

PRZEMYSŁOWY INSTYTUT AUTOMATYKI I POMIARÓW
MERA-PIAP
Al. Jerozolimskie 202 02-222 Warszawa Telefon 23-70-81

Ośrodek Automatyki Elektrycznej

440

BE 10

Główny wykonawca doc. dr inż. Andrzej Kaczmarczyk

AK

Wykonawcy

Konsultant

Nr zlecenia

9377

Automatyczna regeneracja własności
systemów technicznych

Etap I Przeprowadzenie rozeznania
literaturowego

Zlecniodawca praca własna PIAP

Pracę rozpoczęto dnia 1.11.81

zakończono dnia 30.10.82

Kierownik Zespołu

Kierownik Ośrodka

dr inż. P. Jabłoński

p.o Dyr. n/s Automatyki

prof.dr inż. T. Missala

dr inż. T. Gałązka

Praca zawiera:

Rozdzielnik - ilość egz:

stron 37

Egz. 1 BOINTE

rysunków 10

Egz. 2

fotografii -

Egz. 3

OAE

tabel -

Egz. 4

tablic -

Egz. 5

załączników -

Egz. 6

Nr rejestr. 4923

Analiza deskryptorowa

Analiza dokumentacyjna

Tytuły poprzednich sprawozdań

68A.5 Technika sterowania automatycznego
67-192 Mikroprocesory

UKD

MERA-PIAP/TW 331/78 5000

Spis treści

Wprowadzenie	2
1. Regeneracja u organizmów żywych	3
2. Niezawodność i odnowa urządzeń technicznych	22
Podsumowanie i wnioski.	35

Wprowadzenie

Regeneracja /od łac. regeneratio = odrodzenie, odnowienie/ oznacza przywracanie utraconych cech lub własności.

W chemii przez regenerację rozumie się odnawianie skuteczności zatraconej przez używanie. W biologii - odtwarzanie utraconych części ciała.

Systemy techniczne tracą swe własności do wypełnienia zadań, do których zostały skonstruowane i zbudowane, na skutek procesów starzenia się zużycia i uszkodzeń losowych. Tym nieuchronnie zachodzącym procesom można przeciwdziałać przez doskonalenie rozwiązań konstrukcyjnych i technologii tylko do pewnych granic. Poza tymi granicami mamy do czynienia z utratą własności i koniecznością ich przywrócenia, czyli regeneracją. Wydaje się, że zbudowanie złożonych systemów technicznych, szczególnie przeznaczonych do realizacji procesów materialnych i energetycznych /a nie tylko informacyjnych/, zdolnych do długotrwałej pracy bez ludzkiej obsługi, będzie wymagało rozwiązania problemów automatycznej regeneracji.

W dostępnej literaturze z zakresu cybernetyki, bioniki, automatyki, teorii eksploatacji i niezawodności, a także w literaturze poświęconej ogólnym problemom nauki i techniki /np. "Scientific American"/ nie natrafiono na publikacje mające bezpośrednio za przedmiot regenerację własności systemów technicznych. Nie natrafiono także na informację o podejmowanych w tym kierunku pracach.

Najbardziej związane z tematem automatycznej regeneracji własności systemów technicznych okazały się zagadnienia regeneracji u organizmów żywych oraz zagadnienia niezawodności i odnowy urządzeń technicznych. Studium literaturowym przeprowadzonym na temat tych dwu grup zagadnień poświęcono syntetyczne rekapitulacje zamieszczone w niniejszym sprawozdaniu, Literaturę biologiczną przestudiowano korzystając z konsultacji prof. L. Kuźnickiego i doc. dr M. Jerki-Dziadosz z Instytutu Biologii Doświadczalnej PAN im. M. Nenckiego, którym za okazaną pomoc serdecznie dziękuję.

Spisy literatury zamieszczone w sprawozdaniu obejmują tylko literaturę wiążącą się z treścią rekapitulacji i nie obejmują całej rozpoznanej literatury.

1. Regeneracja u organizmów żywych

W biologii przez regenerację rozumie się odtwarzanie utraconych części ciała. /1/, /2/, /3/, /4/.

Regeneracja jest zjawiskiem biologicznym mającym to samo podłoże /komórkową budowę organizmów żywych/ i mechanizmy zbliżone do takich podstawowych zjawisk jak wzrost, rozwój i rozród bezpłciowy. Komórka jest zasadniczą formą organizacji żywej materii, a podstawą wszystkich wymienionych zjawisk jest pomnażanie się liczby komórek. Komórki mogą powstawać tylko w drodze podziału, przy czym najpowszechniejszym sposobem podziału komórki jest mitozą, podczas której następuje równomierny podział zestawu chromosomów, a co z tym idzie i kompletu cząstek DNA decydujących o wrodzonych cechach komórki.

Zdolność do regeneracji poszczególne rodzaje tkanek jak również całe organizmy żywe posiadają w różnym stopniu, przy czym zaobserwowano, że zdolności regeneracyjne zmniejszają się w miarę wzrostu strukturalnej i fizjologicznej złożoności organizmów. Nie wiadomo dotychczas dlaczego tak jest, jak również nie wiadomo co powoduje utratę zdolności regeneracyjnych w miarę starzenia się organizmu.

Najwyższy stopień zdolności regeneracyjnych wykazują niektóre organizmy niższe, np. robaki płaskie /płazińce/, które mogą rozmnażać się przez fragmentację. W tym przypadku ciało organizmu rodzicielskiego rozpada się na liczne fragmenty, nawet do kilkuset, z których każdy daje początek nowemu osobnikowi. Podobne do fragmentacji jest rozmnażanie przez regenerację, przy którym organizm rodzicielski rozszczepia się nie samorzutnie lecz w wyniku uszkodzenia przez czynniki zewnętrzne.

Wiele zwierząt wyższych jak salamandry, jaszczurki, kraby może regenerować utracone części ciała, np. kończyny

ogon lub inny utracony narząd. Obserwuje się przy tym, że proces regeneracji jest podobny do rozwoju zarodkowego - związek regenerowanej kończyny wygląda tak samo jak związek rozwijającego się zarodka.

Zdolność kręgowców do regeneracji jest mała. U większości kręgowców, tak jak u człowieka, ogranicza się do gojenia stosunkowo małych ran.

Pewne tkanki mają większą, a inne mniejszą zdolność regeneracji. Przy bardzo ograniczonej zdolności regeneracyjnej ubytki tkanki mogą być uzupełniane tylko włóknami wytwarzanymi przez tkankę łączną. Większość tkanek zwierzęcych można zaszereżować do grupy tkanek łącznych i do nabłonkowych. Tkanka łączna podtrzymuje i łączy wszystkie pozostałe komórki ciała. Obejmuje tkankę kostną, chrząstkową, tkankę ścięgien i więzadeł. Cechą komórek tkanki łącznej jest wydzielanie w dużej ilości substancji nieożywionej, zwanej istotą podstawową. W najważniejszej postaci tkanki łącznej, w tkance włóknistej istota podstawowa ma postać gęstej splecionej sieci włókien otaczającej komórki tkanki łącznej. Charakterystyczną cechą tkanki łącznej jest stosunkowo niska specjalizacja komórek, tak, że przy określonej stymulacji jeden rodzaj tkanki łącznej może przejść w drugi. Pod tym względem komórki tkanki łącznej odpowiadają komórkom mięksiszu /parenchymy/ u roślin. Powstają wówczas tzw. blizny.

Ważnym aspektem problemu regeneracji, jak również rozwoju zarodkowego jest aspekt morfologiczny. Chodzi w nim o to, jakie czynniki i w jaki sposób powodują różnicowanie się komórek i jak dochodzi do powstania w wyniku rozwoju określonej struktury.

Na temat morfogenezy istnieje wiele hipotez popartych częściowo wynikami doświadczeń. Za mechanizmy powodujące różnicowanie się komórek i prowadzące do wytworzenia się określonych struktur uważa się : informację pozycyjną, falę indukcji,

powiązany z nimi mechanizm wykrywania luk i ich naprawy, a także mechanizm rozwoju mozaikowego /5/, /6/.

