



Patent dodatkowy
do patentu nr _____

Zgłoszono: 04.02.77 (P.195820)

Pierwszeństwo: 06.02.76 Wielka Brytania

Zgłoszenie ogłoszono: 24.10.77

Opis patentowy opublikowano: 03.07.1982

Int. Cl.²

G06F 9/00

G06F 7/38

G06F 13/06

CZYTELNIA

Urzedu Patentowego
P.

Twórca wynalazku _____

Uprawniony z patentu: International Computers Limited, Londyn (Wielka Brytania)

**Układ przetwarzania danych,
zwłaszcza rejestru do potokowego układu przetwarzania danych**

1

Przedmiotem wynalazku jest układ przetwarzania danych, zwłaszcza rejestru do potokowego układu przetwarzania danych.

Potokowy układ przetwarzania danych jest to taki układ, który ma dwa lub więcej stopni przetwarzania połączonych szeregowo i tworzących „potok”, przez który przepływa strumień rozkazów. Każdy stopień przetwarzania jest przeznaczony do wykonywania jednej określonej fazy każdego rozkazu, a realizacja kolejnych rozkazów nakłada się na siebie. Układ taki ma zatem dużą prędkość przetwarzania, w porównaniu z konwencjonalnymi procesami jednostopniowymi.

Na ogół układ przetwarzania danych ma wiele rejestrów maszynowych specjalnego przeznaczenia, takich jak akumulator, licznik programowy i tak dalej. Pożądany jest dostęp do tych rejestrów w kilku fazach rozkazu. Jednakże w procesorze potokowym stwarza to problemy z blokowaniem, ponieważ jeden rozkaz może wymagać zmiany treści danego rejestru, podczas gdy poprzedni rozkaz jest jeszcze nadal realizowany i nadal potrzebny jest odczyt początkowej treści rejestru. Problem ten rozwiązuje się w ten sposób, że rozkazy nie powodują zmiany treści rejestru dopóki wszelkie poprzednie rozkazy nie zakończą swej współpracy z tym rejestrem. Jednakże nie jest to całkowicie zadowalające, ponieważ powoduje to zatrzymanie w potoku, a zatem zmniejsza całkowitą prędkość przetwarzania układu.

2

Układ rejestru do stosowania w potokowym układzie przetwarzania danych według wynalazku zawiera sekwencję rejestrów, z których każdy ma układ znacznikowy, oznaczający, czy rejestr ten zawiera ważną informację, a ponadto każdy rejestr ma wyjście umożliwiające wybranie treści tego rejestru, jeżeli układ znacznikowy sygnalizuje, że rejestr zawiera ważną informację. W przeciwnym przypadku wybierana jest treść pierwszego z kolejnych rejestrów sekwencji, którego układ znacznikowy sygnalizuje, że zawiera on ważną informację. Ponadto zastosowano układ przesuwania treści każdego rejestru i układu znacznikowego do następnego rejestru i układu znacznikowego w sekwencji.

Korzystnie potokowy układ przetwarzania danych zawiera sekwencję zespołów przetwarzania danych, przeznaczonych do realizowania kolejnych faz rozkazu, gdy rozkaz ten przepływa wzdłuż sekwencji, oraz układ rejestrów opisany powyżej, przy czym zespoły przetwarzające mają możliwość wpisywania w odpowiednie rejestry, a układ przesunięcia rejestrów powoduje przesuwanie treści rejestrów i układów znacznikowych wraz z przepływem rozkazu.

Rozwiązanie według wynalazku usuwa źródło zahamowań w potoku przez zastosowanie oddzielnej kopii danego rejestru maszyny dla każdego stopnia potoku, tak że każdy rozkaz może dokonać zmiany w swej własnej kopii nie czekając aż

poprzednie rozkazy zakończą współpracę z rejestrem maszyny. Kopie rejestrów są połączone ze sobą tak, aby treść rejestru mogła przepływać przez potok wraz z przepływem rozkazu. Blokowanie uzyskuje się przez zastosowanie układów znacznikowych, które zapewniają, że za każdym razem gdy rozkaz zmienia treść rejestru maszyny, nowa wartość jest automatycznie dostępna dla wszystkich następnych rozkazów w potoku, które same nie zmieniły treści rejestru. Zatem każdy rozkaz ma dostęp do najnowszej wartości treści rejestru, biorąc pod uwagę wszelkie zmiany dokonane przez poprzednie rozkazy.

