

STEFAN WĘGRZYN

Katedra Teorii Regulacji

A N A L O G I E D Y N A M I C Z N E^{x)}

(O podobieństwie i modelowaniu dynamiki układów analogowych, technicznych układów cyfrowych i sieci neuronowych)

1. Wprowadzenie

W tegorocznym wykładzie inauguracyjnym, który mam zaszczyt wygłosić chciałbym naszkicować zakres i znaczenie jakie dla współczesnego kształtowania się nauki i techniki posiadają zagadnienia analogii. Konieczność baczniejszego zwrócenia uwagi na tę problematykę stawała się coraz bardziej widoczna już w końcu pierwszej połowy naszego stulecia. Rozwój nauki w tym okresie cechował się bowiem wielką ilością coraz bardziej zawężających się specjalizacji. Przyniosło to obok korzyści również i poważne niebezpieczeństwo pojawiające się wówczas, gdy już nie tylko inżynier nie rozumie fizyka, a fizyk matematyka czy biologa ale często nawet inżynier nie może porozumieć się z inżynierem jeżeli pracują w różnych dziedzinach. Przyczyną tego izolacjonistycznego rozbicia stało się to, że specjalizacje coraz bardziej zawężały się, a jednocześnie obszary leżące między nimi i mogące je połączyć nauka pozostawiała długi czas odłogiem. Dopiero ostatnie dziesięciolecie przyniosło zasadniczą w tym względzie zmianę i obecnie jesteśmy świadkami szybkiego wyrastania na tych poprzednio "ziemiach niczyich" nowych ogólnych dyscyplin naukowych o podstawowym znaczeniu dla współczesnej nauki i techniki.

Jedną z nich to D Y N A M I K A S Y S T E M Ó W.

^{x)} Wykład inauguracyjny wygłoszony na Politechnice Śląskiej w roku akademickim 1963/64.

Powstanie i rozwój tej podstawowej już dziś dyscypliny to nie tylko dążność do scalenia pewnych dziedzin nauki, ale przede wszystkim wyjście naprzeciw jak najbardziej aktualnym i palącym potrzebom nowoczesnej techniki i przemysłu.

Istotną cechą współczesnych urządzeń technicznych i przemysłowych staje się bowiem coraz bardziej to, że w ich złożonej, można powiedzieć kompleksowej, strukturze łączy się bardzo wiele o bardzo wysokim stopniu specjalizacji elementarnych układów składowych najróżnorodniejszych typów w jednolitą, harmonijną całość o wspólnym określonym działaniu funkcjonalnym. Nierzadko więc wzajemnie ze sobą współpracują i wzajemnie się uzupełniają układy mechaniczne, obwody elektryczne, urządzenia hydrauliczne i pneumatyczne, elementy elektroniczne i tranzystorowe, cyfrowe układy liczące i logiczne (automaty), a myśli się już o wprowadzeniu jako części składowych takich właśnie systemów kompleksowych i układów bionicznych czyli syntetycznych struktur organicznych o budowie zbliżonej do budowy komórek żywych a działaniu podobnym do działania niektórych elementów elektroniki.

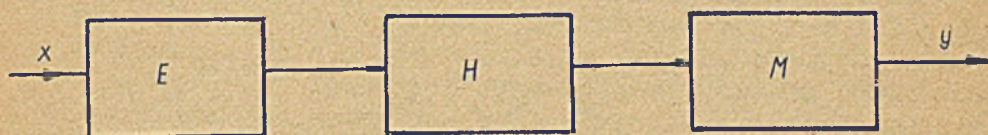
Teoria takich złożonych zespołów kompleksowych to właśnie przedmiot dynamiki systemów; ściślej jest to dyscyplina naukowa zajmująca się łącznością między elementami złożonych organizmów i przebiegami przesyłanych między nimi sygnałów umożliwiającymi sterowanie jednymi częściami przez inne i osiągnięcie w ten sposób koordynacji całości.

2. Struktura i modelowanie układów analogowych

System kompleksowy złożony z różnorodnych analogowych układów składowych np. elektrycznego, hydraulicznego i mechanicznego można zilustrować schematem blokowym przedstawionym na rys. 1.

Poszczególne bloki reprezentują tu odpowiednie układy składowe, symbolem x oznaczono sygnał wejściowy, symbolem y sygnał wyjściowy; strzałki wskazują kierunek przechodzenia sygnału od wejścia do wyjścia. Przedstawiony układ jest przykładem układu otwartego czyli systemu sterowania. Sterowanie polega tu na tym, że odpowiednia

zmiana sygnału wejściowego x przenosząc się kolejno przez poszczególne układy składowe powoduje w końcu na wyjściu pożądaną zmianę sygnału wyjściowego y . Analizując własności dynamiczne takiego układu zakłada się najczęściej jakiś określony przebieg sygnału wejściowego x i bada jaki odpowiada temu przebieg sygnału wyjściowego y .



Rys. 1. Schemat blokowy systemu otwartego

Oczywiście sprowadza się to do kolejnych analiz własności dynamicznych poszczególnych układów składowych. Można by te kolejne obliczenia przeprowadzać korzystając dla oddzielnych układów składowych z mniej lub bardziej rozwiniętych i najczęściej bardzo różnorodnych metod właściwych im dziedzin techniki, a więc elektrotechniki, mechaniki, dynamiki cieczy i gazów czy nauki o ciele. Ale można te wszystkie obliczenia ujednoczyć a przez to i radykalnie uprościć i przeprowadzać poszczególne analizy wychodzące z bardziej ogólnych pojęć dynamiki układów. Bazują one na wyróżnieniu we wszystkich układach dynamicznych dowolnego typu fizycznego tylko trzech podstawowych składników, a mianowicie:

elementu magazynującego energię w formie kinetycznej,
elementu magazynującego energię w formie potencjalnej
i elementu rozpraszającego energię i wyprowadzającego ją bezpowrotnie z systemu.