Zjawiska morfogenetyczne są przy tym jeszcze mało zbadane i daleko jest do pełnego ich wyjaśnienia. Już obecnie jednak widać, co podkreślają różni autorzy, że biologiczna rzeczywistość jest bardzo bogata i że w różnych okolicznościach i różnych organizmach proces morfogenezy może być oparty na różnych mechanizmach, a także, że możemy mieć do czynienia i zazwyczaj mamy - z występowaniem wielu mechanizmów w jednym procesie.

Źródłem koncepcji morfogenetycznych jest znana w biologii od dziesięcioleci /lub jeszcze dawniej/ zasada, podana przez H. Driescha /9/ w 1908 r., że rozwój części jest funkcją położenia /pozycji/ tej części w stosunku do całości.

Mechanizm rozwoju mozaikowego jest bezpośrednim urzeczywistnieniem tej zasady.

"Zarodek lub część zarodka rozwijają się jako pewna "mozaika" komórek przy czym rozwój i różnicowanie się komórek są zdeterminowane ich położeniem w zarodku, a ściśle mówiąc tym, że przy podziale zygoty komórki powstają z cytoplazmy i błony komórkowej pochodzącej z określonych regionów zygoty.

Bardziej ogólną kanwę opisu zjawisk morfogenetycznych stanowi koncepcja pola morfogenetycznego. Najogólniejsze ujęcie polega na tym, że każdej żywej komórce przypisuje się pewne pole wektorowe lub tensorowe, które jest ekwiwalentem określonej aktywności biologicznej komórki /7/. W innych ujęciach autorzy /6/, /8/, zajmują się polem /morfogenetycznym/ jako obszarem, w którym oddziałuje na komórki pewna informacja, zwana pozycyjną, związana z położeniem danej komórki w organizmie. Przyjmując klasyczne określenie pola jako przestrzeni, której każdemu punktowi przynależy określona wielkość, mielibyśmy tu do czynienia z "polem informacyjnym". Należy pamiętać, że pojęcie "informacja" nie jest zdefiniowane, nie jest więc zdefiniowane również

pojęcie "pola informacyjnego". W konkretnych przypadkach pole morfogenetyczne ma określony sens fizyczny - jest polem fizycznym. Koncepcja pola morfogenetycznego związanego z położeniem /pozycją/ danej komórki w organizmie została po raz pierwszy sformułowana przez P.Weissa w roku 1939.

Współczesne i powszechnie dziś przyjęte sformułowanie koncepcji informacji pozycyjnej oraz opartego na niej mechanizmu morfogenezy pochodzi od L.Wolperta /8/.

Według tej koncepcji informacja pozycyjna jest zawsze zawarta w pewnej wielkości fizycznej, która może przybierać różne wartości w miejscu znajdowania się /położenia/ różnych komórek organizmu, przy czym informacja pozycyjna jest określona w stosunku do jednego lub większej liczby punktów odniesienia /Rys.11/.

Informacja pozycyjna może być zawarta w stężeniu pewnej substancji-morfogenu /np. hormonu/, różnym w różnych miejscach organizmu. Tego typu model pola morfogenetycznego nosi nazwę modelu gradientowego. W przypadku liniowej zależności przedstawionej za pomocą linii /I/ wykresu Rys.11 gradient pola jest oczywiście stały w całym polu. Punktem odniesienia jest początek współrzędnych. Innym modelem pola morfogenetycznego jest model przesunięcia fazowego. W modelu tym rozpatruje się okresowe zmiany wielkości fizycznych /elektrycznych czy chemicznych/ przemieszczające się w organizmie z różnymi prędkościami /Rys.12/. Informacja pozycyjna jest zawarta w przesunięciu fazowym pomiędzy poszczególnymi przebiegami okresowymi - kąt przesunięcia fazowego przyjmuje wartość zależną od odległości danego miejsca organizmu od punktu odniesienia. Liniową zależność również i w tym modelu przedstawia linia I na wykresie Rys.11, przy czym punktem odniesienia jest początek współrzędnych.

Liniowy przebieg informacji pozycyjnej może być również taki, jak to uwidacznia linia III; jest tak wtedy gdy występuje malenie wartości danej wielkości fizycznej, przy wzroście odległości. Informacja pozycyjna może też wynikać z relacji między dwiema wielkościami fizycznymi - np. stężeniami, z których jedna może wzrastać, a druga maleć wraz z odległością. Przypadek ten można rozpatrywać jako wzrost dwu wielkości fizycznych, odbywający się w przeciwnych kierunkach, względem dwu punktów odniesienia. Przebieg informacji pozycyjnej może być również nieliniowy, tak jak to okazuje linia II wykresu Rys. 1. Przebieg tego rodzaju może być związany z transportem substancji pomiędzy komórkami w kierunku wyróżnionym.

Istnieją wyniki eksperymentalne uzasadniające przyjmowanie wszystkich powyższych modeli i przebiegów informacji pozycyjnej. Stwierdzono przy tym, że pola morfogenetyczne występujące w organizmie mogą mieć charakter trwałe - mogą skutecznie przeciwstawiać się zakłóceniom. Na Rys. 3 przedstawiono ZA /10/ przypadek, w którym po odcięciu części organizmu/granicy B/ następuje odtworzenie odciętej części, a wraz z nim odtworzenie pola gradientowego. Prawem rządzącym procesem odtworzenia jest prawo zachowania względnych odległości :

$$\frac{A - 1'}{A - B'} = \frac{A - 1}{A - B}$$

p_1 i p_2 oznaczają wartości stężeń morfogenu, A i B są punktami odniesienia stanowiącymi zarazem punkty graniczne w procesie rozwoju organizmu /danej jego części/.

Informacja pozycyjna może być wielowymiarowa, przy czym liczba wymiarów jest taka sama jak liczba wyróżnionych osi współrzędnych odległości.

W procesie morfogenezy informacja pozycyjna musi być odczytywana /interpretowana/ przez komórki organizmu. Przykład takiego procesu podany w /8/ jest następujący. Informacja pozycyjna niech będzie określona przez kąt przesunięcia fazowego między dwoma cyklicznymi procesami. Ta różnica faz może być przekształcona na pobudzenie wydzielania określonego enzymu co z kolei może powodować zmianę stężenia jonów w roztworze co z kolei może prowadzić do pobudzenia określonego zestawu genów decydujących o wytworzeniu innego enzymu, co wreszcie prowadzi do wytworzenia np. czerwonego pigmentu. W rezultacie można powiedzieć, że komórka zinterpretowała informację pozycyjną wytwarzając czerwony pigment.

Niewiele jednak obecnie wiadomo o rzeczywistych mechanizmach fizjologicznych przekazywania informacji pozycyjnej. Nie zostały też wyjaśnione kompleksowe procesy rozwoju czy regeneracji całych, stosunkowo dużych organów. Dane eksperymentalne wskazują na to, że zasięg poszczególnych pól morfogenetycznych, wyznaczonych punktami odniesienia, jest niewielki - odległość ok. 50 komórek z błędem regulacji morfogenetycznej + 2. Komórki / Zasięg nigdy nie przekracza odległości 100 komórek /; całe organy składają się z milionów komórek. Występować tu musi siatka wzajemnie powiązanych pól morfogenetycznych, przy czym o mechanizmach tych powiązań niewiele wiadomo.

Odczytywanie informacji pozycyjnej zależy od genotypu organizmu i od skłonności wytworzonych podczas poprzedniego rozwoju i prowadzi do wytworzenia określonej struktury

przestrzennej komórek. Ważnym pojęciem w zagadnieniach morfogenezy jest wzorzec przestrzenny - wzorzec tej właśnie struktury, która powstaje w wyniku procesu morfogenezy z wyjściowej, niewielkiej liczby mało różniących się od siebie komórek. Powstawanie struktury odpowiadającej wzorcowi może zachodzić za sprawą przedstawionego wyżej mechanizmu informacji pozycyjnej, bądź też za sprawą mechanizmu indukcji.

