

Mgr inż. Jacek Karpiński

Stan obecny i perspektywy rozwojowe maszyn analogowych

Cześć ogólna

Na wstępie chciałbym zaznaczyć, że nie reprezentuję oficjalnych opinii IPPT PAN. Przemawiam we własnym imieniu, tak jak i inni referenci.

Omawiając sprawy maszyn analogowych znajduję się w niezbyt dobrej sytuacji; do trudności przewidywania zmian procesów technicznych, oraz problemów ekonomicznych - co jest równie skomplikowane jak w kwestiach dotyczących maszyn cyfrowych - dochodzi aspekt niedoceniań systemów analogowych, negowanie ich wartości przez wielu działaczy zajmujących się zagadnieniami maszyn matematycznych w Polsce. Zjawisko to - moim zdaniem dziwne a szkodliwe, pozwolę sobie nazwać antypropagandą maszyn analogowych w naszym kraju.

W związku z tym warto poruszyć temat istoty maszyn analogowych i celowości ich stosowania.

Utarło się dzielić maszyny matematyczne na analogowe i cyfrowe. Prawdopodobnie w niedługim czasie podział ten będzie wydawał się sztuczny, na razie on istnieje. Mało kto zadaje sobie pytanie według jakich kryteriów dokonuje się tego podziału. Czy chodzi o technikę, czy o filozofię działania. Czy różniczkowe analizatory cyfrowe są maszynami analogowymi czy cyfrowymi. W najbliższej przyszłości powstaną nowe systemy maszyn matematycznych, przetwarzające informacje podane w formie dyskretnej w sposób ciągły - podobnie jak dzieje się to w maszynach analogowych. Elementy tych maszyn będą podobne dostosowanych w maszynach cyfrowych a przecież idea będzie bliższa systemom analogowym.

Co charakteryzuje "klasyczne" maszyny analogowe. System ciągłego przedstawiania informacji /np. wielkość prądu, napięcia itp. zawarta w pewnym przedziale/, oraz bezpośredni system przetwarzania tych informacji. Można powiedzieć, że na ogół rozwiązaniem problemu jest obraz stanu dynamicznego układu analogowego.

Jeśli chodzi o konstrukcję, to maszyny analogowe charakteryzują się niezwykle trudną technologią. O wiele trudniej zbudować jest dobrą maszynę analogową, niż dobrą maszynę cyfrową. Mówię w tym wypadku o maszynie jako takiej, nie o urządzeniach peryferyjnych maszyny cyfrowej, które to urządzenia pod względem technologicznym stoją na takim samym poziomie trudności jak maszyny analogowe. Pisak jest tak samo trudno zrobić w maszynie analogowej, jak dobry czytnik czy urządzenia do taśmy magnetycznej.

Nie można powiedzieć, że wszystko będziemy drukować, a nie będziemy używać ołówka jako urządzenia bardzo prymitywne-go. Naturalnie tam gdzie należy drukować, nie będziemy wypisywać ręcznie i kaligrafować, ale czasami dobrze i użyć ołówka. Podobnie z maszynami cyfrowymi i analogowymi.

Podstawową cechą maszyny analogowej jest to, że rozwiązując problem na maszynie analogowej możemy wyczuć ten problem, możemy się zbliżyć do poznania stanu dynamicznego badanego układu.

A więc przede wszystkim maszyny analogowe powinny być stosowane dla wstępnego rozpoznawania problemu przede wszystkim do analizy jakościowej. Jest podstawowym błędem stosowanie maszyn analogowych jako urządzenia wyliczającego, np. do rozwiązywania równań algebraicznych. To jest po prostu błędne zastosowanie. Natomiast jeśli chodzi o zbadanie charakterystyki dynamicznej jakiegoś obiektu przemysłowego czy układu sterowania, który potem może być wyliczony dokładnie przy pomocy urządzeń cyfrowych do rozpoznania wstępnego - kolosalne usługi oddaje maszyna analogowa.

Stosunek nakładów na świecie na maszyny cyfrowe i analogowe jest jak 10:1 po pierwsze dlatego, że zakres zastosowań maszyn cyfrowych jest absolutnie większy i szerszy i po drugie dlatego, że maszyny cyfrowe są o wiele droższe. Tym niemniej pozostaje te 10 czy 20% pewnych zastosowań, gdzie należy koniecznie stosować właśnie maszyny analogowe i pomijanie ich przy planowaniu rozwoju naszej techniki i gospodarki w Polsce jest podstawowym błędem i niestety ten błąd był powtarzany w ostatnich latach w Polsce uporczywie.

Maszyny analogowe można podzielić na tzw. klasyczne,

następnie na urządzenia specjalne, mieszane, analogowo-cyfrowe, tzw. hybrydy i na trzecią klasę, tzn. na maszyny analogowo-cyfrowe, które powstaną w niedalekiej przyszłości.

*proszę
ns*

Jaki jest stan obecny na świecie?

Mniej więcej 15 lat temu zaczął się gwałtowny rozwój zastosowań i produkcji maszyn analogowych szczególnie w Stanach Zjednoczonych, następnie bardzo szybko w Związku Radzieckim i we wszystkich innych krajach. W tej chwili maszyna analogowa jest po prostu normalnym narzędziem pracy inżyniera czy pracownika naukowego badawczego w laboratoriach, jest podstawowym elementem szkolenia na uniwersytetach.