Te trzy elementarne składniki łącząc się między sobą tworzą proste układy podstawowe. Np. połączenie elementu magazynującego energię w formie kinetycznej z elementem powodującym rozpraszanie energii daje tak zwany układ inercyjny pierwszego rzędu. Własności dynamiczne takiego układu można z góry określić wychodząc z energetycznych równań Lagrange'a, bez względu na fizyczny typ elementów składowych jakie następnie zastosujemy aby go zbudować.

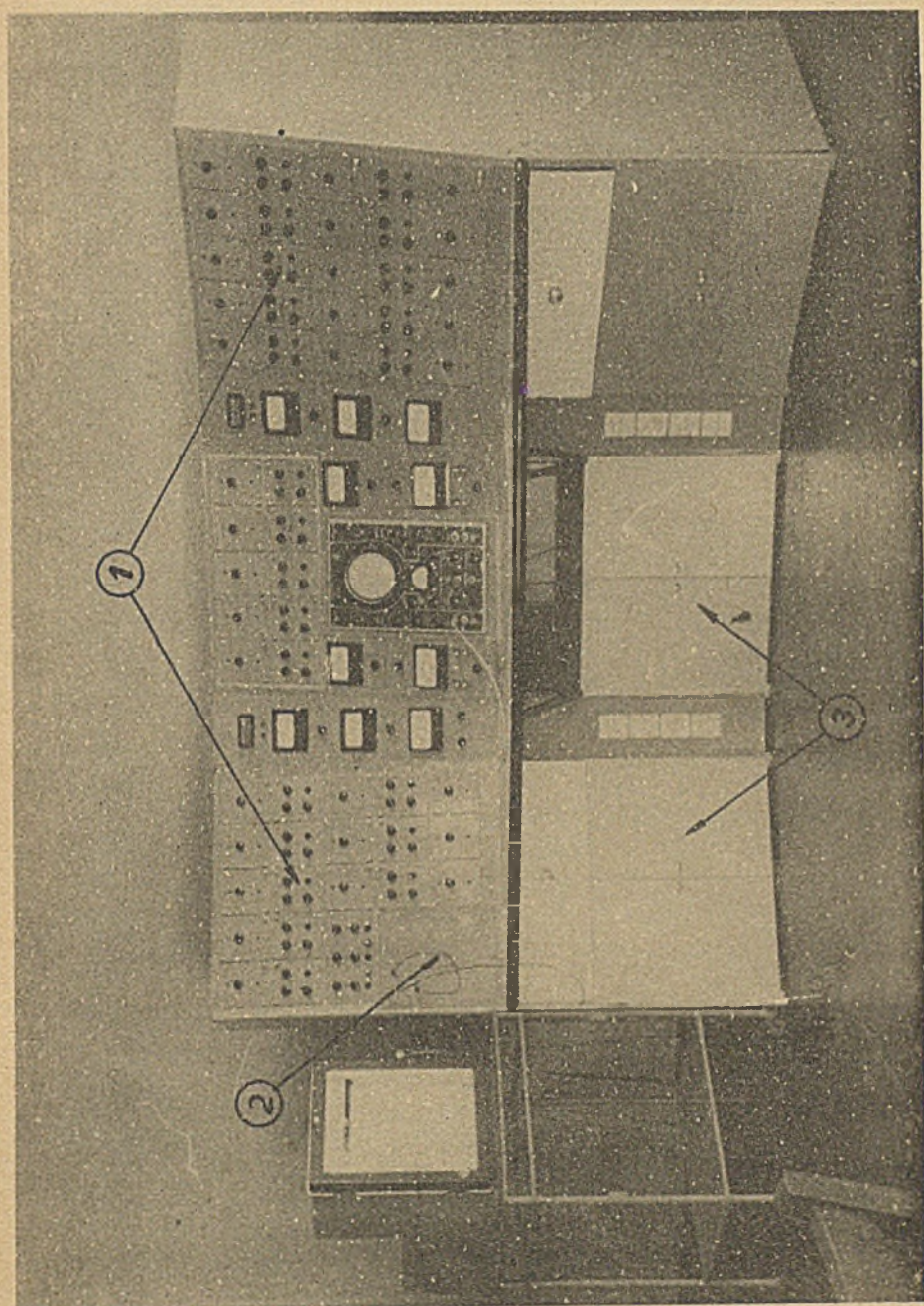
Czy się go więc zrealizuje z połączenie odpowiednich elementów elektrycznych, a więc oporu i inercyjności, czy mechanicznych a więc tarcia i masy, czy pneumatycznych lub hydraulicznych, a więc wykorzystując bezwładność ciecży lub gazów i ich opory przepływu, to własności dynamiczne tych wszystkich zbudowanych według tej samej recepty energetycznej układów, mechanicznego, elektrycznego, pneumatycznego, czy hydraulicznego będą identyczne. I to jest podstawowa koncepcja maszyn analogowych. Maszyny analogowe to niejako magazyny (zbiory) elementarnych układów podstawowych jednego typu, fizycznego, najdogodniejszego ze względów techniczno-laboratoryjnych a więc najczęściej elektrycznego. Dysponując takim magazynem i czerpiąc z niego odpowiednie proste układy podstawowe możemy je następnie składać w systemy kompleksowe o identycznej strukturze i identycznych własnościach poszczególnych elementów jak te, które występują w interesującym nas urządzeniu przemysłowym.