Indukcja polega na oddziaływaniu danej komórki na komórki sąsiednie; oddziaływania te są przekazywane w postaci "fali indukcji", za pośrednictwem morfogenów.

Meinhardt i Grier w szeregu prac /11/, /12/, /8/ przedstawili proponowany przez siebie model matematycznej działania morfogenów w procesie morfogenezy. Zainteresowania swoje skupili przy tym na zagadnieniu realizacji wzorca w procesie morfogenezy, uwzględniając zarówno mechanizm informacji pozycyjnej jak i indukcji, a także mechanizm powstawania luk i naprawy. Przyjęli, że w rezultacie pewnego /nie zawsze dokładnie sprecyzowanego/ łańcucha oddziaływań, stężenie morfogenu wpływa na pobudzenie /lub brak pobudzenia/ określonych genów w określonych komórkach co decyduje o przebiegu morfogenezy i o powstaniu w wyniku procesu morfogenezy określonej struktury zgodnej z wzorcem. Postulują przy tym, że mogą istnieć różne typy oddziaływania morfogenów, m.in., że może działać jeden morfogen lub też dwa morfogeny przeciwstawne : aktywator i inhibitor. Postulują też istnienie różnorodnych zjawisk związanych z oddziaływaniem morfogenów, a przede wszystkim zjawiska krótkodystansowej aktywacji, powodującej np. regenerację usuniętych części organizmu, oraz zjawiska długodystansowej inhibicji zapobiegającej utworzeniu się tychże organów w innej części organizmu, niezgodnie z wzorcem.

Meinhardt i Gierer podają cały szereg /parędziesiąt/ konkretnych modeli matematycznych, odnoszących się do różnych przypadków. Za równanie wyjściowe w /11/ przyjmują :

$$\frac{\partial a}{\partial t} \approx \gamma \beta \frac{a^k}{a^l} / 1 - \frac{\beta}{\gamma} \cdot \frac{\bar{a}^n}{a^m} / \dots /1/$$

gdzie :

t - czas

x - współrzędna określająca położenie

$a/x, t/$ - stężenie morfogenów w komórce

\bar{a} - wartość średnia $a/$

$\beta/x/$ - stężenie morfogenu w źródle

$\beta, \gamma, k, l, m, n$ - stałe

Dla przypadku dwu morfogenów, aktywatora i inhibitora przyjmują układ dwu równań o podobnej postaci:

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \beta_0 \beta + c \beta \frac{a^k}{h^s} - \mu a + D_a \frac{\partial^2 a}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = c' \beta' \frac{a^t}{h^n} - \gamma h + D_h \frac{\partial^2 h}{\partial x^2}$$

gdzie, oprócz oznaczeń przyjętych poprzednio :

$a/x, t/$ - stężenie aktywatora w komórce

$h/x, t/$ - stężenie inhibitora w komórce

$\beta/x/$ - stężenie aktywatora w źródle

$\beta'/x/$ - stężenie inhibitora w źródle

D_a, D_h - stałe dyfuzji

$\left. \begin{array}{l} g_0, c, c', \mu, \nu \\ r, s, t, n \end{array} \right\} \text{ stałe}$

Kwestią istotną w zaproponowanych modelach jest to, że występuje w nich zjawisko "przełączania" /switching/ czy też "zapalania" /fitting/, polegające na tym, że opisane równaniami modelu stężenie morfogenu w komórce, po zapoczątkowaniu procesu wzrostu czy też malenia stężenia morfogenu, dochodzi zawsze do pewnego stanu stabilnego, przy czym jest skończona /i niewielka/ liczba możliwych stanów stabilnych - najczęściej dwa. Zapoczątkowanie procesu powoduje więc w tym przypadku "przełączenie" stężenia z jednego stanu do drugiego. Określony stabilny stan stężenia aktywuje - lub zapobiega aktywacji - określonych genów. Proponując swoje modele matematyczne zauważają cyt. autorzy, że przyczyną zjawiska przełączania jest istnienie nieliniowego sprzężenia zwrotnego między wartością stężenia morfogenu i prędkością wzrostu tego stężenia /13/.

Opierając się na tym ostatnim ^{ostrej} sprzężeniu, można podjąć próbę ~~skonstruowania~~^u skonstruowania modelu uogólnionego.

Schemat blokowy proponowanego modelu uogólnionego dla przypadku jednego morfogenu /co odpowiada modelowi opisanemu równaniem /1//, przedstawiono na Rys. 4. Wielkością wejściową /wymuszeniem/ X niech będzie stężenie morfogenu w źródle, a wielkością wyjściową y jest stężenie morfogenu w komórce.

W modelu występują dwa nieliniowe sprzężenia zwrotne, jedno z nich dodatnie, drugie ujemne /dalej rozpatrzony również będzie przypadek o dowolnej liczbie sprzężeń dodatnich i ujemnych/. Założono przy tym ogólnie, że sprzężenia realizują pewne funkcje nieliniowe $f(y)$ oraz $\varphi(y)$.

Równanie odpowiadające schematowi blokowemu ma postać :

$$-\frac{dy}{dt} = x + f/y/ - \varphi/y/ \dots \quad /3/$$

Ograniczając zainteresowanie zmiennością y tylko do pewnego przedziału $|y - y_0| < \delta$ wokół wartości początkowej $y = y_0$ można funkcje nieliniowe $f/y/$ i $\varphi/y/$ rozwinąć na szeregi potęgowe, przy czym ograniczymy się do pierwszych dwu wyrazów rozwinięcia, co jest wystarczające dla uwzględnienia nieliniowego charakteru sprzężeń, otrzymamy :

$$f/y/ = f/y_0/ + f'/y_0/ /y - y_0/ + \frac{1}{2} f''/y_0/ /y - y_0/{}^2 \dots \quad /4/$$

$$\varphi/y/ = \varphi/y_0/ + \varphi'/y_0/ /y - y_0/ + \frac{1}{2} \varphi''/y_0/ /y - y_0/{}^2 \dots \quad /5/$$

Podstawiając powyższe do równania /3/ otrzymamy :

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dt} = x + f/y_0/ - \varphi/y_0/ + [f'/y_0/ - \varphi'/y_0/] /y - y_0/ + \\ + \frac{1}{2} [f''/y_0/ - \varphi''/y_0/] /y - y_0/{}^2 \dots \quad /6/ \end{aligned}$$

Przyjmujemy następujące warunki początkowe :

$$\frac{dy}{dt} = 0 ; \quad x = 0 ; \quad y = y_0 \quad \dots \quad /7/$$

Po podstawieniu warunków początkowych do równania /6/ będzie :

$$f/y_0/ - \varphi/y_0/ = 0 \quad \dots \quad /8/$$

Po uwzględnieniu powyższego, równanie /6/ przyjmuje postać :

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dt} = x + [f'/y_0/ - \varphi'/y_0/] /y - y_0/ + \frac{1}{2} [f''/y_0/ - \varphi''/y_0/] \\ /y - y_0/{}^2 \quad \dots \quad /9/ \end{aligned}$$

12
15

Wprowadzimy oznaczenia :

$$\begin{aligned} \varphi'/y_0 - \psi'/y_0 &= /sgn b/ \cdot |b| \dots\dots /10/ \\ -\frac{1}{2} [\varphi''/y_0 - \psi''/y_0] &= /sgna/ \cdot |a| \dots\dots /11/ \end{aligned}$$

Równanie /9/ przyjmuje postać :

$$\frac{dy}{dt} = X + /sgnb/ \cdot |b| /y - y_0/ + /sgna/ \cdot |a| /y - y_0/^2 \dots/12/$$

Pojawienie się wymuszenia X o stałej wartości dodatniej lub ujemnej może spowodować przejście układu do nowego stanu ustalonego, w którym $\frac{du}{dt} = 0$, a więc powstanie

efektu przełączenia. Oczywiście wystąpienie efektu przełączenia, jak również wartość y w nowym stanie ustalonym, zależy od doboru funkcji $\varphi/y/$ i $\psi/y/$. Prześledzimy wszystkie możliwe przypadki.