Niestety, nie wiem jak to się przedstawia w Związku Radzieckim natomiast znam dość dokładnie te sprawy w Stanach Zjednoczonych, gdzie przebywałem przez rok niemal na wszystkich uniwersytetach. *czy nie przesada!*

Maszyny analogowe w Stanach Zjednoczonych przeszły już swój burzliwy rozwój i dawno już instytucje naukowe nie zajmują się zwykłymi maszynami analogowymi. Trzeba sobie powiedzieć wyraźnie, że nie ma problemów naukowych w konstrukcji maszyn analogowych klasycznych, są natomiast w dalszym ciągu problemy technologiczne. Maszyny analogowe mają kolosalne zastosowanie na uczelniach wyższych, gdzie jest tam po kilkanaście i po kilkadziesiąt sztuk tych maszyn w różnych katedrach, w każdym uniwersytecie czy politechnice, gdzie służą one do wdrażania studenta w pewien specyficzny sposób myślenia. Przede wszystkim chodzi tu o umożliwienie studentowi zapoznania się z tym co nazywamy stosowaną matematyką. W Stanach Zjednoczonych coraz mniej zwraca się uwagi na biegłe rozwiązywanie układów równań różniczkowych i całkowych, natomiast zwraca się uwagę na zrozumienie tych zagadnień i na posługiwanie się przy ich rozwiązaniu maszynami analogowymi i cyfrowymi.

Pierwsze zastosowanie - to jest kształtowanie umysłu studenta, inżyniera.

Druga grupa zastosowań, to symulacja skomplikowanych układów i procesów technologicznych w laboratoriach i fabrykach. Wydaje nam się, że jeszcze długo nie będziemy mieli narzędzia tak doskonałego jak właśnie symulatory analogowe. Używa się ich zarówno w przemyśle chemicznym, jak i metalowym, a głównie w lotniczym. Nowe typy samolotów badane są na symulatorach analogowych. Np. centrum obliczeniowe sił lotniczych Stanów Zjednoczonych /na północy stanu New York posiada centrum analogowe, gdzie maszyna ma w sumie około 1.500 wzmacniaczy analogowych. Maszyna ta została oddana do użytku dopiero w r.1961 i jest ciągle udoskonalana. Nie sądzę, byśmy osiągnęli ten poziom w ciągu najbliższych 10 lat.

W Stanach Zjednoczonych, w latach 1961-64 przeznaczona sumę ponad 100 milionów dolarów.

Wzrost nakładów jest tutaj większy procentowo - niż na rozwój w dziedzinie maszyn cyfrowych, a bezwzględnie większy, niż np. na rozwój telewizji przemysłowej czy badań elektromedycznych.

Na pewno byłbym dość niepopularny, gdybym tutaj charakteryzował stan obecny w Polsce, ponieważ poczyniliśmy wszyscy dość duże podstawowych błędów. W każdym razie powiedzieć trzeba jedno, że tak jak praktycznie nie istnieje zastosowanie maszyn cyfrowych w Polsce /bo to że jest akurat kilka czy kilkanaście takich maszyn to nie można nazywać zastosowaniem/, tak praktycznie nie istnieje wogóle zastosowanie maszyn analogowych. Jeśli chodzi o konstrukcję, to jest kilka modeli, które zostały wyprodukowane ale trudno na tej podstawie powiedzieć, że mamy rozwiniętą konstrukcję czy technologię maszyn analogowych. To jest strata, niestety o jakieś 15 lat spóźniony. Naturalnie nie ma co tutaj płakać, że jest tak a nie inaczej, tylko trzeba możliwie zmienić po pierwsze - nastawienie czynników decydujących w tej sprawie, a po drugie - stworzyć możliwości do zmiany tego stanu rzeczy możliwie szybko. W tej chwili w kraju istnieją właściwie 4 ośrodki

bardzo skromne zatrudniające po kilku, ewentualnie po kilkunastu ludzi, zajmujące się konstrukcją maszyn analogowych i istnieje kilka ośrodków stosujących maszyny analogowe, głównie zresztą importowane. A więc jeśli chodzi o zastosowanie, to jesteśmy - jak powiadam - opóźnieni około lat 15, a jeśli chodzi o koncepcję, o konstrukcję - to o lat kilka. Naszą bodajże najnowocześniejszą konstrukcją jest tranzystorowy AKAT-1 z roku 1959. W tej chwili mamy rok 1962 i w międzyczasie powstały lepsze i doskonalsze koncepcje i rozwiązania technologiczne.

Jeśli chodzi o propozycję w sprawie rozwoju konstrukcji i zastosowań maszyn analogowych, to - jak wspomniałem - w klasycznych maszynach nie ma problemów naukowych, toteż nie ma powodu, żeby jakakolwiek instytucja naukowa, a szczególnie Akademia Nauk, zajmowała się sprawami konstrukcyjnymi maszyn analogowych. Sprawy konstrukcyjne i produkcyjne powinny przejść do fachowców z konstrukcji i technologii. W tym celu należy stworzyć możliwie szybko przynajmniej jeden, przemysłowy zakład konstrukcyjny i produkcyjny w zakresie maszyn analogowych, który by możliwie szybko na podstawie dotychczasowych osiągnięć polskich i materiału informacyjnego z zagranicy stworzył moduły analogowe, a więc elementy podstawowe, z których składa się maszyna analogowa, produkował je w dostatecznej ilości, ażeby zapewnić możliwość budowy specjalistycznych urządzeń dla symulacji przemysłowej oraz żeby zapewnić możliwość produkcji kilka typów bardziej rozbudowanych maszyn dla prac naukowych. Poza tym ten zakład powinien produkować jeden typ średniej wielkości wzmacniaczy maszyny analogowej bardzo łatwej w obsłudze, dla użytku biur konstrukcyjnych i technologicznych. Po to, ażeby taki zakład mógł produkować maszyny, należy skłonić nasz przemysł elektroniczny, ażeby produkował podstawowe elementy dla produkcji tych maszyn. Poza elementami dotychczas produkowanymi głównie brakuje nam tranzystorów krzemowych: w tej

chwili nie ma sensu budować maszyn analogowych lampowych.