Jest to tak zwana zasada modelowania fizycznego. Obok metody modelowania fizycznego istnieje jeszcze metoda modelowania matematycznego. Modelowanie matematyczne polega na tym, że najpierw układa się równanie różniczkowe opisujące pracę badanego systemu, a następnie na maszynie modeluje się już nie sam system, a tylko odpowiadające mu równania.

Modelowanie fizyczne polega natomiast na tym, że korzystając z podstawowych pojęć dynamiki układowej modeluje się w maszynie bezpośrednio badany system, to jest jego strukturę i własności dynamiczne poszczególnych elementów.

Dla pierwszej większej analogowej maszyny elektronicznej zbudowanej w Politechnice Śląskiej, zadecydowano przyjąć jako podstawę konstrukcji zasadę modelowania fizycznego.

Maszyna ta jest przedstawiona na fotografii rys.2. Prace koncepcyjne, laboratoryjne i montażowe rozpoczęto na początku 1962 roku i dla przyspieszenia tempa prac prowadzono je w pewnym okresie równolegle. Budowę zakończono po roku i przystąpiono natychmiast do jej eksploatacji rozpoczynając próbne rozwiązania niektórych wybranych zagadnień przemysłowych. Z jej dorobku warto jednak podkreślić przede wszystkim to, że od ubiegłego semestru udostępniono ją też całkowicie studentom III roku Oddziału Automatyki, którzy samodzielnie wykonują na niej swe projekty.



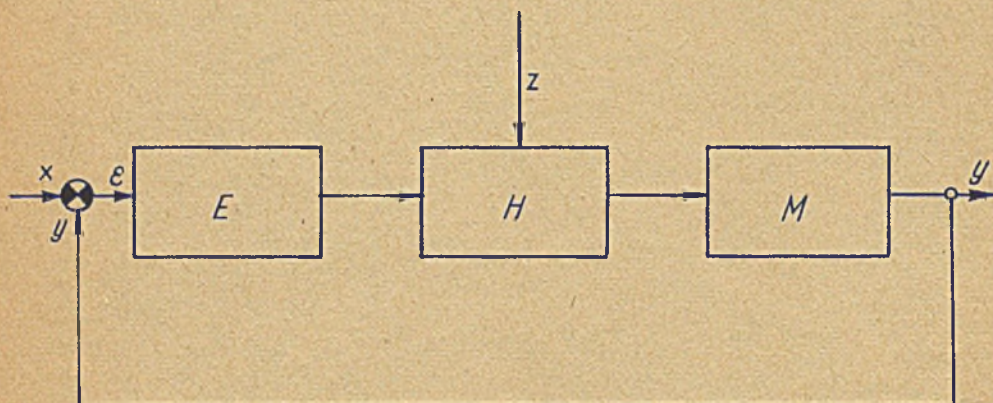
Rys.2. Elektronowa maszyna analogowa Politechniki Śląskiej

Jeżeli chodzi o dane techniczne to magazyn maszyny zawiera 24 podstawowe układy operacyjne (oznaczone na fotografii rys.2 liczbą 1), które można łączyć w dowolne systemy złożone, dzięki polu łączy (oznaczonemu liczbą 2).

Otrzymywane przebiegi można obserwować bezpośrednio na oscylografie lub zapisywać w formie dokumentu na taśmie rejestratora. Partie dolne maszyny to zasilacze, stabilizatory i system sterowania całością (oznaczone liczbą 3).

Rozwinięciem i udoskonaleniem systemów sterowania czyli układów otwartych, są układy zamknięte czyli systemy automatycznej regulacji.

Schemat blokowy najprostszego układu automatyki jest przedstawiony na rys.3.



Rys. 3. Schemat blokowy prostego układu automatycznej regulacji

Jego strukturę cechuje to, że wykonanie rozkazu zadanego sygnałem x jest kontrolowane przy pomocy pętli sprzężenia zwrotnego. Działanie jej polega na tym, że sygnał wyjściowy y zostaje przeniesiony z powrotem na wejście układu gdzie w węzle sumacyjnym zostaje przeprowadzone porównanie rozkazu x i jego wykonania y .

Obrazowo można więc powiedzieć, że układy sterowania przenoszą rozkazy ale nie kontrolują ich wykonania, na-

tomiast układy automatyki przenoszą rozkazy i kontrolują ich wykonanie.

W najprostszym przypadku, który ilustruje rys.3, kontrola wykonania rozkazu to po prostu przeprowadzenie odejmowania wartości sygnałów wejściowego i wyjściowego. Jeżeli ich różnica jest różna od zera to steruje układem tak długo aż oba sygnały zrównają się. W takim rozwiązaniu wykorzystuje się więc to, że ustalające się zerowe położenie równowagi układu, a więc stan $\epsilon = 0$, zapewnia równość sygnałów x i y mimo ewentualnych zewnętrznych zakłóceń z działających na układ.

Aby umożliwić w omawianej poprzednio maszynie analogowej modelowanie układów automatyki tego typu zaopatrzonej jej magazyn w 8 operacyjnych elementów sumacyjnych to jest układów zdolnych do sumowania, czy też odejmowania kilku sygnałów elektrycznych, (oznaczone na fotografii rys.2 liczbą 4).