Chociaż rozkaz może dokonać zmiany swej kopii rejestru nie czekając aż poprzednie rozkazy zakończą odczyt, pożądane jest by dany rozkaz nie usiłował wykorzystywać swej kopii rejestru, jeżeli poprzedni rozkaz ma dokonać zmiany w tym rejestrze. Problem ten rozwiązano przez zastosowanie sekwencji układów ostrzegawczych, przyporządkowanych odpowiednim rejestrów, których treści są przesuwane wraz z treściami rejestrów i układów znacznikowych, przy czym każdy układ ostrzegawczy ma środki wytwarzania na wyjściu sygnału ostrzegawczego, równoważnego funkcji LUB stanów wszystkich następnych układów ostrzegawczych w sekwencji. Urządzenie takie można stosować dla wytwarzania ostrzeżeń dla rozkazów, że poprzedni rozkaz w potoku ma zmienić treść rejestru.

Ze względu na regularną konstrukcję układu rejestrów można ją łatwo przystosować do wykorzystania w potokowym układzie przetwarzania o żądanej liczbie stopni po prostu przez dodanie lub usunięcie rejestrów z sekwencji. Ponadto regularnie powtarzająca się konstrukcja układu rejestrów czyni ten układ szczególnie przydatnym przy stosowaniu technologii obwodów scalonych o dużej skali integracji.

Wynalazek jest objaśniony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat blokowy czterostopniowego, potokowego układu przetwarzania danych według wynalazku, fig. 2 — schemat logiczny układu koordynatora tego systemu, fig. 3 — wykres czasowy, pokazujący jak realizacje rozkazów nakładają się na siebie, fig. 4—9 przedstawiają szczegółowo konstrukcję układu rejestrów według wynalazku, a fig. 10—11 przedstawiają modyfikację układu dla zmniejszenia czasu powrotu w układzie rejestrów.

Układ z figury 1 stanowi potok czterostopniowy. Każdy stopień zawiera zespół przetwarzający, a każdy zespół przetwarzający ma własną pamięć sterującą CS dla przechowywania mikroprogramów, które sterują działaniem tego stopnia.

Zespoły przetwarzające mają odpowiednie zespoły buforowe BU. Każdy z nich zawiera pamięć buforową rozkazu w języku maszyny, który jest bieżąco realizowany przez przyporządkowany zespół sterujący, oraz inne pamięci buforowe dla argumentów operacji i innych informacji sterowania biorących udział w tym rozkazie. Każdy zespół buforowy zawiera również detektor rozkazu, który służy do wytwarzania sygnałów sterujących, przeznaczonych do inicjowania odpowiedniego mikro-

programu w przyporządkowanym zespole przetwarzającym.

Zadaniem pierwszego zespołu przetwarzającego PU1 jest pobieranie następnego rozkazu w języku maszyny z bieżącego programu w pamięci głównej IO, umieszczenie tego rozkazu w swym zespole buforowym BU1 i następnie przeprowadzenie wstępnej analizy tego rozkazu, np. w celu określenia typu rozkazu. Stosunkowo mała, ale szybka pamięć wtórna II służy jako pamięć buforowa pomiędzy zespołem PU1, a pamięcią główną IO. Ta pamięć wtórna magazynuje rozkazy, które będą prawdopodobnie potrzebne w bliskiej przyszłości (za pomocą pewnej postaci przewidywania), tak aby zmniejszyć skuteczny czas dostępu do pobieranych rozkazów.

Na ogół każdy rozkaz w języku dotyczy określonej operacji dwoma argumentami operacji, z których jeden może być otrzymywany z pamięci kolumnowej utworzonej w pamięci głównej IO.

Drugi zespół przetwarzający PU2 tworzy adres argumentu operacji w pamięci kolumnowej, a następnie pobiera ten argument z pamięci głównej IO poprzez pamięć wtórna I2 i umieszcza go w zespole buforowym BU2.

Zadaniem trzeciego zespołu przetwarzającego PU3 jest tworzenie adresu drugiego argumentu operacji (nie w pamięci kolumnowej) i pobieranie tego argumentu z pamięci głównej poprzez pamięć wtórna I3 oraz umieszczenie go w zespole buforowym BU3.

W końcu czwarty zespół przetwarzający PU4 realizuje określoną operację (na przykład sumowanie, odejmowanie i tak dalej) pomiędzy oboma poprzednio pobranymi argumentami w swym zespole buforowym BU4. Wynik umieszczany jest w pamięci buforowej zapisu I4, skąd może być z powrotem wpisany do pamięci głównej IO.

Każde z opisanych powyżej urządzeń (to znaczy, zespoły przetwarzające, pamięci wtórnej, zespoły buforowe i pamięć buforowa zapisu) jest jako takie znane, a ich szczegółowe rozwiązania konstrukcyjne nie stanowią części wynalazku, zatem nie będą tu opisywane.

Przepływ rozkazów i argumentów operacji wzdłuż potoku (od strony lewej ku prawej na rysunku) jest kontrolowany przez układ koordynujący I5 (fig. 2). Kiedy jeden z zespołów przetwarzających zakończy swą bieżącą operację, wówczas wytwarza sygnał „żądanie przesunięcia”. Sygnały takie z czterech zespołów są łączone w bramce I I6, której sygnał wyjściowy podawany jest na obwód różniczkujący I7, który wytwarza sygnał „Przesunięcie”, kiedy sygnał wyjściowy bramki zmienia się z 0 na 1. Sygnał ten oznacza zatem, że wszystkie cztery zespoły zakończyły swe bieżące operacje.