Sferą szczególnie interesującą pod względem zastosowań maszyn analogowych są problemy, gdzie dokładność wymagana jest nie większa niż 1-2%. To, że są maszyny analogowe o dokładności jednej setnej procenta - niczego nie dowodzi, takie maszyny są nieopłacalne. Zagadnienie, gdzie w grę wchodzi dokładność, należy powierzyć maszynom cyfrowym. W większości problemów analogowych dokładność 2% czy nawet 5% jest zupełnie wystarczające. Chodzi głównie o poznanie charakterystyki przebiegu, poznanie charakterystyki dynamicznej problemu. A więc produkcja maszyny dokładności podstawowej 1% czy 2% jest wystarczająca, Nas w tej chwili nie stać na wyprodukowanie maszyn o dokładności 1/10% ponieważ po prostu wszystkie elementy musielibyśmy importować do takiej maszyny.

Następnie - trzeba stworzyć 3-4 wzorcowe ośrodki obliczeniowe w zakresie maszyn analogowych. Rozumiem, że powinny to być przede wszystkim ośrodki przemysłowe. Byłby pożądanym jeden ośrodek w Akademii Nauk wyposażony w dużą uniwersalną możliwie dokładną maszynę analogową, którą trzeba sprowadzić z zagranicy. Taki ośrodek PAN powinien się skoncentrować na rozwijaniu specjalnych technik zastosowań maszyn, np. szybko repetycyjnych, które mają do kilkudziesięciu tysięcy repetycji na sekundę, gdzie można by rozwiązywać pewne zagadnienia w zakresie równań różniczkowych cząstkowych metodami repetycyjnymi.

Należałoby się w tym ośrodku skoncentrować na współpracy z urządzeniami cyfrowymi. Chodziłoby o zbadanie możliwości zastosowań układów hybrydowych.

Tutaj powinien leżeć główny ciężar zainteresowań Akademii Nauk.

Uwagą następną byłoby, że nie należy się obawiać stworzenia nawet kilku grup pracujących nad podobnymi problemami. Analiza doświadczeń zagranicznych wskazuje, że taka "konkurencja" daje dobre wyniki, a wprost przeciwnie - monopolizacja

wiedzy i monopolizacja konstrukcji i produkcji może dać bardzo opłakane skutki.

Następna sprawa - to sprawa kadr. Tu nie tylko chodzi o nauczenie ludzi posługiwania się maszynami analogowymi, ale przede wszystkim należy zapoznać fachowców, specjalistów z przemysłu z możliwościami maszyn analogowych. Doświadczenia w tym zakresie jednej z firm amerykańskich specjalizującej się w konstrukcjach i elementach lotniczych, gdzie gros zagadnień było natury analogowej, wskazują, że ludzie w tej firmie nie wiedzieli o możliwościach zastosowań maszyn analogowych i wszystkie zagadnienia par excellence analogowe były liczone na maszynach cyfrowych. Dopiero zorganizowanie specjalnych kursów zmieniło sytuację i ekonomiczność tego zakładu wzrosła, jak również jego operatywność.

A więc należy pouczać ludzi jak można pewne zagadnienia dotychczas rozwiązywane w ogóle prawie bez użycia maszyn lub metodami rachunkowymi na papierze - w sposób łatwy i ekonomiczny rozwiązywać przy pomocy urządzeń analogowych. Trzeba organizować kursy i seminaria dla przemysłu i biur konstrukcyjnych, ale żeby organizować kursy i seminaria, trzeba mieć maszynę. Nie można pouczać tylko teoretycznie; trzeba pokazać.

Maszyna analogowa powinna stać się tak elementarnym narzędziem jak suwak i arytmometr.

Część szczegółowa

Spośród różnego rodzaju maszyn analogowych najszersze zastosowanie znalazły obecnie elektroniczne maszyny analogowe, działające na zasadzie realizacji elektrycznej określonych działań matematycznych w odniesieniu do dozwolonych funkcji.

Dzięki odpowiednim połączeniom można na maszynie analogowej zamodelować pewne typy równań o zadanych współczynnikach względnie zależnościach funkcyjnych, a następnie,

badając przebiegi prądów i napięć w odpowiednich "punktach" maszyny, odczytać przebieg poszukiwanej funkcji lub jej wartość w danym "punkcie". Przez zmianę parametrów równania można z łatwością znaleźć rodzinę charakterystyk, co daje bezpośrednią informację dotyczącą wpływu parametrów lub nieliniowości w równaniu na przebieg rozwiązania.

Na podstawie teorii analogii, pozwalającej przedstawić określone zjawiska fizyczne w postaci schematów elektrycznych istnieje możliwość rozwiązywania wielu zagadnień tylko w oparciu o znajomość elektrycznych schematów zastępczych bez matematycznego opisu badanego zagadnienia.

Z punktu widzenia rodzajów rozwiązywanych zagadnień maszyny analogowe można podzielić na następujące kliszy:

- a/ maszyny analogowe do rozwiązywania zagadnień opisanych równaniami różniczkowymi zwyczajnymi - liniowymi i nieliniowymi;
- b/ analizatory siatkowe przeznaczone do rozwiązywania zagadnień opisanych równaniami różniczkowymi cząstkowymi
Równanie Laplacea Poissona, biharmoniczne, przewodnictwa cieplnego, falowe;
- c/ maszyny analogowe specjalne przeznaczone do rozwiązywania wąskiej klasy zagadnień /jak np. korelatory, autokorelatory, analizatory równań algebraicznych/.

Z punktu widzenia sposobu przygotowania problemu maszyny analogowe można podzielić na kalkulatory - wymagające matematycznego sformułowania zagadnienia, oraz symulatory - których praca polega na modelowaniu badanych układów, pozwalając na badanie zachowania się ich w określonych warunkach/ np. modelowanie lotu samolotu, modelowanie procesów technologicznych itp/.