Nie zawsze jednak budowa systemów automatyki jest tak prosta a stawiane im zadania tak elementarne, aby kontrolę ich wykonania dało się sprowadzić do kontroli różnicy między sygnałami wejściowym i wyjściowym.

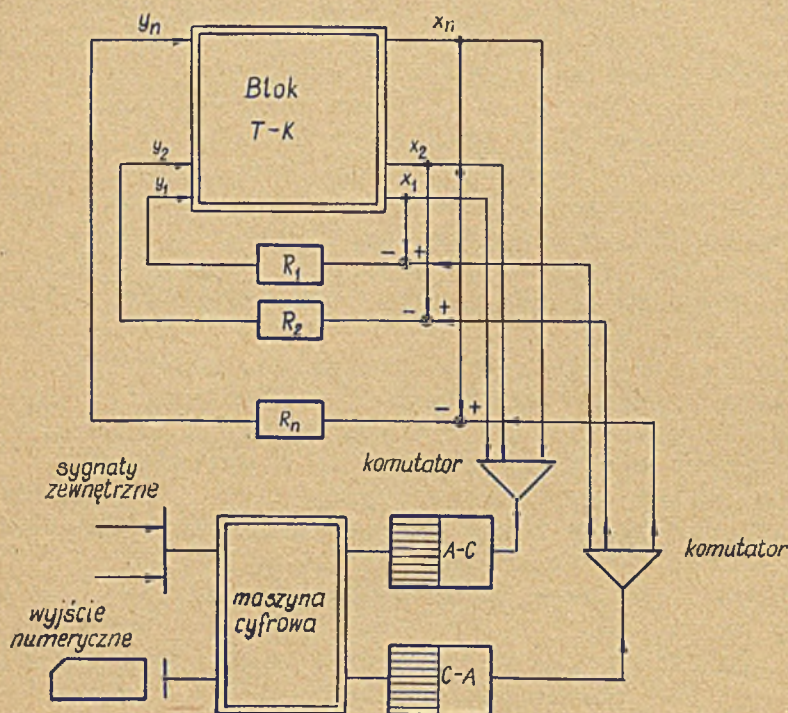
Rozpatrzmy na przykład zagadnienie automatycznego prowadzenia pracy bloku energetycznego turbogenerator-kościół w sposób ekonomicznie optymalny.

Schemat blokowy odpowiedniego układu jest przedstawiony na rys. 4.

W tym przypadku: po pierwsze, mamy nie jeden a około 300 sygnałów wyjściowych oznaczonych na rysunku macierzą; po drugie, istotną dla nas odchyłkę od poziomu optymalnego nie można już ustalić przez bezpośrednie porównanie poszczególnych sygnałów wyjściowych z jakimiś ustalonymi poziomami odniesienia, ale sygnał, który można by ewentualnie porównać należy wprawdzie obliczyć, dokonując na sygnałach wyjściowych, skomplikowanych nierzadko operacji matematycznych według wzorów definiujących przyjęte wskaźniki ekonomiczne; po trzecie, otrzymany wynik należy porównać nie tylko z wskaźnikami zadanymi ale i z wynikami poprzednimi tak, aby zbiór rozkazów jaki zostanie wysłany do obiektu utrzymywał jego pracę wciąż na optymalnym poziomie.

Tego zbioru operacji już nie można, lub ściślej byłoby niezwykle trudno, przeprowadzić metodami analogowymi. O ile bowiem różniczkowanie i całkowanie są do realizacji w układach analogowych stosunkowo łatwe, o tyle na-

wet proste operacje arytmetyczne jak mnożenie czy dzielenie nie są w nich bardzo trudne do przeprowadzenia, jako zupełnie obce naturalnym własnościom tych układów.



Rys. 4. Schemat blokowy układu automatyki bloku energetycznego turbogenerator - kocioł

O wiele prostsze staje się w takim przypadku zastosowanie cyfrowych układów liczących.

3. Układy cyfrowe

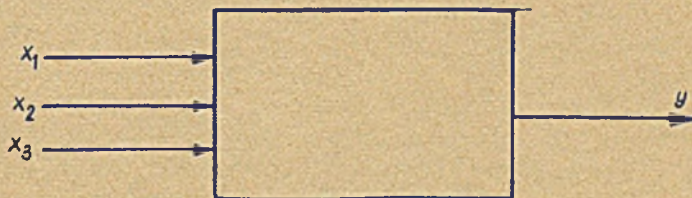
W układach analogowych interesujące nas wielkości fizyczne np. ciśnienia, temperatury, siły, reprezentowane są przez inne wielkości fizyczne odpowiednio dobrane np. napięcia czy prądy modelujących obwodów elektrycznych.

W układach cyfrowych wszystkie interesujące nas wielkości reprezentowane są liczbami. Dlatego, podstawowym problemem takich układów jest zagadnienie technicznego przedstawiania liczb. Dziś, powszechnie w tych zagadnieniach stosowany jest dwójkowy system liczenia. Pozwala on bowiem na technicznie najprostszą reprezentację liczb. Dla przedstawienia dowolnej liczby w układzie dwójkowym potrzeba bowiem minimalnej ilości różnych rodzajów symboli - mianowicie tylko dwóch. Tymi dwoma symbolami są najczęściej:

- a) w elektromechanicznych i większości elektronowych i tranzystorowych maszyn cyfrowych - brak lub obecność prądu czy napięcia w określonych obwodach elektrycznych,
- b) w pneumatycznych układach cyfrowych - brak lub obecność ciśnienia, czy przepływu w określonych miękroobwodach pneumatycznych.