Sygnał „Przesunięcie” podawany jest na cztery zespoły buforowe BUI — BU4, aby spowodować przesunięcie wszystkich rozkazów i odpowiednich argumentów operacji o jeden stopień w prawo, do następnego stopnia rurociągu. Rozkazy i argumenty przesuwane z ostatniego zespołu buforowego BU4 są kasowane, natomiast pierwszy zespół buforowy BUI jest pusty, przygotowany do przyjęcia

następnego rozkazu w języku maszyny, pobieranego przez zespół PUI.

Sygnał wyjściowy obwodu różniczkującego I7 (fig. 2) jest podawany również na wszystkie cztery zespoły przetwarzające jako sygnał „Koniec przesunięcia”, który oznacza, że sygnały „Żądanie przesunięcia” tych zespołów zostały teraz uwzględnione. Każdy zespół przetwarzający kasuje zatem swój sygnał „Żądanie przesunięcia” i z powrotem przystępuje do wykonywania swej operacji.

Wykonywanie każdego rozkazu w języku maszyny podzielone jest zatem na cztery fazy, które są realizowane kolejno przez cztery zespoły przetwarzające podczas przejścia rozkazu przez potok. Realizacje kolejnych rozkazów nakładają się na siebie wzajemnie, tak że w danej chwili w potoku może się znajdować nawet do czterech rozkazów. Takie nakładanie się realizacji rozkazów przedstawiono graficznie na fig. 3.

Każdy rozkaz na ogół wymaga dostępu do jednego lub kilku z czterech rejestrów maszyny o specjalnym przeznaczeniu. Rejestrami tymi są akumulator (ACC), licznik programu (PC), rejestr czołowy pamięci kolumnowej (SF), oraz rejestr stanu programu (PSR). Rejestry maszyny są utworzone przez układ szesnastu podstawowych komórek rejestru 20, po cztery na każdy stopień potoku. Cztery komórki w każdym stopniu (to znaczy pionowa kolumna komórek pokazana na fig. 1) zawierają kopie czterech rejestrów maszyny i są dostępne dla zespołu przetwarzającego tego stopnia. Cztery kopie danego rejestru maszyny (to znaczy poziomy wiersz komórek) są połączone ze sobą w sekwencję, aby umożliwić przesuwanie informacji z jednej komórki do następnej, od strony lewej ku prawej na rysunku. Przesuwanie takie sterowane jest przez te same sygnały „Przesunięcie”, które są wykorzystywane do przesuwania rozkazów. Tak więc każdy przepływający wzdłuż układu rozkaz niesie ze sobą wzdłuż układu kopie czterech rejestrów maszyny. Podstawowa komórka rejestru 20 pokazana na fig. 4 zawiera 32-dwubitowy rejestr 21. Dane mogą być wpisywane do rejestru poprzez dwudrogowy multiplekser 22 z jednego z dwóch źródeł, to znaczy z toru danych 23 z przyporządkowanego zespołu przetwarzającego, lub z toru przesunięcia danych 24, przy czym oba te tory mają szerokość po 32 bity. Rejestr 21 ma również tor wyjścia danych 25 o szerokości 32 bitów, dołączy do toru przesunięcia danych 24 odpowiedniej komórki w następnym stopniu układu.

Komórka taka zawiera również jednobitowy układ znacznikowy 26. Układ ten może być zapisywany poprzez multiplekser 27, albo z linii przesunięcia znacznika 28, albo z linii, która jest na stałe połączona tak, aby odbierać binarny poziom 1. Układ znacznikowy ma również linię wyjściową 30, która jest połączona z linią przesunięcia znacznika 28 odpowiedniej komórki następnego stopnia.

Dwa multipleksery 22, 27 są sterowane przez sygnał „Przesunięcie”. Przy braku tego sygnału oba multipleksery wybierają swe dolne wejścia (jak pokazano na rysunkach). Dane mogą być wpisywane do rejestru 21 z przyporządkowanego zespołu przetwarzającego poprzez tor zapisu danych 23.

Ze względu na połączone na stałe wejście „jeden” układ znacznikowy przestawiany jest automatycznie, kiedy rejestr 21 jest zapisywany.

Kiedy występuje sygnał „Przesunięcie”, oba multipleksery wybierają swe górne wejścia. Umożliwia to przesunięcie treści każdego rejestru 21 i jego układu znacznikowego w prawo do następnego stopnia.