Z punktu widzenia zastosowania techniki przy budowie maszyn analogowych dzielimy je na lampowe, tranzystorowe i magnetyczne.

Wskaz. Do najszerszej stosowanej klasy maszyn analogowych należą maszyny do rozwiązywania równań różniczkowych zwyczajnych, przy czym w zależności od czasu rozwiązania dzielimy je na maszyny asymptotyczne - działające wolno, umożliwiające rozwiązywanie zagadnień w rzeczywistej skali czasowej oraz maszyny repetycyjne - działające szybko, w których rozwiązanie powtarzane jest wielokrotnie od kilku do kilkuset razy na sekundę.

Podstawowymi elementami analizatorów równań różniczkowych zwyczajnych są określone jednostki zwane modułami, które przeznaczone są do wykonywania odpowiednich działań matematycznych. Tak np. jako podstawowe uważa się moduły: sumujący, działający na zasadzie prawa sumowania prądów lub napięć elektrycznych na wejściu wzmacniacza operacyjnego, całkujący, w którym wykorzystane jest prawo całkowitej zależności między natężeniem prądu płynącego przez kondensator, a napięciem na tym kondensatorze, moduł mnożący, moduł generatora funkcji, przy pomocy którego można wytwarzać przebiegi elektryczne o dowolnym przebiegu, co pozwala na modelowanie członków nieliniowych w badanym układzie.

Przeznaczone do rozwiązywania równanie modeluje się przez odpowiednie połączenie modułów i bada się na oscylografie lub przyrządzie samopiszącym przebiegu napięć w postaci ciągłego wykresu stanowiącego rozwiązanie.

Moduły wyposażone są we wzmacniacze prądu stałego o bardzo dużym wzmocnieniu z ujemnym sprzężeniem zwrotnym zwane wzmacniaczami operacyjnymi. Wielkość maszyny zależy od ilości wzmacniaczy operacyjnych; małe maszyny mają około 5-20 wzmacniaczy, średnie - kilkadziesiąt, duże - ponad 100. Maszyny małe buduje się z dokładnością 1-5%, maszyny średnie 0,5 - 2%, maszyny duże około 0,1% lub nawet ~~0,1%~~ 0,01%, co jednak niewspółmiernie ze wzrostem dokładności powiększa ich koszt.

ad b/ analizatory siatkowe służą do rozwiązywania zagadnień polowych. Poprzez zamianę rozwiązywanych równań różniczkowych cząstkowych na równania różnicowe, otrzymuje się złożony układ równań algebraicznych, który ma postać analogową do równań opisujących rozkład napięć i prądów w pewnego typu czwórnikach elektrycznych, które realizować można w postaci siatek.

Przez przyłożenie napięć lub prądów o odpowiednich wartościach na brzegach obszaru modelowanego realizuje się warunki brzegowe równania, a przez pomiar napięć lub prądów w poszczególnych punktach siatki otrzymuje się przebieg równania.

ad c/ W maszynach specjalnych wprowadza się dodatkowe określone operacje /jak np. opóźnienie czasowe w korelatorach/ i przez ustalone połączenie modułów uzyskuje się zawężenie zastosowania maszyny do określonego rodzaju operacji, unikając jej programowania. Ostatnio w maszynach specjalnych coraz częściej stosuje się współpracę układów analogowych z cyfrowymi.

Ogólnie, maszyny analogowe stosuje się wszędzie tam, gdzie potrzebne jest szybkie rozwiązanie nie wymagające dokładności /np. powyżej 0,1 + 1% - w automatyce wynoszą przeciętnie 0,5 + 10%/. Dzięki dużej łatwości zmiany programu, przejrzystości obrazu rozwiązania, braku opóźnienia czasowego przy rozwiązywaniu problemów w rzeczywistej skali czasu, możliwości dobierania współczynników równania w celu uzyskania optymalnego rozwiązania, maszyny analogowe mają całkiem określony zakres zastosowań, w których przeważają nad maszynami cyfrowymi.

Wspomniane cechy maszyn analogowych spowodowały ich popularność w następujących rodzajach zastosowań:

a/ dydaktyka - przejrzysty sposób przedstawienia problemów matematycznych i fizycznych, intensywne i skuteczne wdrożenie matematyki do pracy inżynierskiej; np. w ZSRR uczelnie techniczne posiadają po kilkanaście maszyn analogowych;

b/ badania naukowe - jakościowa ocena wpływu poszczególnych parametrów matematycznych procesów "nowych", zag. badań biologicznych, symulacja;

c/ biura konstrukcyjne - przy prowadzeniu prac projektowych i modelowych, optymalizacja rozwiązań, szybkie analizy jakościowe projektów;

d/ automatyka - stosowanie zespołów analogowych w zamkniętych pętlach automatyki, układy samo- adaptacyjne wspólnie z maszynami cyfrowymi, symulatory.

Dlatego też odbiorcami maszyn analogowych jest szkolnictwo, instytuty badawcze, przemysł, medycyna, wojsko i inne.

Oprócz wspomnianych zastosowań duże znaczenie mają zastosowania maszyn analogowych przy współpracy z maszynami cyfrowymi bądź jako maszyny pozwalające na analizę jakościową rozwiązywanego problemu, bądź bezpośrednio współpracując z maszynami cyfrowymi /hybrydy/.

3.4. Charakterystyka eksploatacyjna /niezawodność, gotowość dokładność, obsługa/.

Zagadnienie niezawodności i dokładności maszyn analogowych zależy przede wszystkim od jakości elementów stosowanych w maszynie. W porównaniu do maszyn cyfrowych, maszyny analogowe wymają lepszych i pewniejszych elementów. Dzięki łatwości odczytu poszczególnych fragmentów rozwiązania w różnych punktach maszyny, można łatwo zauważyć ewentualny błąd maszyny i łatwo go zlokalizować.