Ogólnie można powiedzieć, że w technicznych układach cyfrowych dwie podstawowe cyfry dwójkowego systemu liczenia reprezentowane są stanem pobudzenia i stanem braku pobudzenia określonych obwodów lub elementów operacyjnych^{x)}.

Przykładowo, prosty układ cyfrowy o trzech wejściach i jednym wyjściu można przedstawić schematem blokowym zamieszczonym na rysunku 5. Na tym rysunku x_1 , x_2 , x_3 - oznaczają sygnały wejściowe, a y - sygnał wyjściowy.



Rys. 5. Schemat blokowy technicznego układu cyfrowego o 3 wejściach i 1 wyjściu

^{x)} Wyjątek stanowią tu układy oparte na rozróżnianiu zgodnej i przeciwnej fazy napięcia sinusoidalnego.

Wszystkie te sygnały, a więc zarówno wejściowe jak i wyjściowy mogą przybierać tylko jedną z dwóch standardowych wartości odpowiadających odpowiednio dwom podstawowym stanom elementów cyfrowych a mianowicie stanowi pobudzenia i stanowi braku pobudzenia.

O specyfice działania określonego układu cyfrowego decyduje to, jaka kombinacja stanów wejść powoduje określony stan wyjścia. Może więc być taki układ, którego wyjście znajdzie się w stanie pobudzenia wtedy i tylko wtedy gdy wszystkie sygnały wejścia zostaną pobudzone. Taki układ realizuje operację iloczynu logicznego.

Może być również i inny układ, w którym wyjście znajduje się w stanie niepobudzenia, wtedy i tylko wtedy, gdy wszystkie wejścia będą w stanie niepobudzenia. Taki układ realizuje operację sumy logicznej.

Może być jeszcze inny bardzo prosty układ o jednym tylko sygnale wejściowym i jednym tylko sygnale wyjściowym znajdującym się stale w stanach przeciwnych. Wejście pobudzone - wyjście niepobudzone i na odwrót. Taki układ realizuje operację negacji.

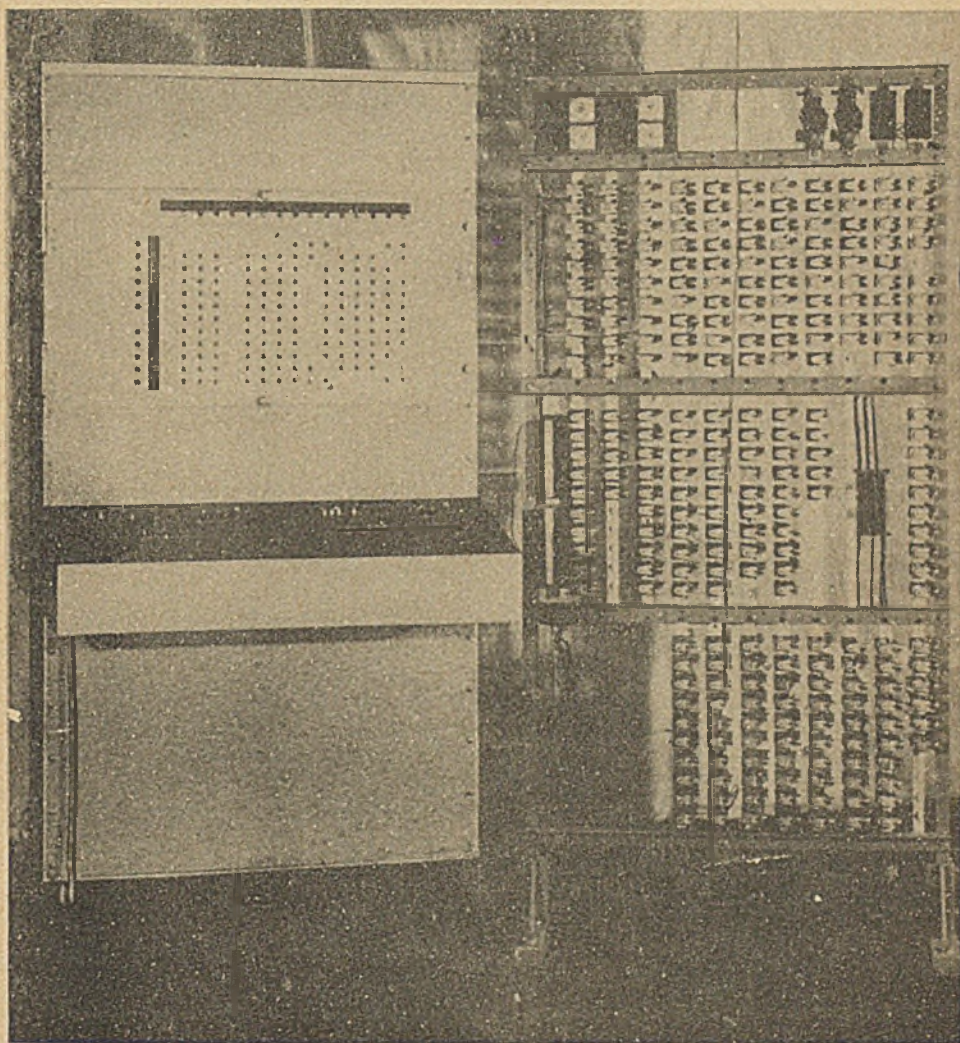
Trzy wymienione proste układy odpowiadają trzem podstawowym operacjom formalnej logiki matematycznej. Z takich układów można, łącząc odpowiednie wyjścia jednych z wejściami innych, budować systemy złożone, zdolne do dokonywania na liczbach układu dwójkowego podstawowych operacji arytmetycznych a więc przede wszystkim dodawania, odejmowania, mnożenia oraz pewnych operacji logicznych. Na takich właśnie koncepcjach strukturalnych i technicznej realizacji przekaźnikowej oparto się przystępując dwa lata temu w Politechnice Śląskiej do budowy małej maszyny cyfrowej.