Wprowadzimy nową zmienną $u = y - y_0$. Równanie /12/ przyjmie postać :

$$\frac{du}{dt} = X + /sgnb/ \cdot |b| u + /sgna/ \cdot |a| /u^2 \dots /13/$$

Prześledzimy wszystkie możliwe kombinacje wartości $sgnb$ i $sgna$ jakie mogą wyniknąć w rezultacie doboru funkcji $\varphi/y/$ i $\psi/y/$.

- | | | | |
|-------|--------------|---|--------------|
| /I/ | $sgn a = 1$ | ; | $sgn b = 1$ |
| /II/ | $sgn b = 1$ | ; | $sgn a = -1$ |
| /III/ | $sgn a = -1$ | ; | $sgn b = 1$ |
| /IV/ | $sgn a = -1$ | ; | $sgn b = -1$ |

Dla /I/ będzie :

$$|a| u^2 + |b| u + X = 0$$

$$u_{1,2} = \frac{-|b| \pm \sqrt{|b|^2 - 4|a|X}}{2|a|}$$

W przypadku $X > 0$ gdy $|b|^2 - 4|a|X < 0$ to nie ma efektu przełączenia

gdy $|b|^2 - 4|a|X \geq 0$ to jest efekt przełączenia

i stany ustalone : $u_1 < 0$; $u_2 < 0$

W przypadku $X < 0$ jest efekt przełączania i stany ustalone

$$u_1 > 0 ; u_2 < 0$$

Dla /II/ będzie :

$$|a| u^2 - |b| u + X = 0$$

$$u_{1,2} = \frac{|b| \pm \sqrt{|b|^2 - 4|a|X}}{2|a|}$$

W przypadku $X > 0$ gdy $|b|^2 - 4|a|X < 0$ to nie ma efektu przełączania

gdy $|b|^2 - 4|a|X \geq 0$ to jest efekt przełączania

i stany ustalone $u_1 > 0$, $u_2 > 0$

W przypadku $X < 0$ jest efekt przełączania i stany ustalone

$$u_1 > 0 ; u_2 < 0$$

Dla /III/ będzie :

$$-|a| u^2 + |b| u + X = 0$$

$$u_{1,2} = \frac{|b| \pm \sqrt{|b|^2 + 4|a|X}}{2|a|}$$

W przypadku $X > 0$ jest efekt przełączania i stany ustalone $u_1 < 0$; $u_2 > 0$

W przypadku $X < 0$ gdy $|b|^2 - 4|a|X < 0$ to nie ma efektu przełączania

gdy $|b|^2 - 4|a|X \geq 0$ to jest efekt przełączania

i stany ustalone $u_1 > 0$; $u_2 > 0$

Dla /IV/ będzie :

$$-|a|u^2 - |b|u + X = 0$$

$$u_{1,2} = \frac{-|b| \pm \sqrt{|b|^2 + 4|a|X}}{2|a|}$$

W przypadku $X > 0$ jest efekt przełączania i stany ustalone

$$u_1 < 0 ; \quad u_2 > 0$$

W przypadku $X < 0$ gdy $|b|^2 - 4|a|X < 0$ to nie ma efektu przełączania

gdy $|b|^2 - 4|a|X \geq 0$ to jest efekt przełączania

i stany ustalone $u_1 < 0$; $u_2 < 0$

14

Rozpatrzmy teraz ogólniejszy przypadek dowolnej liczby m nieliniowych sprzężeń dodatnich i n nieliniowych sprzężeń ujemnych. Schemat blokowy takiego układu przedstawia Rys 15. Równanie modelu :

$$\frac{dy}{dt} = X + \sum_{j=1}^m f_j/y/ - \sum_{i=1}^n \varphi_i/y/ \dots /14/$$

Po rozwinięciu funkcji $f_j/y/$ i $\varphi_i/y/$ na szeregi potęgowe i podstawieniu do równania /14/ otrzymamy :

$$\frac{dy}{dt} = X + \sum_{j=1}^m f_j/y_o/ - \sum_{i=1}^n \varphi_i/y_o/ + \left[\sum_{j=1}^m f_j'/y_o/ - \sum_{i=1}^n \varphi_i'/y_o/ \right] \cdot (y - y_o) + \frac{1}{2} \left[\sum_{j=1}^m f_j''/y_o/ - \sum_{i=1}^n \varphi_i''/y_o/ \right] (y - y_o)^2 \dots /15/$$

Po uwzględnieniu warunków początkowych /7/ oraz /8/ będzie :

$$\frac{dy}{dt} = X + \left[\sum_{j=1}^m f_j'/y_o/ - \sum_{i=1}^n \varphi_i'/y_o/ \right] (y - y_o) + \frac{1}{2} \left[\sum_{j=1}^m f_j''/y_o/ - \sum_{i=1}^n \varphi_i''/y_o/ \right] (y - y_o)^2 \dots /16/$$

Otrzymaliśmy zatem równanie identycznej postaci jak równanie /9/.

Zatem model z dwoma nieliniowymi sprzężeniami zwrotnymi jest adekwatny modelowi o dowolnej liczbie sprzężeń.

Zauważmy, że równanie różniczkowe opisujące model jest równaniem Riccatiego o współczynnikach stałych /istnieje możliwość potraktowania wymuszenia X jako współczynnika zmiennego - określonej funkcji czasu $X/t/$ występującej w równaniu Riccatiego/.

12

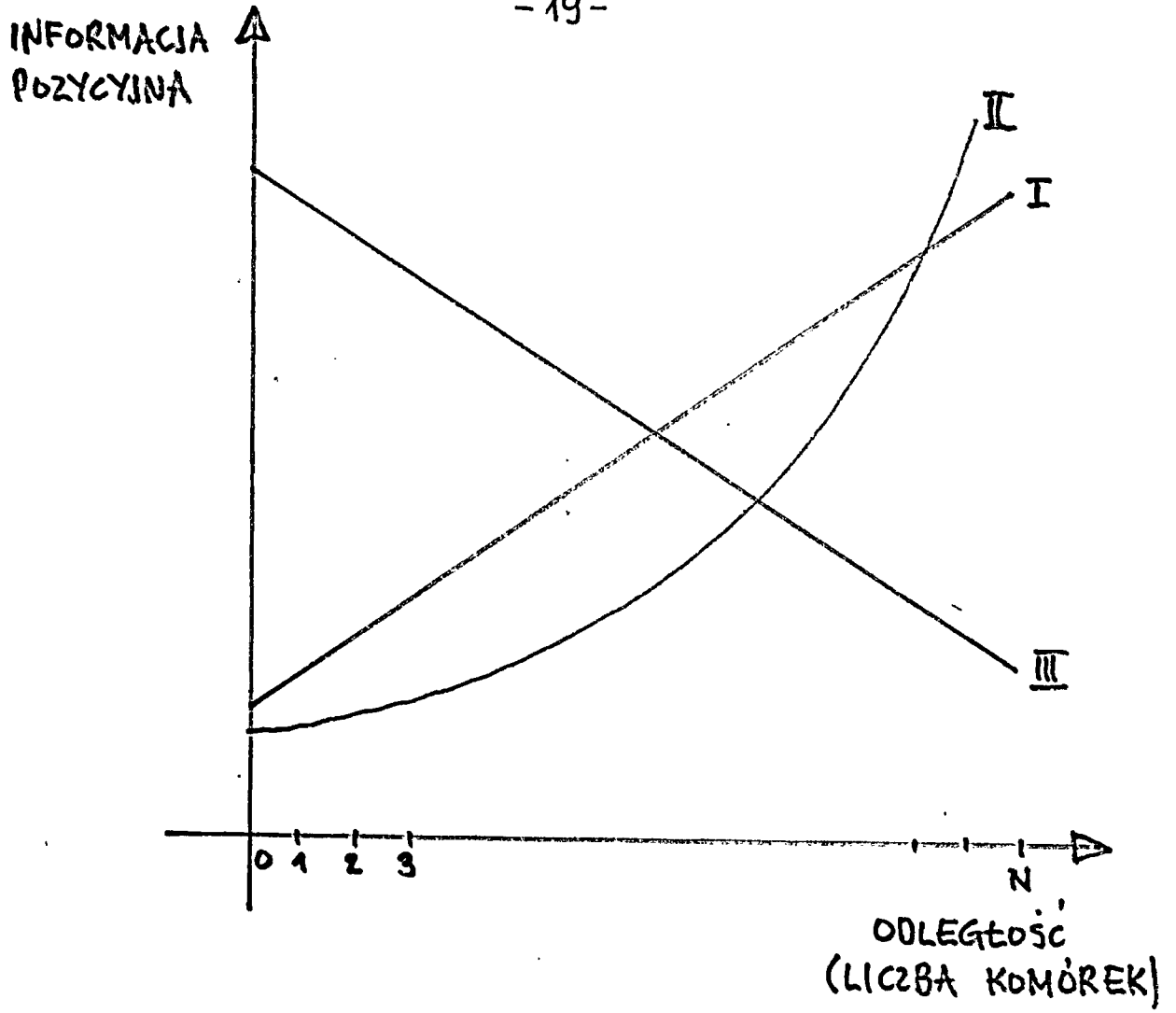
Dla przypadku dwu morfogenów, aktywatora i inhibitora, można również podjąć próbę sformułowania modelu uogólnionego. Z równań /2/ podanych przez Griera i Meinhardta wynika, że stężenie morfogenu w źródle nie tylko oddziałuje na układ jako wymuszenie, ale wpływa również na nieliniowe sprzężenia, które nie są funkcjami tylko stężenia morfogenu w komórce. Schemat blokowy uwzględniający tę własność przedstawiono na Rys 16 .