Porównując analogowe maszyny lampowe z tranzystorowymi należy podkreślić większą pewność działania maszyn tranzystorowych, ich mały gabaryt i dużą ekonomię. Natomiast większą dokładność mają maszyny lampowe ze względu na wyższe napięcie

pracy. Stosowane jednak ostatnio tranzystory krzemowe pozwalają na podwyższenie napięć pracy jednostki maszynowej, a tym samym podwyższenie dokładności maszyn tranzystorowych, dzięki czemu na całym świecie rysują się wyraźny rozwój maszyn tranzystorowych.

Dokładność maszyn analogowych zależy głównie od jakości wzmacniaczy operacyjnych i jakości elementów sprzężenia zwrotnego- oporowo-pojemnościowego. W maszynach asymptetycznych na dokładność maszyny ma duży wpływ tzw. pływanie zera /dryft/ - charakterystyczne dla wzmacniaczy prądu stałego. Dlatego też we wszystkich maszynach symptetycznych stosuje się obecnie układy automatycznej korekcji dryftu.

Ponieważ koszt maszyn analogowych rośnie niewspółmiernie z ich dokładnością, nie opłaca się na ogół obecnie budowa b. dużych maszyn analogowych. Przyszłość maszyn analogowych leży w maszynach małych i średnich, a także w wykorzystywaniu elementów maszyn analogowych przy współpracy z innymi urządzeniami. np. w automatyce z układami cyfrowymi.

Przygotowanie problemu dla maszyny analogowej, łatwość zmiany operacji i parametrów, a przede wszystkim możliwość obserwacji wpływu zmian poszczególnych parametrów na wynik stanowią cenne zalety maszyn analogowych. W maszynach cyfrowych mimo znacznego postępu w dziedzinie automatycznego programowania ustawienie problemu i zmiana operacji jest - szczególnie w pewnych zagadnieniach, jak np. przy rozwiązaniu równań różniczkowych cząstkowych - nadal bardzo uciążliwa.

Kzutuje to w wyraźny sposób na ilość osób niezbędnych do obsługi maszyny. Do obsługi maszyny analogowej potrzebna jest znacznie mniejsza ilość osób niż do obsługi maszyny cyfrowej, jednak kwalifikacja osób obsługujących maszynę analogową powinny być bardziej wszechstronne. Tak np. do obsługi maszyny analogowej średniej wielkości /wraz z konserwacją/ potrzebny jest jeden matematyk lub fizyk, jeden inżynier i jeden technik. W przypadku małych maszyn używanych np. do celów dydaktycznych potrzebna jest zaledwie jedna osoba. Natomiast w przypadku prac naukowych dotyczących rozwiązywania wielu różnorodnych i nowych złożonych problemów, wymagany jest większy zespół.

Zagadnienia konstrukcji i organizacji produkcji

Z punktu widzenia konstrukcyjnego w maszynach analogowych można wydzielić pięć zasadniczych części:

- część operacyjną wykonaną najczęściej w postaci modułowej,
- część programującą /tablica krosownicza/, potencjometry
- część sterująco-kontrolną,
- część odczytującą,
- część zasilającą.

Bardzo ważnym czynnikiem, od którego zależy pewność działania maszyn analogowych, jest jakość połączeń między poszczególnymi układami maszyny. Dlatego też w pracach konstrukcyjnych bardzo duży nacisk położony jest na jakość łącówek i przełączników.

Również wys^{sz}e tolerancje i wymagania dużej stabilności wartości poszczególnych elementów w czasie wymagają ich starzenia i selekcji, co z punktu widzenia organizacji produkcji winno się wziąć pod uwagę.

Powiększenie pewności działania uzyskano ostatnio przez budowę maszyn tranzystorowych, które ponadto dzięki małym rozmiarom są w porównaniu z maszynami lampowymi znacznie prostsze pod względem konstrukcyjnym.

Przeгляд maszyn analogowych produkowanych w krajach kapitalistycznych, ZSRR i pozostałych krajach socjalistycznych.

Maszyny analogowe wykazują w skali światowej wysoki stan stałą tendencję rozwojową przy zrozumiale znacznie większych sumach przeznaczonych na budowę maszyn cyfrowych, procentowy wzrost kwot przeznaczonych na budowę maszyn analogowych przewyższa procentowy wzrost sum przeznaczonych na budowę maszyn cyfrowych. Wynika to z zestawienia "Electronics Market

Tables" na lata 1961, 1962, 1965 /Elektronics I-62/, gdzie w tabeli danych amerykańskich dotyczących spodziewanego przerobu elektronicznego przemysłu amerykańskiego na lata 1962 i 1965 rozwój maszyn cyfrowych zaznacza się wzrostem przerobu 26%, podczas gdy odpowiednio dla uniwersalnych maszyn analogowych wielkość ta wynosi 50% /50 milionów dolarów - 1962 r.; 75 milionów dolarów - 1965 r./, przewyższając całość nakładów na telewizję przemysłową i użytkową, a odpowiadającą kwotom na całość elektronicznego sprzętu medycznego.

Badania amerykańskie na temat opłacalności maszyn analogowych opublikowane w "IRE Transactions on Electronics Computers" /z lutego 1962r/ wykazały celowość budowy małych i średnich maszyn analogowych, których koszty w porównaniu z małymi maszynami cyfrowymi są znacznie mniejsze, zaś niecelowość budowy bardzo dużych maszyn analogowych, których koszt jest porównywalny z kosztem maszyn cyfrowych.