Fotografia rys.6 przedstawia jej całość znajdującą się obecnie w końcowym stadium montażu.

Trzema podstawowymi zespołami tej maszyny są: pamięć, arytmometr i układ sterujący.

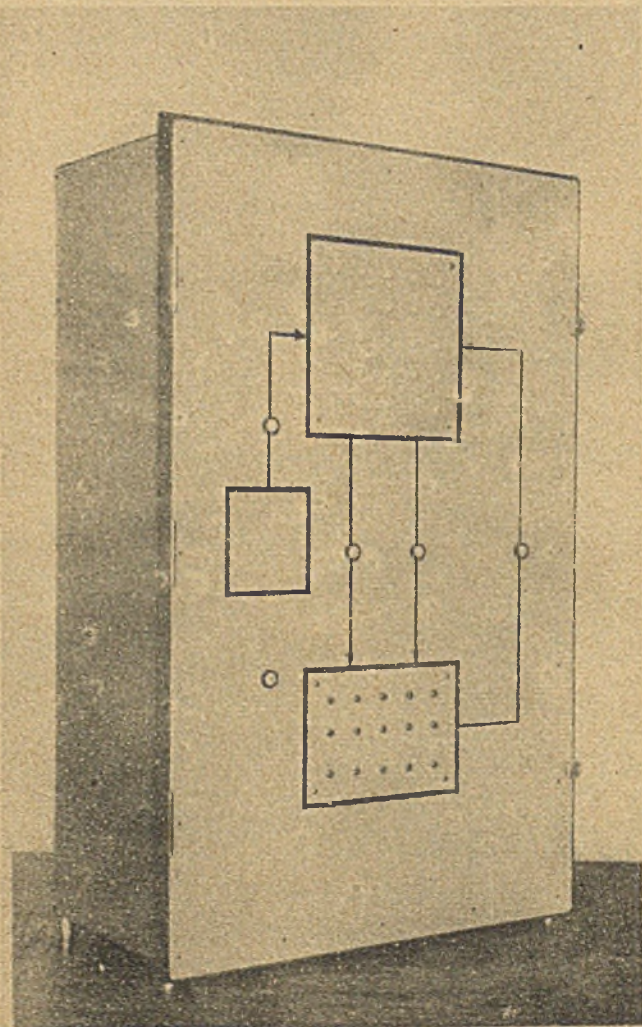
Pamięć jest zbiorem 12 rejestrów. Każdy z rejestrów to układ zdolny do przyjęcia i zapisania 16 cyfrowej liczby, przechowania jej i podania w dowolnej chwili na rozkaz zewnętrzny.

Arytmometr jest natomiast układem zdolnym do dokonywania na liczbach 16 cyfrowych następujących operacji: dodawania, odejmowania, mnożenia, dodawania logicznego, pozycyjnego mnożenia logicznego i przesuwania liczby o jedno miejsce w prawo i w lewo.



Rys.6. Fotografia małej maszyny cyfrowej Politechniki Śląskiej

Praca maszyny polega na ciągłej współpracy pamięci i arytmometru. Dane wprowadzone uprzednio do pamięci, przesyłane są następnie kolejno do arytmometru, a zaszyfrowane rozkazy do układu sterującego, który powoduje przeprowadzenie na nich w arytmometrze przewidzianych operacji matematycznych. Wyniki obliczeń pośrednich odsyłane są z powrotem do pamięci aby arytmometr mógł z nich, jeśli zajdzie potrzeba, skorzystać w dalszym toku obliczeń. Wynik obliczenia końcowego zostaje odesłany i zanotowany w z góry wyznaczonym rejestrze pamięci, a jednocześnie maszyna zostaje zatrzymana.



Rys. 7. Doświadczalny regulator cyfrowy

Na podobnej zasadzie współpracy pamięci i arytmometru działają regulatory cyfrowe. Fotografia takiego doświadczalnego regulatora cyfrowego przedstawiona jest na rys.7.

Maszynom i regulatorom cyfrowym można powierzać już wykonanie i kontrolę nieporównywalnie bardziej skomplikowanych zadań aniżeli klasycznym analogowym węzłom sumacyjnym. Ale czy podstawowe zasady stosowane w konstrukcjach współczesnych maszyn cyfrowych są jedyne i czy najlepsze? Czy nie można by uzyskać rozwiązań doskonalszych opierając się na jakichś innych, istotnie różnych, zasadach podstawowych?

