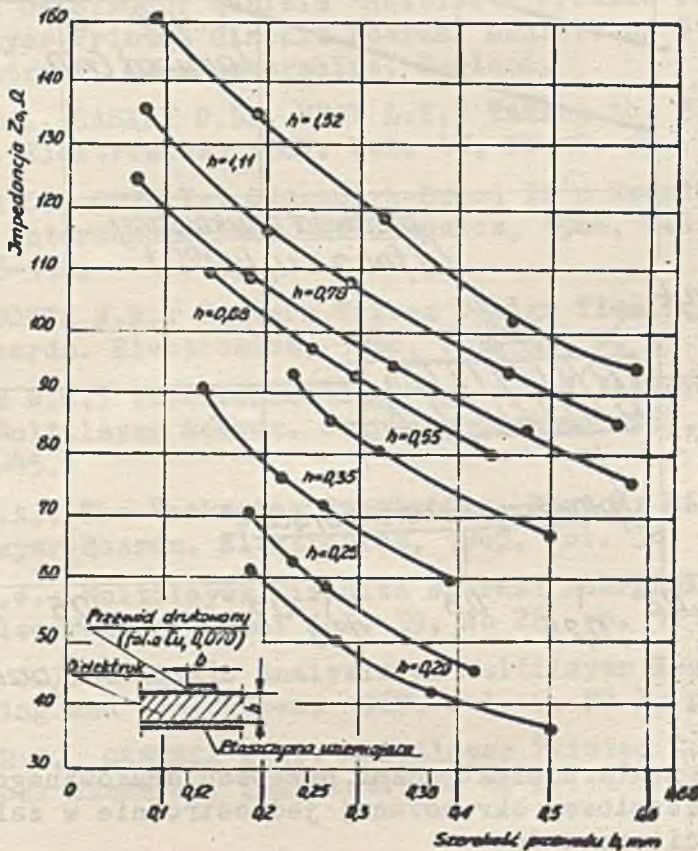
$$Z_0 = \frac{h}{b} \frac{377}{\sqrt{\epsilon}} [\Omega],$$

przy czym:

$b$  - szerokość przewodu drukowanego w [mm],

$h$  - odległość między przewodem i płaszczyzną ekranującą w [mm].

Jeżeli przewód drukowany w postaci linii przesyłowej ekranowanej jednostronnie znajduje się w całkowicie jednorodnym dielektryku, wówczas wartość liczbową stałej dielektrycznej  $\epsilon$  jest stałą dielektryczną tego materiału. Ale zazwyczaj przewód drukowany znajduje się na powierzchni zewnętrznej płytki /górną powierzchnią przewodu znajduje się w powietrzu/ i dlatego wartość stałej dielektrycznej powinna być wypadkową materiału płytki i powietrza, którą nazywamy względną stałą dielektryczną  $\epsilon_r$ .