O ile przed rokiem 1960 produkowano na świecie wyłącznie maszyny lampowe, o tyle w ostatnich trzech latach rzbwinęła się znacznie produkcja analogowych maszyn tranzystorowych, które wykazują stałą tendencję rozwojową. Tak np. z produkowanych obecnie maszyn tranzystorowych należy wymienić w USA i Anglii maszyny PACE TR5 i TR10, w ZSRR - MN10 oraz maszyny produkowane przez Siemens Telefunkena, SBA /Societe d'Electronique d'Automatisme/ i inne. Ogólnie, coraz bardziej przeważa tendencja budowy maszyn średnich i małych, z możliwością łączenia ich w większe zespoły. Tak np. w Anglii na 25 typów maszyn produkowanych przez różne firmy w roku 1961 tylko dwie maszyny miały ponad 100 wzmacniaczy operacyjnych /Solatron SC 100 oraz "Simlac", których produkowana obecnie ilość wykazuje tendencję zniżkową.

W krajach socjalistycznych maszyny analogowe produkowane są na szeroką skalę w ZSRR, gdzie oprócz maszyn analogowych średniej wielkości - jak np. 60 - wzmacniaczowej maszyny NM-11, 18-wzm., IPT5; 16-wzm.MN7; MN10- tranzystorowa, MN-14 - duża lampowa, na dużą skalę rozwinięta jest produkcja analizatorów siatkowych; każda z uczelni wyższych oraz Instytuty naukowe posiadają zestawy po kilka maszyn analogowych. W Czechosłowacji produkowane seryjnie są obecnie przez "Teslę" maszyny AP-3 o 64 wzmacniaczach, "Analogon" - o 60 modułach. W innych krajach jak NRD, na Węgrzech budowane są maszyny specjalistyczne, głównie dla potrzeb przemysłu.

Elektroniczne maszyny analogowe w Polsce

Placówki naukowo-badawcze zajmujące się problematyką maszyn analogowych.

Z ważniejszych placówek naukowych zajmujących się tematyką maszyn analogowych należy wymienić:

- a/ Zakład Analogii Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN /ośrodek wiodący/.
 - b/ Wojskowa Akademia Techniczna
 - c/ Zakład Automatyki Politechniki Warszawskiej
 - d/ Instytut Automatyki PAN
 - e/ Instytut Automatyki M.Sz.W. - Wrocław
- /prof. Kożuchowski/

Ponadto w innych ośrodkach jak np. w Instytucie Badań Jądrowych, Instytucie Elektrotechniki, Zakładzie Teletransmisji, Przewodowej Politechniki Warszawskiej, Politechnice Gdańskiej, Politechnice Gliwickiej, w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, Katedrze Automatyki Politechniki Wrocławskiej i innych prowadzone są prace nad maszynami specjalistycznymi lub zastosowaniami maszyn analogowych.

ad a/ Zakład Analogii IPPT prowadzi prace z zakresu konstrukcji maszyn analogowych tranzystorowych oraz układów analogowo-cyfrowych, zastosowań maszyn analogowych, teorii maszyn analogowych.

W zakładzie zatrudnionych przy problematyce maszyn analogowych jest 8 pracowników naukowych i 6 inżynierów.

Dotychczas wykonano:

- Analogowy analizator harmonicznych AAH-I /specjalistyczna maszyna analogowa/ do badania parametrów hydro-meteorologicznych. Maszyna zainstalowana jest w Instytucie Hydro-Meteorologicznym w Warszawie; /80 wzmacniaczy operacyjnych/
- analogową maszynę tranzystorową AKAT-I o 30 modułach przeznaczoną do rozwiązywania problemów naukowych, głównie dla potrzeb Instytutu Podstawowych Problemów Techniki PAN; zadaniem maszyny jest rozwiązywanie zagadnień z różnych dziedzin nauki w celu jakościowej oceny problemu określenia przydatności maszyn analogowych do prac naukowych;
- analizator siatkowy na 1240 węzłów do rozwiązywania zagadnień polowych występujących w problematyce naukowej;
- przelicznik analogowo-cyfrowy - stanowiący podstawę dla maszyn analogowo-cyfrowych.

Plany dalszych prac: opracowanie tranzystorowej maszyny analogowej o pracy asymptotycznej /ciągłej jedno-krokowej i repetycyjnej AKAT-II przeznaczonej dla rozwiązywania zagadnień naukowych, problemów automatyki oraz celów dydaktycznych. Planowane jest przekazanie "modułów" tej maszyny do produkcji w Zakładzie "Energopomiar" - Wrocław lub w Zakładach "Elwro". Ponadto przewiduje się rozwój prac nad zastosowaniami analizatorów siatkowych i maszyn analogowych, oraz prace nad układami analogowo-cyfrowymi: dla nauki, techniki i przemysłu

b/ W Wojskowej Akademii Technicznej prowadzone są prace z zakresu konstrukcji maszyn analogowych lampowych, produkcji małej serii maszyn analogowych /około 20 sztuk 12-wzmacniaczone dla celów dydaktycznych/ badań oraz studiów zastosowań.

Dotychczas wykonano maszynę analogową lampową średniej wielkości o 60 wzmacniaczach operacyjnych UMA-60, przeznaczoną do rozwiązywania problematyki naukowej z zakresu tematyki wojskowej oraz dla celów dydaktycznych.

Plany dalszych prac: badania nad nowego typu wzmacniaczami operacyjnymi i układami analogowo-cyfrowymi, prace nad zastosowaniami maszyn analogowych dla potrzeb wojska.

c/ Zakład Automatyki Politechniki Warszawskiej.

Zakład posiada małą maszynę analogową Short-I i prowadzi prace z zakresu zastosowań maszyn analogowych dla celów automatyki oraz prace dydaktyczne dla studentów z zakresu posługiwania się maszynami analogowymi oraz wykorzystywania maszyny analogowej dla pogłębienia wiedzy z matematyki i przedmiotów specjalistycznych.