Problematyka modeli uogólnionych została w niniejszym opracowaniu tylko naszkicowana i może ewentualnie stanowić przedmiot dalszych badań.

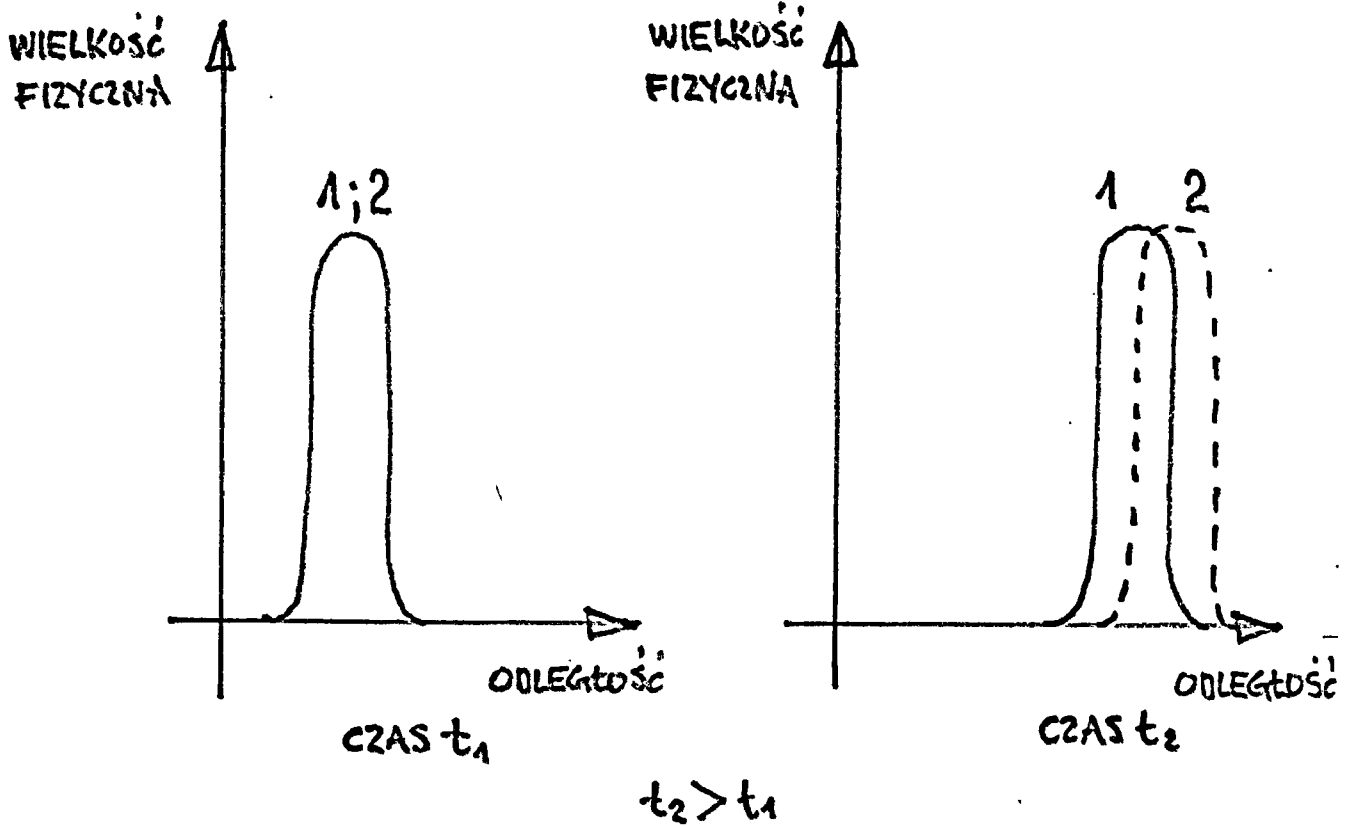
Literatura

- /1/ Grębicki A. "Ogólne zasady biologii" Wyd. Szk. i Pedagog., 79
- /2/ Ville C. A. "Biologia" PWRiL, 73
- /3/ Weisz P. B. "Biologia ogólna" PWN, 77
- /4/ Kimball J. W. "Biologia" PWN, 79
- /5/ Meinhardt D., Gierer A. "Generation and Regeneration of Sequence of Structures During Morphogenesis" J. theor. Biol. /1980/ 85, 429-450
- /6/ McMahon D., West C. "Transduction of positional information during development" - w zbiorze Poste G., Nicolson G. L. /eds/ "The Cell Surface in Animal Embryogenesis and Development" Elsevier North-Holland Biomedical Press, 76
- /7/ Hoffman W. C. "A System of Axioms for Mathematical Biology" - w przekładzie rosyjskim w "Kibernetycznyj sbornik" wypusk 12, 75
- /8/ Wolpert L. "Positional Information and the Spatial Pattern of Cellular Differentiation" J. theor. Biol. /1969/ 25, 1-47
- /9/ Driesch H. "Science and Philosophy of the Organism", London 1908
- /10/ Frankel J. "Positional Information in Unicellular Organisms" J. theor. Biol. /1974/ 47, 439-481
- /11/ Gierer A., Meinhardt H. "A Theory of Biological Pattern Formation" Kybernetik /1972/, 12, 30-39
- /12/ Meinhardt H., Gierer A. "Applications of a Theory of Biological Pattern Formation Based on Lateral Inhibition" J. Cell. Sci. /1974/, 15, 321-346