Komórka ma również tor odczytu danych 31 o szerokości 32 bitów, który realizuje wyjście danych komórki do przyporządkowanego zespołu przetwarzającego. Odczytane dane są otrzymywane przez multiplekser 32, albo z toru wyjściowego 25 rejestru 21, albo z toru odczytu zwrotnego 33 o szerokości 32 bitów. Tor odczytu zwrotnego jest z kolei połączony z wyjściem multipleksa 32 w odpowiedniej komórce następnego stopnia. Multiplekser 32 jest sterowany przez wyjście układu znacznikowego, tak że wybiera swe wyjście górne lub dolne, zależnie od tego, czy układ znacznikowy jest przestawiony czy nie.

Wyjście danych na torze 31 jest zatem następujące:

- a) kiedy układ znacznikowy jest w pierwszym stanie, wyjście danych stanowi treść rejestru 21,
- b) kiedy układ znacznikowy jest w drugim stanie, wyjście danych stanowi treść pierwszego następnego rejestru w tym samym wierszu poziomym komórek, którego układ znacznikowy jest w stanie pierwszym.

Dzięki temu dla każdego rozkazu w języku maszyny dostępna jest najnowsza wartość treści każdego rejestru maszyny, biorąc pod uwagę zmiany poprzednich rozkazów.

Na figurze 5 pokazano układ logiczny wyboru odczytu danych z jednej z czterech komórek 20 w jednym stopniu układu.

Układ logiczny zawiera dekodery 40, który otrzymuje dwubitowy kod funkcyjny z zespołu przetwarzającego i wytwarza jeden z trzech sygnałów funkcyjnych: „Odczyt”, „Zapis” i „Przeplukanie”.

Sygnał „Odczyt” włącza czterodrogowy multiplekser 41, aby wybrać jeden z torów odczytu danych 31 czterech komórek. Dane z wybranego toru są przesyłane do zespołu przetwarzającego poprzez tor odczytu 42 (szerokość 32 bity). Wybór jest sterowany przez dwa bity „Wybór rejestru” z zespołu przetwarzającego.

Na figurze 6 pokazano układ do wybrania jednej z czterech komórek danego stopnia do zapisu.

Sygnał „Zapis” z dekodera 40 włącza dekodery 43, który dekoduje bity „Wybór rejestru” i wytwarza sygnał na jednej z czterech linii wyjściowych. Linie te są połączone poprzez bramki LUB 44 z wejściami „Włączanie zapisu” czterech komórek. Jak pokazano na fig. 4 wejście „Włączanie zapisu” każdej komórki włącza zarówno rejestr 21 jak i układ znacznikowy dla zapisu przy następnym impulsie zegarowym. Na bramki LUB 44 podany jest również sygnał „Przesunięcie” (fig. 6), tak aby wytworzyć sygnały „Włączanie zapisu” dla wszystkich czterech komórek.

Ostatni stopień potoku działa jako pułapka dla nieaktualnych treści rejestrów, aby uniknąć utraty informacji na skutek zapisania danych nieważ-

nych. Na fig. 7 pokazano jak układ z fig. 6 jest zmieniony w ostatnim stopniu potoku, aby wychwytywać treści rejestrów.

Dodatkowe bramki I 45, sterowane przez wyjścia bramek LUB 46, są wprowadzane do wejść „Włączanie zapisu”. Bramki LUB 46 otrzymują odwrotność sygnału „Przesunięcie” i sygnał układu znacznikowego poprzedniego stopnia. Dzięki temu, kiedy występuje sygnał „Przesunięcie”, wówczas sygnał „Włączanie zapisu” nie może wystąpić, chyba że układ znacznikowy poprzedniego stopnia jest w pierwszym stanie. Kiedy występuje „Przesunięcie”, rejestry w ostatnim stopniu podlegają tylko przepisaniu informacji, której towarzyszy pierwszy stan układu znacznikowego.

Czasem może być konieczne zaniechanie wykonywania jednego lub kilku rozkazów, które zostały już częściowo wykonane. Sytuacja taka może wystąpić na przykład w wyniku przerwy synchronicznej lub w przypadku rozkazu skoku, którego przeznaczenie zostało źle określone. Potrzebny jest wtedy rozkaz „Przepłukanie potoku” powodujący skuteczne usunięcie wszelkich nie stosownych zmian w rejestrach.

Uzyskuje się to przez przestawienie do drugiego stanu wszystkich układów znacznikowych, aż do danego stopnia w potoku.

Na figurze 8 pokazano układ logiczny sterowania „przeplukiwaniem”, który umożliwia by zespół przetwarzający w jednym stopniu przestawił do drugiego stanu układy znacznikowe wszystkich poprzednich stopni. Podobny układ logiczny zastosowano dla każdego stopnia.