W celu powiększenia możliwości maszyny analogowej Short I- Zakład prowadził prace nad rozbudową tej maszyny, co oprócz korzyści dotyczących zastosowań pozwoliło na opanowanie zasad konstrukcji układów analogowych.

Zakład posiada 4 pracowników naukowych i przewiduje w przyszłości prowadzenie dalszych prac badawczych z dziedziny teorii automatyki oraz wykorzystania maszyn dla celów dydaktycznych, pozwalając na unowocześnienie sposobu prowadzenia niektórych wykładów, głównie z zakresu automatyki, w której przy projektowaniu układów maszyny analogowe znajdują duże zastosowanie.

d/ Instytut Automatyki PAN. W instytucie prowadzone są prace nad konstrukcją i zastosowaniami maszyn analogowych dla potrzeb automatyki, zarówno dla projektowania i symulacji układów automatyki, jak również dla zbadania możliwości bezpośredniego udziału maszyn analogowych w stosowanych w przemyśle układach automatyki.

W Instytucie nad zagadnieniem maszyn analogowych zatrudnionych jest 6 pracowników naukowych.

Dotychczas wykonano 2 maszyny analogowe średniej wielkości tj. ZA-02 o 24 wzm.operac. i ZA-03-N1 o 44 wzm.oper.

32 Moduły - /cena ca 500 tys. złotych przy serii 20 sztuk/
- dla celów dydaktycznych i badania układów automatyki.
Obecnie prowadzone są prace wykończeniowe nad maszyną analogową ZA-03-Nr i ZA-03 o pracy asymptotycznej i repetycyjnej w celu prowadzenia prac nad badaniem możliwości zastosowań maszyny analogowych w poszczególnych gałęziach przemysłu. Przedstawiciele Zakładu "Energopomiar" - Wrocław wyrazili chęć podjęcia maszyn ZA-03. Ponadto Instytut Automatyki prowadzi prace nad zagadnieniem optymalizacji układów, w którym posługuje się maszyną analogową.

e/ Instytut Automatyki M.Sz.W./ w Wrocławiu buduje 2 maszyny: a/ o 18 wzm. operac., b/ 40 wzmacniaczową w technice lampowej wykonując we własnym zakresie helliporty i opory wysztabilne /będą gotowe w roku 1964/.

2. Istniejące w kraju maszyny analogowe i ich wykorzystanie

Ogółem w Polsce zainstalowanych jest obecnie ok. 10 maszyn analogowych zagranicznych /głównie Solartron Space 30/ i prod. ZSRR i 7 maszyn krajowych, które po odpowiednim pracowaniu mogłyby stanowić podstawę do produkcji maszyn analogowych w Polsce.

Siedem maszyn zainstalowanych jest w ośrodkach naukowych i wykorzystywanych dla problematyki naukowej oraz badań nad przydatnością maszyn analogowych dla biur projektowych i przemysłu. Są to: Short-1 w Zakładzie Automatyki Politechniki Warszawskiej wykorzystywany dla celów dydaktycznych i zagadnień związanych z teorią automatyki. Space-30 w Instytucie Badań Jądrowych dla symulacji układów automatyki reaktorowej i symulacji pracy reaktora, AKAT-1 w Zakładzie Analogii Instytutu Podstawowych Problemów Techniki - dla prowadzenia prac naukowych z dziedziny zastosowań maszyn analogowych w pracach badawczych, UMA-1 w Wojskowej Akademii Technicznej - dla celów szkolenia i zastosowań dla potrzeb wojskowych, ZA-02 i ZA-03 w Instytucie Automatyki dla prowadzenia prac naukowych z dziedziny teorii automatyki, na

Politechnice Gliwickiej /prof. Węgrzyn/ 22-wzm. oper., liniowe.

Pięć maszyn analogowych zainstalowanych jest w przemyśle; w "Azotach" w Jaworznie, Ostrowiu Wielkopolskim, Gdańsku i Tarnowie - maszyny Space 30 oraz w Miedzeszynie maszyna Siemens, Inst.Mech.Prec. Maszyny te przeznaczone są w większości do projektowania układów automatyki.

Ponadto istnieje w kraju dość duża ilość maszyn specjalistycznych, jak np. analizator równań parabolicznych w Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie, przeznaczony do badania przepływu powietrza w kanałach wentylacyjnych, analizator siatkowy w Zakładzie Analogii IPPT przeznaczony do badania zagadnień w teorii sprężystości i filtracji, jak również w przyszłości do badania pól nieliniowych, analizator siatkowy w Instytucie Naftowym w Krośnie przeznaczony do badania odwiertów naftowych, korelator w Zakładzie Badania Drgan IPPT przeznaczony dla zagadnień akustyki i elektroniki, analogowy/analizator harmonicznych w Instytucie Hydro-Meteorologicznym, analizator sieciowy w Instytucie Gospodarki Wodnej przeznaczonych do badania fali powodziowej na Wiśle, analizator sieciowy w Instytucie Elektrotechniki wykorzystywany do badania rozpręgnięcia energii elektrycznej i odpowiedniego przełączenia linii energetycznych przy ewentualnych awariach i wiele innych.

3. Zapotrzebowanie na maszyny analogowe

Biorąc pod uwagę bardzo dużą przydatność maszyn analogowych dla celów dydaktycznych, należy dążyć do zaopatrzenia wyższych uczelni/w przyszłości nawet katedr/ i szkół technicznych w maszyny analogowe, w ilości 2 - 3 maszyn dużych, około 50 średnich i około 200 małych w ciągu najbliższych pięciu lat.

Dla potrzeb Instytutów naukowych i resortowych potrzeba około 2 maszyn dużych, 80 średnich i 60 małych oraz dla potrzeb przemysłu i biur konstrukcyjnych - około 100 maszyn średnich i 100 maszyn małych/. Liczby te przekraczają

znacznie możliwości importowe i produkcyjne w ciągu najbliższych lat, świadczą jednak o dużym zapotrzebowaniu w kraju na maszyny analogowe i konieczności podjęcia szybkiej decyzji o produkcji maszyn analogowych w kraju.