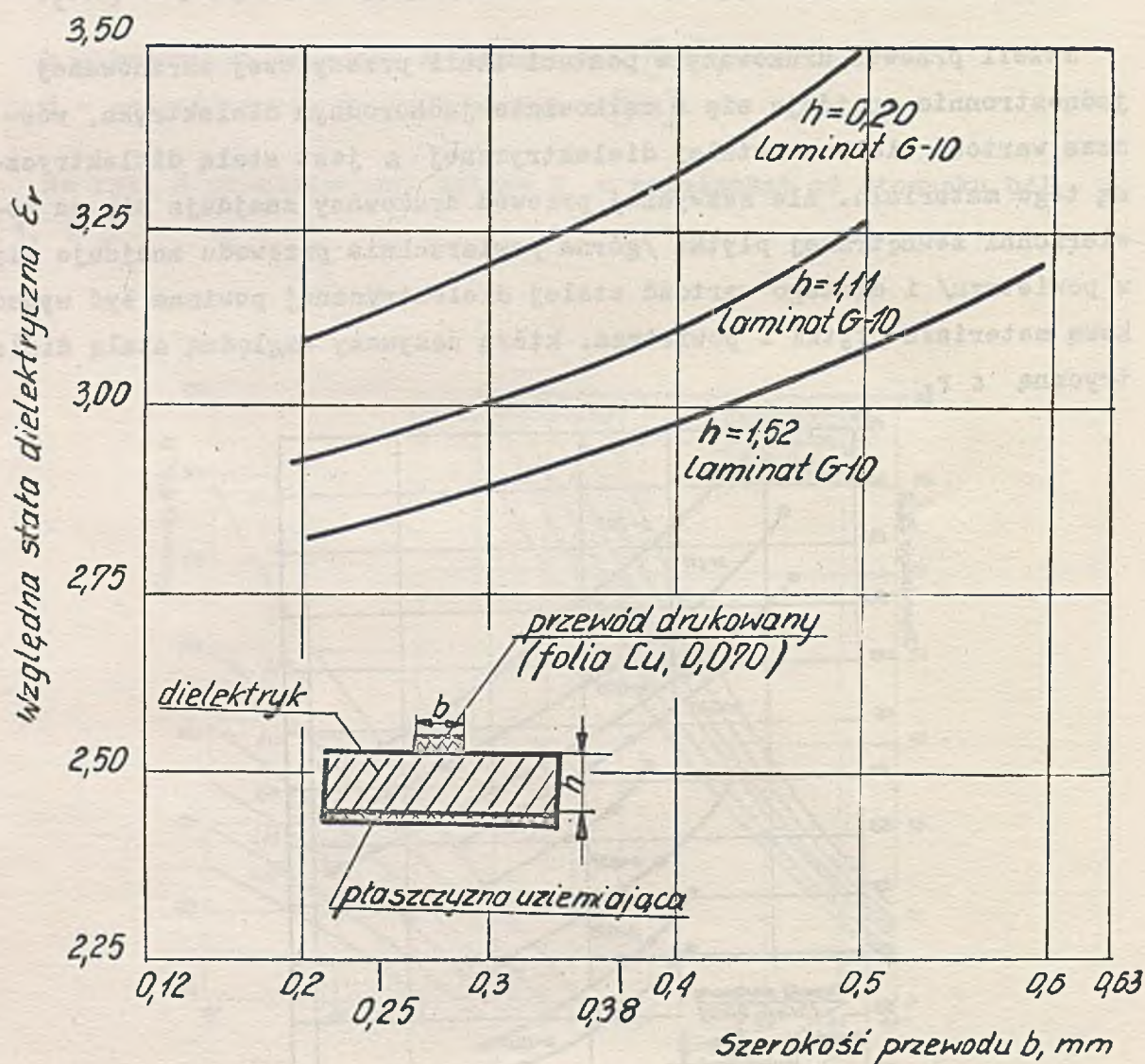


Rys. 9. Impedancja charakterystyczna przewodu drukowanego w postaci linii przesyłowej ekranowanej jednostronnie w zależności od szerokości przewodu



Typowe wartości impedancji charakterystycznej linii przesyłowej ekranowanej jednostronnie uformowanej w laminatach szklano-epoksydowych, tzn. gdy przewód drukowany znajduje się na powierzchni zewnętrznej płytki, przedstawiono na wykresie rys. 9 [1, 10]. Typowe wartości względnej stałej dielektrycznej takiej linii przesyłowej można wyznaczyć z wykresu rys. 10 [1, 10].

Inne parametry linii przesyłowych omówiono szczegółowo w opracowaniach [1, 3, 5, 10].



Rys. 10. Względna stała dielektryczna przewodu drukowanego w postaci linii przesyłowej ekranowanej jednostronnie w zależności od szerokości przewodu



## Zakończenie

W pierwszej części przedłożonej tutaj pracy omówiono etapy projektowania oraz podano podstawowe parametry mechaniczne /wymiarowe/ i elektryczne płytek wielowarstwowych. Projektant realizujący poszczególne etapy konstrukcji powinien znaleźć w tej części opracowania minimum niezbędnych informacji do wykonania swego zadania.

Część druga pracy będzie dotyczyć wykonywania matryc, własności materiałów i typowych procesów technologicznych. Znajomość obu tematów jest niezwykle ważna zarówno dla projektanta jak i technologa jako że zasady projektowania, a w szczególności standardy wymiarów wynikają z możliwości technologicznych i odwrotnie.