Sygnał „Przeplukiwanie” z dekodera 40 jest bramkowy za pomocą sygnału zegarowego poprzez bramkę I 47 na jedno wejście bramki LUB 48. Wyjście każdej bramki LUB 48 jest połączone z drugim wejściem odpowiedniej bramki LUB w poprzednim stopniu potoku. Zatem sygnał „Przeplukiwanie” wytwarzany przez jeden zespół przetwarzający porusza się do tyłu (to znaczy w lewo) wzdłuż potoku do wszystkich poprzednich stopni.

W każdym stopniu sygnał „Przeplukiwanie” z poprzedniego stopnia podawany jest na wejście kasowania znacznika wszystkich czterech podstawowych komórek rejestru. Jak pokazano na fig. 4 sygnał z wejścia kasowania znacznika jest podawany na układ znacznikowy w celu przestawienia go do jego drugiego stanu.

Jeżeli jakiś rozkaz ma dokonać zmiany w jednym z rejestrów maszyny, wówczas musi zdeklarować ten zamiar przy najbliższej sposobności, to znaczy w pierwszym stopniu potoku. Następne rozkazy otrzymują wtedy ostrzeżenie, aby nie wykorzystywały tego rejestru maszyny dopóki nie nastąpi w nim zmiana. Uzyskano to przez zastosowanie systemu układów ostrzegawczych, po jednym dla każdej komórki rejestru 20. Jeden taki układ ostrzegawczy 50 pokazano na fig. 9.

Każdy układ ostrzegawczy ma linię wejściową 51 i linię wyjściową 52, która jest połączona z linią wejściową układu ostrzegawczego następnego stopnia w rurociągu. Sygnał „Przesunięcie” podawany jest na wejście włączania zapisu każdego układu ostrzegawczego. Kiedy zatem wystąpi syg-

nał „Przesunięcie”, wówczas treść każdego układu ostrzegawczego jest przesuwana o jeden stopień do przodu w rurociągu (to znaczy w prawo). Przepływowi rozkazu w potoku towarzyszy zatem przepływ treści w układach ostrzegawczych.

Linie wejściowe 51 czterech układów ostrzegawczych w pierwszym stopniu potoku są połączone bezpośrednio z odpowiednim zespołem przetwarzającym PU1 tak, że te układy ostrzegawcze mogą być nastawiane bezpośrednio przez zespół przetwarzający. Jak wspomniano poprzednio kiedy zespół przetwarzający PU1 przyjmuje nowy rozkaz, wówczas wykonuje analizę wstępną. Celem takiej analizy jest określenie, czy rozkaz ten ma dokonać zmiany w którymkolwiek z rejestrów maszyny. Zespół przetwarzający PU1 nastawia wtedy odpowiednie układy ostrzegawcze pierwszego stopnia przez podanie sygnałów na linie wejściowe 51, aby dać ostrzeżenie następnym rozkazom.

Sygnał wyjściowy każdego układu ostrzegawczego jest podawany również na bramkę LUB 53, której wyjście jest połączone poprzez linię 54 z drugim wejściem odpowiedniej bramki LUB 53 w poprzednim stopniu potoku. Sygnały odbierane w każdym stopniu z bramek LUB 53 następnego stopnia są stosowane jako sygnały odczytu układów ostrzegawczych. Widać zatem, że istnieją cztery takie sygnały odczytu układów ostrzegawczych w każdym stopniu, po jednym dla każdego rejestru, a każdy taki sygnał oznacza, że poprzedni rozkaz położony dalej w potoku (w prawo) ma zamiar dokonać zmiany danego rejestru maszyny.

Zanim zespół przetwarzający odczyta treść rejestru, najpierw sprawdza odpowiedni sygnał odczytu układu ostrzegawczego, aby określić, czy można wykorzystać treść tego rejestru. Realizuje się to przez włączenie multipleksera 55, który jest sterowany przez bity wyboru rejestru, tak aby wybrać odpowiedni sygnał odczytu układu ostrzegawczego. Wybrany sygnał jest zwracany do zespołu przetwarzającego poprzez linię 56. Jeżeli zespół przetwarzający stwierdzi, że nie wolno odczytywać treści rejestru, wówczas czeka, aż będzie to można zrobić, to znaczy aż poprzedni rozkaz zmieni treść danego rejestru i dokona przestawienia układu ostrzegawczego. Należy zauważyć, że koordynator musi mieć możliwość „zamrożenia” treści wszystkich stopni potoku aż do tego stopnia włącznie, który oczekuje na zezwolenie odczytania rejestru (aby wykluczyć sygnały przesunięcia dla tych stopni), natomiast treści następnych stopni mogą być przesuwane w normalny sposób.

Sposób kasowania układów ostrzegawczych jest następujący. Za każdym razem, kiedy zespół przetwarzający dokona zmiany w rejestrze, włącza on również dekodery 57, który dekoduje bity wyboru rejestru i wytwarza sygnał na jednym z czterech wyjść. Te cztery wyjścia są połączone z wejściami kasowania czterech układów ostrzegawczych w tym stopniu, tak aby przestawić do drugiego jego stanu układ ostrzegawczy tego rejestru, w którym jest dokonywana zmiana.