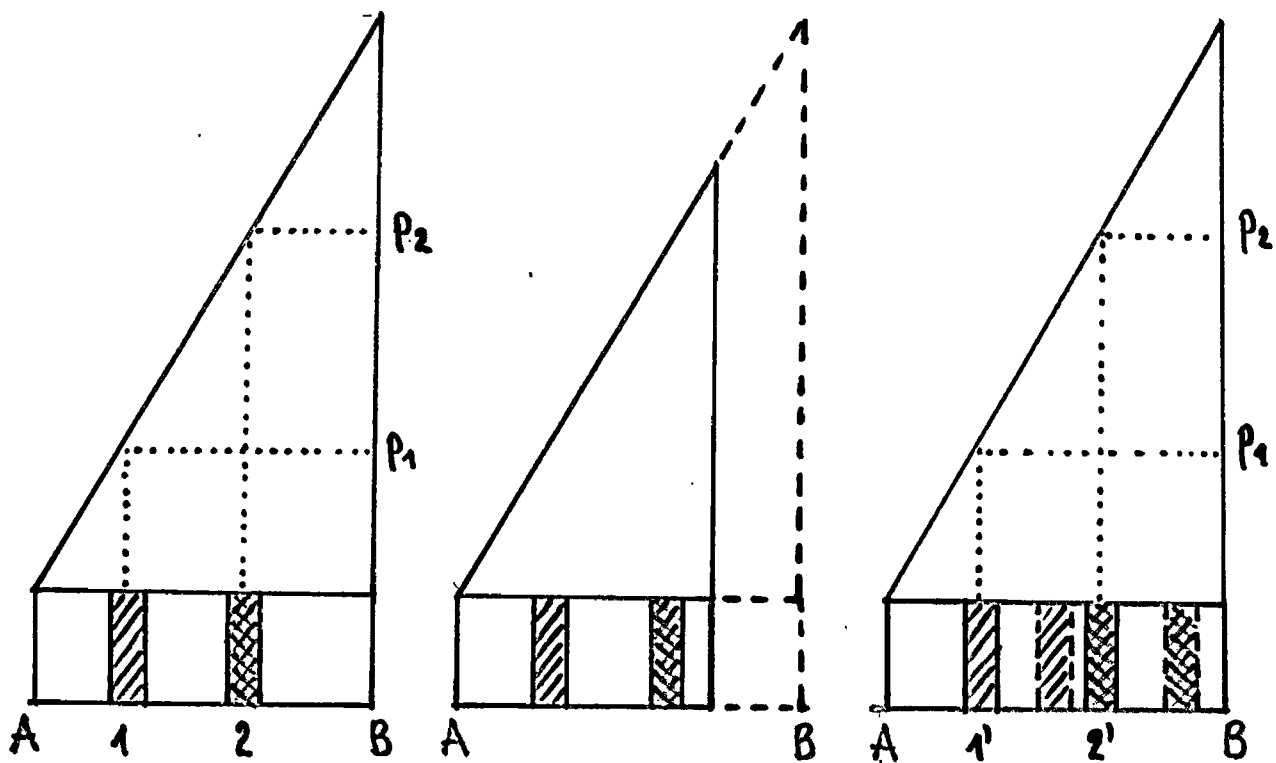
Generation and Regeneration



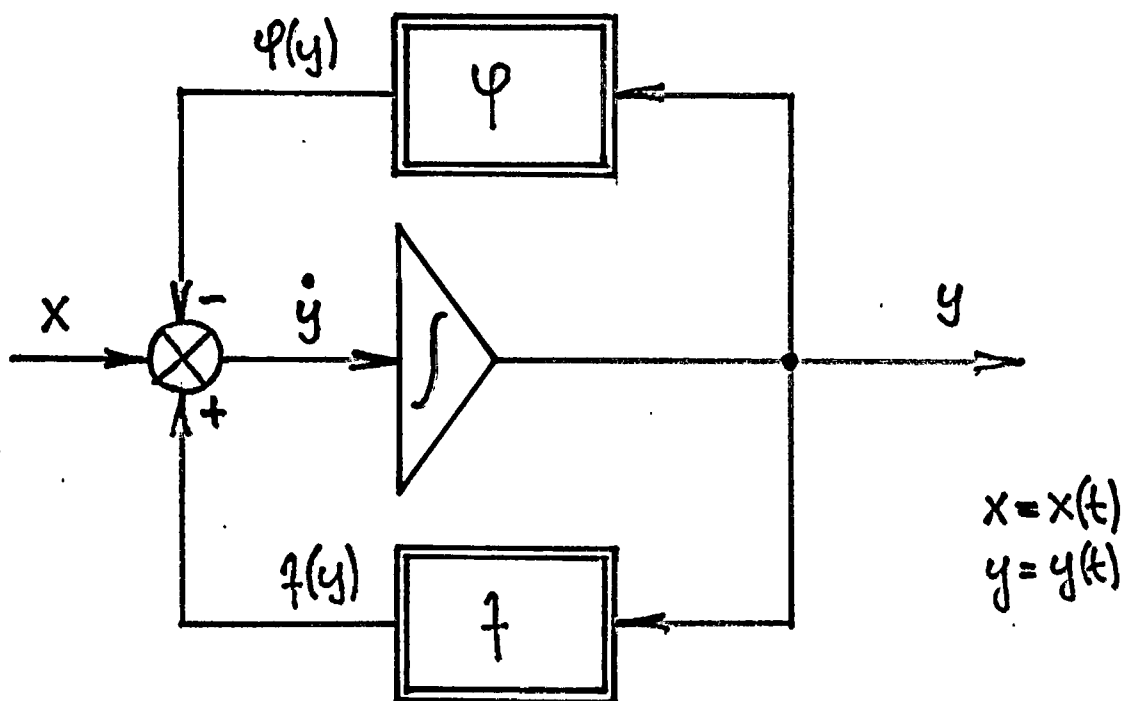
RYS. 1.1



RYS. 1.2

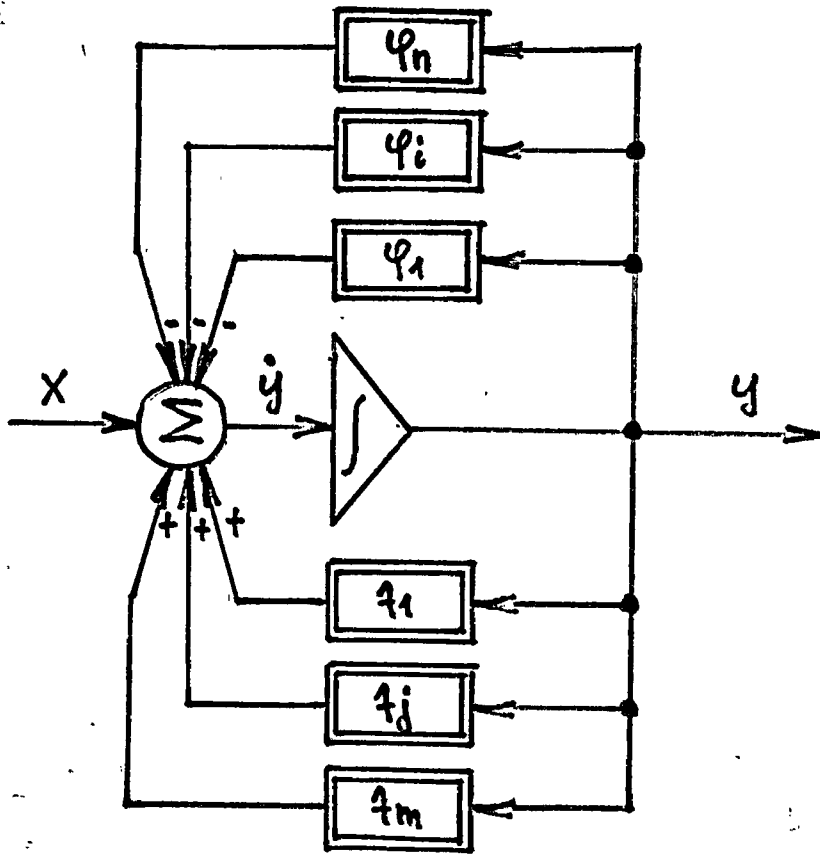


RYS.13

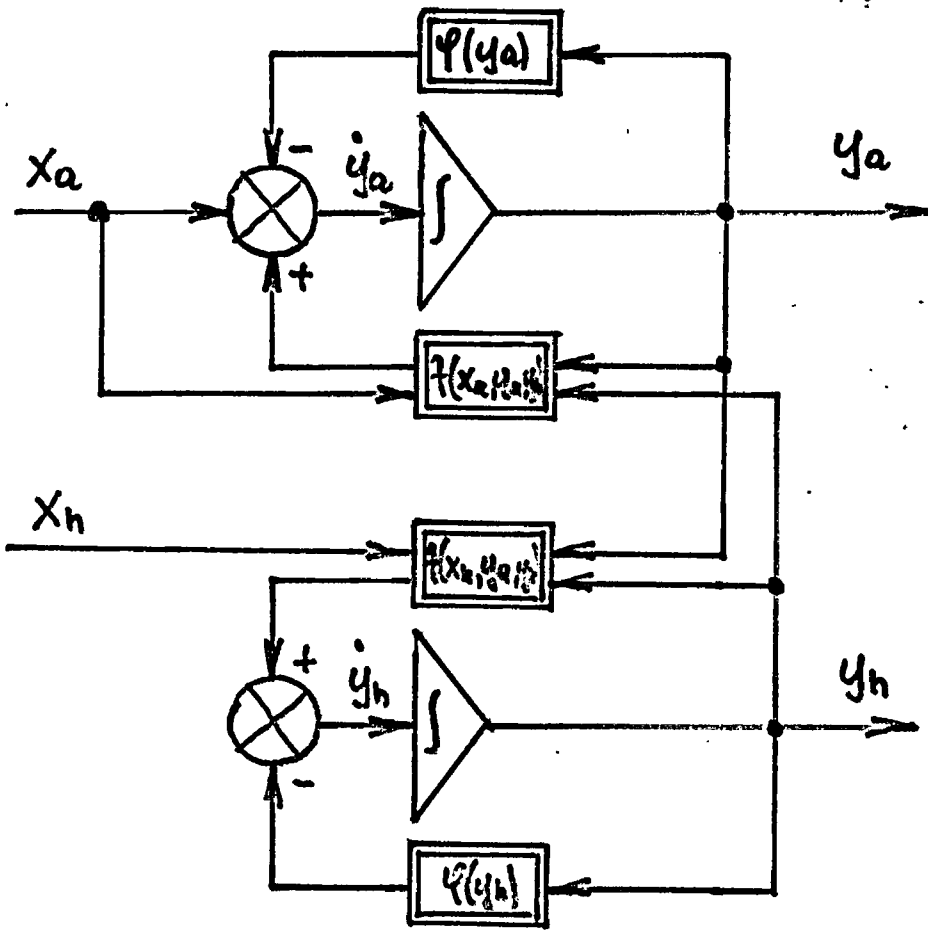


$x = x(t)$
 $y = y(t)$

RYS.14



RYS.15



RYS.16

2. Niezawodność i odnowa urządzeń technicznych

Polem zainteresowania teorii niezawodności w jej klasycznej formie był proces powstawania uszkodzeń obiektów technicznych i jego charakterystyki statystyczne. Sama niezawodność jest tu charakteryzowana przez określoną prawidłowość powstawania uszkodzeń, jej miarą jest prawdopodobieństwo działania bez uszkodzeń w czasie T nie mniejszym od zadanego czasu t :

$$R/t = P / T \gg t$$

Przypomnijmy, że uszkodzeniem jest naruszenie normalnego działania wskutek czego obiekt traci zdatność - czyli zdolność do wykonywania zadaných funkcji - z powodu przekroczenia przez jeden lub kilka parametrów wartości dopuszczalnych. Utrata zdatności może być przy tym reprezentowana przez model binarny /zdatny - niezdatny/, lub też może być scharakteryzowana za pomocą funkcji ciągłej - niezawodnościowej funkcji efektywności odzwierciedlającej stopień przystosowania do wykonywania zadań.

Uszkodzenia są wynikiem procesów naturalnych, t.zn. starzenia się i zużywania oraz zdarzeń losowych. Charakterystyki typowych uszkodzeń podano na Rys. 2.1. Przyczyną procesów starzenia i zużycia powodujących uszkodzenia stopniowe ale mających wpływ i na uszkodzenia losowe, są zjawiska fizyczne i fizyko-chemiczne takie jak: parowanie, dyfuzja, korozja, procesy fotochemiczne, erozja, rozwój pęknięć. Zdarzenia losowe mogą zapoczątkować uszkodzenia stopniowe.

Ważną przyczyną uszkodzeń losowych, zarówno katastroficznych jak i bezwładnościowych, jest działanie człowieka współdziałającego z danym obiektem technicznym. Statystyka wypadków lotniczych wskazuje, że w więcej niż połowie wypadków lotniczych przyczyną jest człowiek. Podobne wyniki przyniosły badania przeprowadzone w latach 1962-73 w polskim przemyśle włókienniczym. Czynnikiem ludzki był tu przyczyną więcej niż połowy awarii, przy czym stwierdzono, że jego udział wśród przyczyn awarii wzrastał wraz ze wzrostem stopnia automatyzacji obiektów do 60-70% /10/.