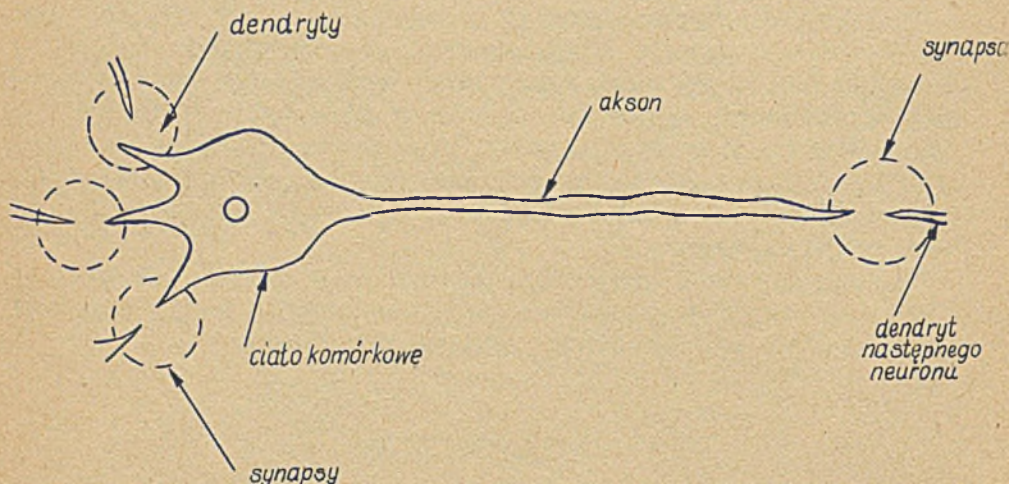
Do takich refleksji skłaniają studia nad strukturą sieci nerwowych organizmów żywych a przede wszystkim nad strukturą sieci nerwowej i mózgu człowieka.

4. Sieci neuronowe

System nerwowy człowieka składa się z wzajemnie ze sobą powiązanych komórek nerwowych zwanych neuronami. Podstawowym zadaniem neuronu jest przyjmowanie pobudzeń zewnętrznych, wytwarzanie pod ich wpływem własnych impulsów nerwowych i przesyłanie ich do odpowiednich punktów naszego organizmu, którymi mogą być bądź to zakończenia innych neuronów, bądź też komórki wykonawcze mięśni czy gruczołów. Budowę neuronu ilustruje rys.8.

Neuron składa się z ciała komórkowego, z którego bierze początek jedno lub więcej włókien nerwowych zwanych aksonami oraz zazwyczaj krótkie wypusty zwane dendrytami. Stosując terminologię techniczną powiedzielibyśmy, że dendryty to wejście neuronu, a akson to jego wyjście. Aksony (wyjścia) sąsiednich neuronów oddziałują bowiem w punktach zwanych synapsami na dendryty (wejścia) danego neuronu mogą wprowadzić go w stan pobudzenia. Wzbudzony neuron wytwarza impuls nerwowy, rozchodzący się wzdłuż aksonu, aż do jego końca, synapsu, gdzie następuje przekazanie pobudzenia następnemu neuronowi. Impuls wytworzony przez neuron w stanie pobudzenia, ma zawsze tę samą, można powiedzieć standardową postać bez względu na przyczyny, które doprowadziły do jego powstania. Jest to mianowicie zaburzenie o charakterze elektromechaniczno-chemicznym rozchodzące się z prędkością od 1 do 100m na sekundę wzdłuż aksonu. Zakłócenie to ma zazwyczaj po-

tencjał około 50 miliwoltów i trwa mniej więcej jedną milisekundę. Jednocześnie zmienia się stan jonowy płynu

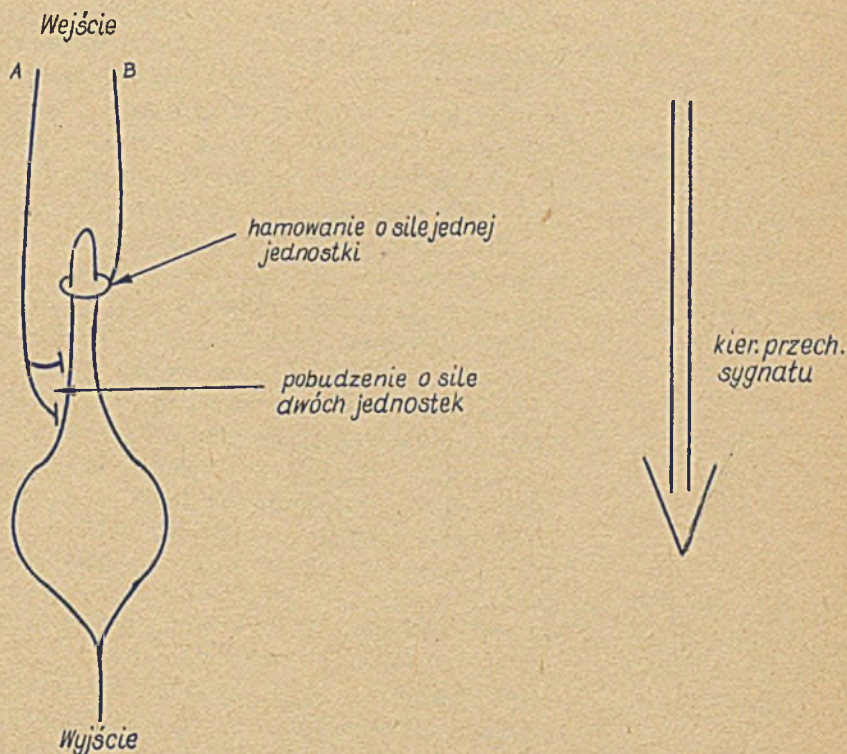


Rys. 8. Budowa neuronu

wewnątrzkomórkowego, elektrochemiczne własności ścianki aksonu (membrany) oraz następuje mechaniczna reorientacja jej molekuł. Po dojściu impulsu do końca aksonu, synapsy, pojawiają się tam pewne specyficzne substancje, które oddziałują na dendryty sąsiadujących neuronów. Zmiany występujące w stanie pobudzenia neuronu są odwracalne; po przejściu impulsu akson i jego części składowe wracają do pierwotnego stanu niepobudzenia. Funkcjonowanie neuronu charakteryzuje się więc, podobnie jak funkcjonowanie elementów technicznych układów cyfrowych występowaniem tylko dwóch wyróżnionych stanów: stanu pobudzenia i stanu niepobudzenia.