Układy ostrzegawcze są również kasowane przez mechanizm przeplukiwania potoku z fig. 8 w taki sam sposób jak układy znacznikowe.

Jak wyjaśniono powyżej, kiedy zespół przetwarzający dokonuje zmiany w jednym z rejestrów maszyny, nowa wartość podawana jest z powrotem wzdłuż rurociągu torami odczytu powrotnego 33, tak że jest ona dostępna dla wszystkich poprzednich stopni potoku. Oczywiście nowa wartość potrzebuje niewielkiego ale skończonego czasu na powrót wzdłuż potoku. W wielu systemach czas ten jest pomijalnie mały. Jednakże, kiedy rurociąg jest bardzo długi, to znaczy ma wiele stopni, lub kiedy czas cyklu zespołów przetwarzających jest bardzo krótki, czas ten może być znaczny.

Poniżej opisano modyfikację układu w celu skrócenia tego czasu. Założono przy tym, że rurociąg ma szesnaście stopni, zestawionych w grupy po cztery. Na fig. 10 pokazano podstawową komórkę rejestru każdego stopnia jednej grupy czterech stopni. Te cztery komórki są oznaczone **CELL 1** — **CELL 4**, a wyjścia z rejestrów w tych komórkach oznaczono **REG 1** — **REG 4**, zaś wyjścia ich układów znacznikowych oznaczono **M 1** — **M 4**.

Każda z tych komórek jest podobna do komórki pokazanej na fig. 4, z tym, że multiplexer 32 zastąpiono bardziej skomplikowanym logicznym obwodem wybierania. Każdy logiczny obwód wybierania wytwarza sygnał odczytu danych, a sygnały takie są podawane na odpowiednie multiplexery podobne do multiplexera 41 (fig. 5), tak aby utworzyć sygnały odczytu stopni dla przyporządkowanych zespołów przetwarzających. Cztery sygnały odczytu danych z czterech komórek **CELL 1** — **CELL 4** oznaczono przez **R 1** — **R 4**.

Na figurze 11 pokazano logiczny obwód wybierania 60 komórki **CELL 1**. Obwód ten łączy sygnał **REG 1** — **REG 4**, **M 1** — **M 4** oraz sygnał **R**, który jest sygnałem odczytu danych z pierwszej komórki następnej grupy komórek, aby utworzyć sygnał odczytu danych **R 1**.

Działanie tego obwodu można przedstawić za pomocą następującego równania logicznego:

$$\begin{aligned} R 1 = & \text{REG } 1 \cdot M 1 + \text{REG } 2 \cdot M 2 \cdot \overline{M 1} + \\ & \text{REG } 3 \cdot M 3 \cdot \overline{M 2} \cdot \overline{M 1} + \\ & \text{REG } 4 \cdot M 4 \cdot \overline{M 3} \cdot \overline{M 2} \cdot \overline{M 1} + \\ & R \cdot \overline{M 4} \cdot \overline{M 3} \cdot \overline{M 2} \cdot \overline{M 1} \end{aligned}$$

Logiczne obwody wybierania w innych komórkach **CELL 2** — **CELL 4** są podobne do pokazanego na fig. 11, a ich działania można przedstawić za pomocą następujących równań:

$$\begin{aligned} R 2 = & \text{REG } 2 \cdot M 2 + \text{REG } 3 \cdot M 3 \cdot \overline{M 2} + \\ & \text{REG } 4 \cdot M 4 \cdot \overline{M 3} \cdot \overline{M 2} + R \cdot \overline{M 4} \cdot \overline{M 3} \cdot \overline{M 2} \\ R 3 = & \text{REG } 3 \cdot M 3 + \text{REG } 4 \cdot M 4 \cdot \overline{M 3} + R \cdot \overline{M 4} \cdot \overline{M 3} \\ R 4 = & \text{REG } 4 \cdot M 4 + R \cdot \overline{M 4} \end{aligned}$$

Widać, że wynik działania tych logicznych obwodów wybierania jest zasadniczo taki sam jak poprzednio opisanego układu, z tym że wyjście danych odczytu z każdej komórki jest równe:

a) treści rejestru w tej komórce, jeżeli odpowiedni układ znacznikowy jest w pierwszym stanie,

b) jeżeli układ znacznikowy jest w drugim stanie, treści pierwszego następnego rejestru, którego układ znacznikowy jest w pierwszym stanie.

Jednakże średnia długość drogi dla treści rejestru podlegającego zmianie w kierunku powrotnym jest znacznie skrócona. Przykładowo, treść rejestru podlegającego zmianie w następnej grupie komórek będzie podana bezpośrednio z pierwszej komórki w tej następnej grupie na pierwszą komórkę danej grupy (jako sygnał **R**) zamiast powrotu przez każdą z komórek **CELL 4** — **CELL 2**.