Obecnie zagadnienia niezawodności ujmowane są szerzej na gruncie teorii eksploatacji, zajmującej się zarówno procesami powstawaniem uszkodzeń jak i procesami ich usuwania. Na eksploatację obiektu składa się jego użytkowanie i obsługiwanie.

Użytkowanie zachodzi w stanie zdatności. Obsługiwanie na na celu przeciwdziałanie niesprawności.

W przypadku obiektów przeznaczonych do pracy ciągłej proces eksploatacji rozpatrywany jest jako ciąg nieprzerwanych okresów poprawnej pracy obiektu /stan zdatności/ oraz okresów odnowy /stan niezdatności/ /Rys.2.2/. Stany zdatności charakteryzuje niezawodność, a okresy odnowy naprawialność. Miarą naprawialności jest prawdopodobieństwo tego, że obiekt będzie naprawiony - przywrócony do stanu zdatności - w czasie T nie większym od zadanego czasu t.

$$V/t/ = P/T \leq t/$$

Popularnym wskaźnikiem niezawodności jest średni czas między uszkodzeniami /MTBF = mean time between failures/, a popularnym wskaźnikiem naprawialności jest średni czas naprawy /MTTR = mean time to repair/. Cały odcinek procesu eksploatacji przedstawiony na Rys. 2.2, charakteryzuje gotowość obiektu wyrażaną współczynnikiem gotowości:

$$kg = \frac{T_p}{T_p + T_N}$$

gdzie: T_p - całkowity czas poprawnej pracy
 T_N - całkowity czas naprawy.

Warto zwrócić uwagę, że gorszy współczynnik gotowości może mieć obiekt o wysokiej niezawodności t.zn. dużym MTBF ale i dużym MTTR niż obiekt mniej niezawodny lecz łatwiej naprawialny.

Ogólniejsze ujęcie zagadnień, z uwzględnieniem obiektów przeznaczonych nie tylko do pracy ciągłej, ale także i np. dyżurnowania, umożliwia stosowane w teorii eksploatacji podejście systemowe. Rozpatrywany jest system eksploatacji obiektu /obiekt techniczny jest elementem tego systemu/ i niezawodność jako pojęcie systemowe. Określa się mianowicie zbior stanów eksploatacyjnych obiektu:

stany niezawodnościowe	stan zdatności
	stan pośredni
	stan niezdatności

stany trwałościowe	stan zdatności eksploatacyjnej stan graniczny
stany obsługiwanie	stan naprawy stan alimentacji stan kontroli stan profilaktyki
stany użytkowania	stan pracy stan dyżurowania

i na tym zbiorze definiuje się wskaźniki niezawodnościowe.