W pierwszym okresie konieczny jest import pewnej ilości maszyn, przy czym wskazane jest tu zakupienie również maszyn dużych, które w kraju nie powinny być produkowane.

Przy obliczaniu zapotrzebowania na maszyny analogowe w kraju należy również uwzględnić możliwości eksportowe, które szczególnie byłyby duże dla maszyn tranzystorowych.

4. Organizacja i przygotowanie produkcji krajowej maszyn analogowych

Produkcja maszyn analogowych w kraju powinna obejmować maszyny średnie i małe i ewentualnie niewielką ilość maszyn specjalistycznych - jak np. analizatorów siatkowych. Maszyny małe powinny być produkowane w wersji tranzystorowej, maszyny średnie, bądź jako lampowe, bądź jako zestaw dwóch lub trzech małych segmentów tranzystorowych. Wskazanym byłoby, żeby produkcji mogły się podjąć np. Zakłady "Elwro" czy "Energopomiar" - Wrocław. Obecnie roczny przerób Zakł. 10 mln. zł/, co jak wynika z pierwszych przeprowadzonych rozmów, byłoby możliwe przy odpowiednim rozszerzeniu Zakładów.

Jako prototypy maszyn krajowych, które mogłyby nadawać się do produkcji, należy wymienić maszyny lampowe ZA-03, UMA-60 oraz AKAT-2 i maszyny z Instytutu Automatyki we Wrocławiu, którego moduły mogłyby być przekazane do produkcji w roku przyszłym.

Traktując rok 1963 jako rok przygotowania do produkcji prototypu, rok 1964, jako rok przygotowania do produkcji prototypowej, można liczyć się z możliwością produkcji 3 maszyn analogowych w roku 1965, lub nawet pod koniec roku 1964.

Przybliżony koszt produkcji maszyny małej byłby rzędu 100.000 do 200.000 zł, maszyny średniej 200.000 do 500.000 zł, przy czym przy produkcji seryjnej koszty te mogłyby ulec jeszcze zmniejszeniu.

Z uwagi na bezpośrednią zależność rzędu dokładności maszyny od klasy zastosowanych elementów elektrycznych, dla urządzeń tych konieczne jest wprowadzenie produkcji elementów i podzespołów wysokiej klasy /S/, co zresztą nie jest tylko dezyderatem wytwórczości maszyn analogowych, ale wszelkich urządzeń elektronicznych klasy światowej, eksportowych, specjalnych, wojskowych itp.

Może więc nacisk ze strony analogii korzystnie odbije się na jakości sprzętu wysokiej klasy; jej wymagania idą w kierunku wyższych tolerancji elementów /RC/ - tj. 2% - 0,1% małych współczynników termicznych i czasowych, dużego stopnia niezawodności. Będą to więc dokładne opory wysoko-stabilne /tolerancji 1:0,1%/, np. tlenkowe, których prototyp wykonał "Telpod" Kraków, drutowe - "energopomiar" - Wrocław, opory metalizowane boro-węglowe produkcji "Omig" ale ze zmodyfikowaną technologią.

Kondensatory teflenowe o tolerancji /1% - 0,95%/ FO, producent Zakłady w Kutnie /30 tys. sztuk/.

Wysokostabilne potencjometry normalno-gabarytowe i miniaturowe, wielodrutowe opory trymingowe; wielodrutowe potencjometry helikoidalne /5 tys. sztuk/.

Wysoko-pojemnościowe kondensatory ceramiczne /0,5% - 1 2/_u F30 x/. Tranzystory krzemowe, mikroskopowe i dyfuzyjne pnp i npn, np. typu OV201 o b. małych prądach zerowych i Vek 40 V - przewidziane zapotrzebowanie do roku 1968 - rzędu 150.000 sztuk.

Tranzystory kluczujące "dwukierunkowe" krzemowe mocy 1 W Diody krzemowe, diody Zenara krzemowe /ca 20 tys. sztuk/. Przełączniki 10-cio pozycyjne miniaturowe, 3 pozycyjne, zwieracze, przeyciski, łączówki drutowe, wtyki złożone,

wskaźniki. Wreszcie należy zabezpieczyć produkcję sprzętu skojarzonego z maszynami, tj. rejestratorów xt; pisaków xy; kineskopów poświatowych itp. w ilościach rzędu 1000 sztuk do 1968 roku.

5. Szkolenie personelu eksploatacyjnego

Szkolenie personelu eksploatacyjnego powinno iść w trzech kierunkach: szkolenie inżynierów i matematyków, którzy zajęliby się stroną koncepcyjną zastosowań, oraz programowaniem rozwiązywanych zagadnień, konserwatorów oraz operatorów, którzy przyuczeni byliby do rozwiązywania konkretnych zagadnień. O ile szkolenie inżynierów i matematyków wymaga rozszerzenia wykładów z maszyn matematycznych na uczelniach poza Wydział Łączności, o tyle szkolenie techników konserwatorów i operatorów wymaga utworzenia technikum maszyn matematycznych, gdyż przy planowanej dużej ilości maszyn szkolenie indywidualne /nawet dość krótkie rzędu pół roku/ byłoby dość uciążliwe.

Ze względu na planowany rozwój maszyn analogowych na w większą skalę dopiero od roku 1965, istniałaby możliwość przeszkolenia np. na kursach dokształcających pewnej ilości osób w roku 1964.

Ogólnie biorąc, w ciągu najbliższych 5 lat potrzeba byłoby przeszkolić około 200 inżynierów /w tym wykładowców technikum/ i około 500 techników.