W publikacjach z prac badawczych z neuroanatomii, prowadzonych obecnie bardzo intensywnie w wielu laboratoriach badawczych elektroniki i automatyki przyjęto na oznaczenie neuronu symbol przedstawiony na rys.9. Synapsy oznacza się na tych schematach przez kreski lub kółka. Kreska to synaps pobudzający, któremu można przypisać jedną dodatnią jednostkę pobudzenia, kółko to synaps hamujący, któremu można przypisać jedną ujemną jednostkę pobudzenia.

Pobudzenie neuronu następuje wtedy, gdy arytmetyczna suma pobudzeń składowych stanie się równa lub większa od pewnej specyficznej dla każdego neuronu wartości zwanej



Rys. 9. Symbol neuronu

jego wartością progową. Jeżeli na przykład dla neuronu przedstawionego na poprzednim rysunku wartość progowa będzie równa 2, to jego pobudzenie nastąpi wtedy i tylko wtedy, gdy zostanie pobudzony akson A, a nie będzie pobudzony akson B. A zatem pobudzenie neuronu następuje tylko przy zaistnieniu pewnej ściśle określonej kombinacji logicznej stanów aksonów A i B.

Na rysunku 10 przedstawiony jest neuron również o wartości progowej równej 2, który realizuje operację iloczynu logicznego. Istotnie, jego pobudzenie nastąpi tylko wtedy gdy zostaną jednocześnie pobudzone aksony A i B.

Tylko wówczas bowiem arytmetyczna suma pobudzeń osiągnie wartość progową, równą 2. Układy sieci neurowych wykazują więc wiele analogii ze strukturą technicznych cyfrowych sieci logicznych.



Rys. 10. Neuron realizujący operację iloczynu logicznego

Między współczesnymi technicznymi układami cyfrowymi, a systemem nerwowym rozpatrywanym z punktu widzenia jego budowy jako układu liczącego istnieją też różnice dotyczące przede wszystkim rozmiarów, zakresu czynności, konstrukcji organów pamięci oraz ogólnej struktury logicznej.

Chciałbym tu tylko wyjaśnić co rozumiem przez różnice w ogólnej strukturze logicznej. Chodzi o to, że maszyny cyfrowe operują liczbami zapisywanymi obecnie w systemach pozycyjnych. Zgubienie w takim systemie choćby jednego impulsu, może zmienić całkowicie znaczenie wyniku i doprowadzić do kompletnego nonsensu. Wydaje się, że w systemie nerwowym, jeśli nie w całym to przynajmniej w jego części realizującej operacje logiczne, informacje przekazywane są nie pozycyjną strukturą sygnału ale jego własnościami statystycznymi, sygnały są okresowymi lub prawie okresowymi ciągami impulsów. Obniża to wprawdzie poziom dokładności

ale zwiększa znacznie poziom niezawodności. Zgubienie impulsu lub jego "omyłkowe" przestawienie tylko nieznacznie zniekształca wynik. Istotnym jest również to, że z częścią systemu nerwowego o charakterze cyfrowym łączy się i współpracuje wiele elementów analogowych oraz to, że w niektórych przypadkach sam stan nerwowy ujawnia również pewne cechy analogowe.

W każdym razie, trudno dziś pomyśleć o rozpoczęciu jakichś poważniejszych badań z neuroanatomii, a nawet z pewnych dziedzin fizjologii bez znajomości tych dyscyplin naukowych, które składają się na teorię automatyki, teorię maszyn liczących i technicznych układów cyfrowych.

I to jest chyba dotąd zjawisko w swoim rodzaju bez precedensu gdy podstawowe dyscypliny naukowe nowoczesnej techniki stają się jednocześnie podstawą i wytyczają

kierunek badań nad strukturą naszego systemu nerwowego. Wyniki tych badań służą przy tym nie tylko wzbogaceniu wiedzy medycznej ale wnoszą również wiele nowych idei budowy urządzeń technicznych, które zastąpiłyby człowieka wszędzie tam, gdzie to będzie potrzebne i możliwe.

Biorąc to wszystko pod uwagę, kolejno drugą, znajdującą się zresztą już w trakcie montażu maszynę cyfrową Politechniki Śląskiej zaprojektowano tak, aby posiadała jak największą elastyczność i jak największy zakres możliwości nie tylko wykonywania operacji cyfrowych, ale przede wszystkim logicznych oraz zdolność odtwarzania pewnych cech systemu nerwowego np. odruchów warunkowych czy adaptacji.

Będzie to maszyna tranzystorowa o wciąż jeszcze skromnej ilości elementów wynoszącej około 300. Sądzimy, że będzie ją można uruchomić w przyszłym roku.

Rękopis złożono w Redakcji w dniu 17.12.1963r.