Alternatywny sposób sterowania przepływu rozkazów wzdłuż potoku polega na bezpośredniej współpracy zespołów przetwarzających, która zastępuje obwód koordynujący z fig. 2. W takim przypadku każdy zespół przetwarzający zawiera mikroprogram współpracy i łączy się z sąsiednimi zespołami przetwarzającymi za pomocą sygnałów „Gotów” i „Przyjęto”.

Mikroprogram współpracy zostanie poniżej opisany dla zespołu przetwarzającego **N** (gdzie w powyższym przykładzie **N = 1, 2, 3** lub **4**).

Kiedy zespół **N** zakończy bieżącą operację realizacji rozkazu, wówczas wysyła sygnał „Gotów” do zespołu **N + 1**. Następnie oczekuje, aż zespół **N + 1** przyjmie rozkaz od swego zespołu buforowego. Sygnalizowane jest to odebraniem sygnału „Przyjęto” z zespołu **N + 1**. Zespół **N** oczekuje teraz na sygnał „Gotów” z zespołu **N - 1**. Kiedy go odbierze, wówczas wysyła sygnał „Przesunięcie” do swej pamięci buforowej, aby przesunąć rozkaz z poprzedniej pamięci buforowej. Następnie zespół **N** wysyła sygnał „Przyjęto” do zespołu **N - 1**. Zespół **N** jest teraz gotów do rozpoczęcia realizacji operacji dla nowego rozkazu.

Widać zatem, że sygnały przesunięcia dla różnych stopni potoku są nie wszystkie wytwarzane równocześnie. W rzeczywistości każdy sygnał przesunięcia jest wytwarzany zasadniczo w najwcześniejszej możliwej chwili. Na ogół przepływ rozkazów przez potok odbywa się szybciej niż w poprzednio opisanym układzie.

Można wprowadzać szereg zmian w układzie nie wychodząc poza zakres wynalazku. Przykładowo można stosować różne liczby stopni potoku i różne liczby rejestrów maszyny.

Jak już wspomniano wynalazek nadaje się zwłaszcza do wykorzystania z zastosowaniem techniki obwodów scalonych o dużej skali integracji. Przykładowo jedna płytka obwodu scalonego może zawierać jedną podstawową komórkę rejestru z każdego z czterech kolejnych stopni rurociągu (to znaczy poziomy wiersz komórek z fig. 1). Ta sama płytka może zawierać również układy ostrzegawcze. Płytki takie mogą zawierać około 150 bramek logicznych i może być umieszczona w konwencjonalnej obudowie 24 — końcówkowej.

Zastrzeżenia patentowe

1. Układ przetwarzania danych, zwłaszcza układ rejestru do potokowego układu przetwarzania danych, **znamienny tym**, że zawiera sekwencję rejestrów (21), z których każdy posiada układ znacznikowy (26), sygnalizujący, kiedy rejestr zawiera informację ważną, oraz obwód wyjściowy z multiplexerem (32), wybierający treść tego rejestru, jeżeli przyporządkowany układ znacznikowy sygna-

lizuje, że rejestr zawiera informację ważną, a w przeciwnym przypadku wybierający treść pierwszego kolejnego rejestru w sekwencji, którego układ znacznikowy sygnalizuje, że rejestr ten zawiera informację ważną, oraz układ (15) przesuwający treść każdego rejestru i układu znacznikowego do następnego rejestru i układu znacznikowego w sekwencji.

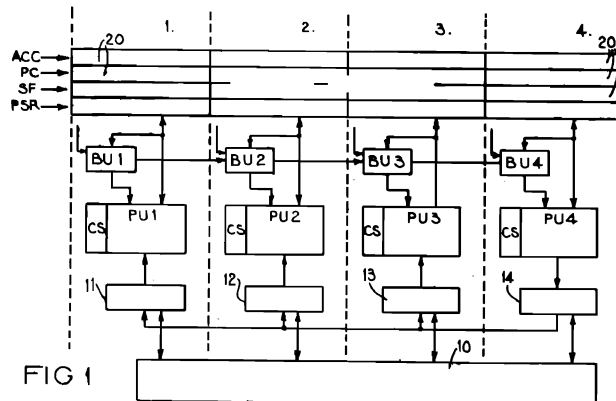
2. Układ według zastrz. 1, **znamienny tym**, że układ wyjściowy zawiera multiplexer (32), którego pierwsze wejście jest połączone z przyporządkowanym rejestrem (21), a drugie wejście jest połączone z wyjściem odpowiedniego multiplexera przyporządkowanego następnemu rejestrowi w sekwencji, przy czym każdy multiplexer jest sterowany przez przyporządkowany układ znacznikowy (26) tak, że wybierane jest pierwsze wejście, kiedy układ znacznikowy sygnalizuje, że przyporządkowany mu rejestr zawiera informację ważną, a w przeciwnym przypadku wybierane jest drugie wejście.