## Literatura

- [1] COMELIN E.: La technique française dans le monde. Etudes - réalisations, circuits imprimés, équipement électronique. Marco 8816, 91, Limours, France.
- [2] DANIELS OF STROUD: Daniels "Multiset" Presses for Laminating Multilayer Printed Circuit Boards. Daniels of Stroud Ltd, Bath Road, Stroud, Gloucestershire, England.
- [3] FISK C.J., CASKEY D.L., WEST L.E.: Taking the Puzzle out of p-c Design. Electronics, 1967. Vol. 40, No 17, pp. 72-82.
- [4] GARTH E.C., COTT I.: Ultrahigh-Speed IC's Require Shorter, Faster Interconnections. Electronics, 1966, Vol. 39, No 10, pp. 103-110.
- [5] GOODYKOONTZ J.R.: Pattern Trimes Design Time for Multilayer Circuit Boards. Electronics, 1966, Vol. 39, No 15, pp. 148.
- [6] GRIMMER R.C.: Interconnecting High-speed Integrated Circuits with Multilayer Boards. Computer Design, 1967, Vol. 6, No 2, pp. 36-45.
- [7] HAYS S.A.: The Packaging Revolution, Part V: Bigger, Better, Multilayer Boards. Electronics, 1965, Vol. 38, No , pp. 90-95.
- [8] KORB R.W.: Multilayer Circuits Boards: Sharpening an Imperfect Art. Electronics, 1966, Vol. 39, No 22, pp. 141-147.
- [9] LICARI J.J.: Failure Analysis of Multilayer Boards. Electronic Packaging and Production, 1967, Vol. 7, No 2, pp. 69-78.
- [10] MESSNER G., GESHNER R.A.: Multilayer Printed Circuit Board, Technical Handbook. The Institute of Printed Circuits, Chicago 1966.



- [11] MESSNER D.G.: Survey of Recent Development in Printed Circuit Technology, SCP and Solid State Technology, 1967, Vol. 10, No 6, pp. 42-50.
- [12] MESSNER G.: Ten Steps to Multilayer Board Design. Electronic Design, 1967, Vol. 15, No 3, pp. 54-59.
- [13] THE MICAPLY: Micaply High Reliability Copper, Nickel, Nickel-Alloy-Clad and Unclad Glass Epoxy. Prospect. The Micaply Corp., 4031 Elende St., Culver City, California, USA.
- [14] MIKA M.: Zastosowanie półprzewodnikowych układów scalonych do konstrukcji EMC, część II. ETO Nowości IMM, Nr 3/1968, str.60-70.
- [15] MITTLEMAN W.K.: Designing Transmission Lines into Multilayer Circuit Boards. Electronics, 1965, Vol. 38, No 22, pp. 90-96.
- [16] SPRINGFIELD W.K.: Multilayer Circuitry in Computer Applications. Electronic Packaging and Production, 1966, Vol. 6, No 12, pp. 111-117.
- [17] SPRINGFIELD W.K.: Designing Transmission Lines into Multilayer Circuit Boards. Electronics, 1965, Vol. 38, No 22, pp. 90-96.
- [18] STERNBERG S.: A Uniform Multilayer Board. Electronic Packaging and Production, 1968, Vol. 8, No 9, pp. 39-45.
- [19] ZINBARG B.: Explore Thin-laminate Properties and Limitations. Electronic Design, 1967, Vol. 15, No 4, pp. 84-88.
- [20] WHITE L.M., JONES R.W.: Infrared Fault-finder Pinpoints Defects in Multilayer Boards. Electronics, 1965, Vol. 38, No 22, pp. 96-98.
- [21] ZINBARG B.: Pick the Proper Prepreg for Multilayer Board Assemblies. Electronic Design, 1967, Vol. 15, No 5, pp. 70-73.







Pow. w IMM n. 650 egz. pap. offset kl. III g. 80 zam. 32/71  
GP.II/1063/70.U-91 INDEKS 35804





Warunki prenumeraty:

Cena prenumeraty krajowej:

rocznie - zł 240.-

Prenumeraty przyjmowane są do dnia 10 grudnia na rok następny.

Prenumeratę na kraj dla czytelników indywidualnych przyjmują urzędy pocztowe oraz listonosze.

Czytelnicy indywidualni mogą dokonywać wpłat również na konto PKO Nr 1-6-100020 - Centrala Kolportażu Prasy i Wydawnictw "Ruch" Warszawa, ul. Wronia 23.

Wszystkie instytucje państwowe i społeczne mogą zamawiać prenumeraty wyłącznie za pośrednictwem Oddziałów i Delegatur "Ruch".

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



BIBLIOTEKA GŁÓWNA  
Politechniki Śląskiej

P 3057 | 70