3. Układ według zastrz. 2, **znamienny tym**, że zawiera układ bramkujący (41, 46) uniemożliwiający przesunięcie treści przedostatniego rejestru w

sekwencji do ostatniego rejestru w sekwencji, chyba że układ znacznikowy (26) przyporządkowany przedostatniemu rejestrowi sygnalizuje, że rejestr ten zawiera informację ważną.

4. Układ według zastrz. 3, **znamienny tym**, że każdemu rejestrowi (21) przyporządkowany jest układ „przeplukiwania” (47, 48) przedstawiający do drugiego stanu układy znacznikowe (26) wszystkich poprzednich rejestrów w sekwencji, aby sygnalizowały one że rejestry te zawierają informację nieważną.

5. Układ według zastrz. 4, **znamienny tym**, że każdemu rejestrowi (21) przyporządkowany jest układ ostrzegawczy (50) sygnalizujący, że treść przyporządkowanego rejestru ma być zmieniona, a ponadto układ zawiera układ (52) przesuwania treści każdego układu ostrzegawczego do następnego układu ostrzegawczego synchronicznie z przesunięciem treści rejestru, oraz układ (53, 55) wytwarzający dla każdego rejestru sygnał ostrzegawczy, sygnalizujący, że układ ostrzegawczy przyporządkowany jednemu z następnych rejestrów w sekwencji jest w pierwszym stanie.



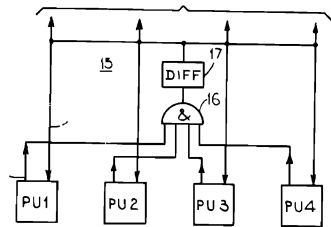


FIG. 2.

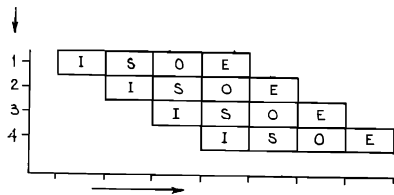


FIG. 3

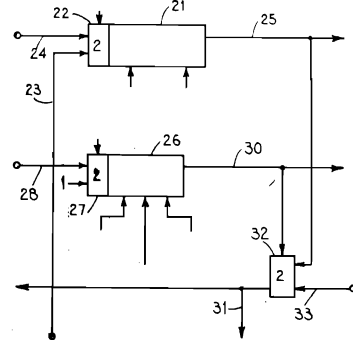


FIG. 4

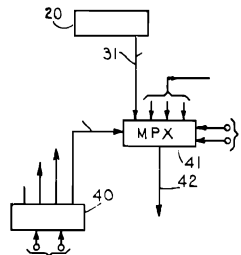


FIG. 5.

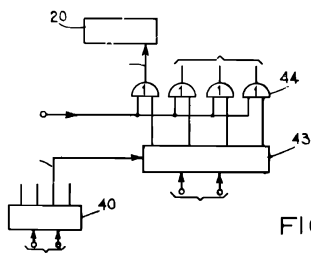


FIG. 6.

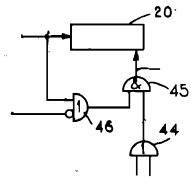


FIG. 7.

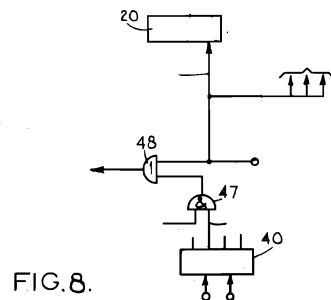


FIG. 8.

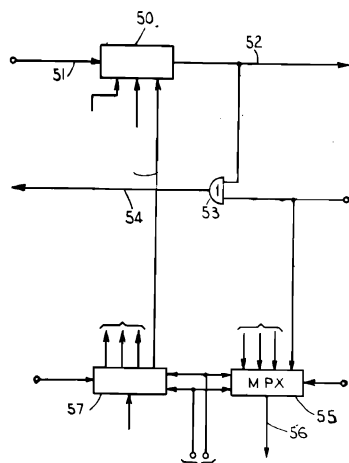


FIG. 9.

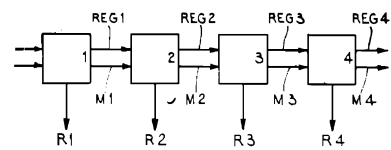


FIG. 10.

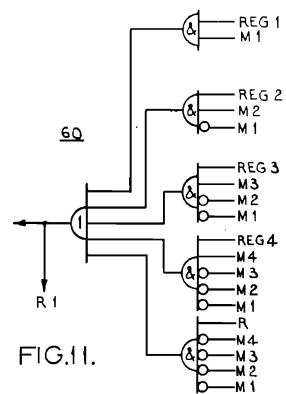


FIG. 11.