Teoria systemów eksploatacji w tym ujęciu jest jeszcze mało zaawansowana. Część teorii zajmująca się opisem przebywania obiektów w stanie zdatności i pojawiania się uszkodzeń jest oczywiście lepiej rozwinięta niż część zajmująca się stanami niezdatności i procesami odnowy. Widać przydatność teorii masowej obsługi do opisu procesów odnowy. Narzędziem, które może być użyte zarówno do analizy procesów użytkowania jak i odnowy, są równania różniczkowe Kołmogorowa o postaci:

$$\frac{d}{dt} \bar{P}/t/ = \bar{P}/t/ \bar{\Lambda}$$

gdzie: $\bar{P}/t/$ - wektor prawdopodobieństwa stanów w chwili t
 $\bar{\Lambda}$ - macierz intensywności przejścia ze stanu do stanu

Praktycznym celem teorii eksploatacji jest kształtowanie w sposób pożądany czyli optymalizacja wskaźników procesu eksploatacji, w tym wskaźników niezawodnościowych. Oprócz trudności metodologicznych występuje tu trudność wyboru kryteriów optymalizacji.

Prostym kryterium jest kryterium minimalizacji całkowitych kosztów procesu eksploatacji, obejmujących koszty realizacji obiektu technicznego i koszty jego eksploatacji /Rys. 2.3/. Dla współczesnych, rzeczywistych obiektów technicznych koszty eksploatacji są kilka do kilkudziesięciu razy większe od kosztów realizacji /7/. Może to być przyczyną, że w konkretnych przypadkach osiągnięcie R_{opt} - dosyć oddalonego wzdłuż osi niezawodności od obszaru rzeczywistych obiektów - lub nawet tylko znaczniejsze przybliżenie się do wartości optymalnej, może być technicznie nie możliwe przy użyciu znanych metod.

26

Omówione kryterium nie uwzględnia kosztów, jakie pociągają za sobą awarie obiektu gdy chodzi o nieterminowe czy niepełne wykonanie zadań, które ma wypełnić obiekt. Pewnym udoskonaleniem jest kryterium w postaci maksymalizacji efektywności systemu eksploatacji:

$$Z/R/ = \max_R \{ D/R/ - [I/R/ + K/R/] \}$$

gdzie: Z/R/ - efektywność

D/R/ - dochody z systemu

I/R/ - nakłady inwestycyjne na realizację systemu

K/R/ - koszty eksploatacji systemu

Kryterium powyższe przedstawiono na Rys. 2.4. Widać, że obydwa kryteria we współczesnej praktyce technicznej prowadzić mogą do wyników takich samych jak najprostsze możliwe kryterium maksymalizacji niezawodności. Trzeba też mieć na względzie fakt, że w przypadku niektórych obiektów, których awaria zagraża życiu ludzkiemu /np. samoloty/ kryterium minimalizacji kosztów nie może być przyjęte.

W praktyce nie stosuje się sformalizowanych metod optymalizacji. Rozpatrywane są pewne, wybrane dla danego obiektu /systemu- eksploatacji/ kombinacje aspektów: osiągnięcia techniczne, gotowość, koszty. Gdy chodzi o procesy odnowy to aktualnym trendem jest odstępowanie od zasady wykonywania remontów po ustalonych czasach i wymiany zespołów po przejściu określonego ресурсu.

Dawny "sztywny" sposób eksploatacji przynosił niepełne wykorzystanie potencjałów czasowych oraz ujemny wpływ na niezawodność zabieg wymiany i procesu docierania się nowych zespołów. Aktualna tendencja polega na eksploatacji "według stanu". Eksploatacja taka wymaga oczywiście dokładnej kontroli parametrów obiektu, w tym pomiarów dokonywanych w stanie pracy obiektu.

Podnoszenie niezawodności charakteryzującej stan zdolności uzyskuje się na etapie projektowania, produkcji i eksploatacji. Stosowane są przede wszystkim wszelkie "normalne" metody mające na celu doskonalenie konstrukcji, podniesienie jakości wytwarzania i zapewnienie właściwego użytkowania. Narzędziem specjalnym, wnoszącym jednak dodatkowy koszt, jest stosowanie redundancji /nadmiarowości/.

27

Rozróżnia się następujące rodzaje redundancji:

- 1/ redundancja wytrzymałościowa /obciążeniowa/ - duże współczynniki bezpieczeństwa,
- 2/ redundancja parametryczna - wąskie granice tolerancji dla cech mierzalnych obiektu,
- 3/ redundancja strukturalna - występują: elementy rezerwowe w postaci:
 - a/ rezerwy gorącej /aktywnej, obciążonej/
 - b/ rezerwy zimnej /nieobciążonej/
- 4/ redundancja funkcjonalna - inne elementy mogące w określonym zakresie realizować funkcje danego elementu
- 5/ redundancja informacyjna - informacja podawana jest wielokrotnie i z różnych źródeł,
- 6/ redundancja czasowa - obiektowi w procesie funkcjonowania przysługuje możliwość poświęcenia pewnego czasu dla przywrócenia charakterystyk technicznych /czas reakcji obiektu jest dłuższy niż czas reakcji operatora lub układu automatycznego sterowania/.

W układach cybernetycznych, w przypadku redundancji, w której występujące elementy rezerwowe /t.zn. redundancji strukturalnej, ale w pewnej mierze może to dotyczyć także redundancji funkcjonalnej i informacyjnej/ służą one do wypełnienia dwojakiego rodzaju zadań:

- 1^o - ukształtowania właściwego sygnału mimo występujących błędów przez odrzucenie sygnałów z błędem lub obliczenie średniej,
- 2^o - wykrycia wadliwie funkcjonujących elementów i powiadomienie o nich operatora lub systemu nadzorczego.

Obecnie osiągnięty stan wskaźników eksploatacyjnych rzeczywistych obiektów technicznych charakteryzuje się stosunkowo wysokimi wskaźnikami dla obiektów realizujących procesy informacyjne i znacznie niższymi dla obiektów, których przeznaczeniem jest realizacja procesów materialnych i energetycznych.

Tak więc np. MTBF dla współczesnych samolotów i śmigłowców wojskowych wynosi kilka godzin przy również kilku człowieko-godzinach obsługi na 1 godzinę lotu / 6/x. Dla myśliwca F-14, MTBF wynosi 6h przy gotowości 95%. Dla śmigłowca UH-60 MTBF = 4h przy 1h obsługi na 1h lotu, dla śmigłowca AAH-64 odpowiednio MTBF = 3,25h przy 7,7h obsługi /USA/.

MTBF dla robotów przemysłowych Unimate 2000 wynosi 400h /3/. Sieć energetyczna jest średnio w stanie niesprawności w ciągu 2,5h rocznie /USA/ /6/. Wskaźniki osiągnięte w systemach przetwarzania informacji i sterowania podamy dla kilku przykładów /6/.

Komputery

MTBF dla podstawowych zespołów komputerów, jak procesory, pamięci, zasilacze, wynosi od 100 do 100 000h. Takie same wartości MTBF osiągają konwencjonalne komputery zbudowane z tych zespołów. Np. systemy bankowe, działające bez przerwy /24h na dobę/ mają MTBF ok. 13 000h /18 miesięcy/. Z tych samych zespołów w niektórych laboratoriach udało się zbudować systemy komputerowe o MTBF 10000 razy wyższym, z przeznaczeniem do zastosowania w krytycznych obwodach sterowania rakiet i samolotów, kontroli ruchu lotniczego, reaktorów jądrowych, aparatury medycznej decydującej o życiu ludzkim, w szczególności odpowiedzialnych obiektach przemysłowych. Są to systemy wielokomputerowe lub wieloprocessowe, do których wprowadzono redundancję strukturalną, funkcjonalną i informacyjną, a także inne "banalniejsze" postacie redundancji. Stosuje się zazwyczaj potrójne rezerwowanie, zarówno gorące jak i zimne. Systemy te są znane pod nazwą "tolerujących błędy" /fault tolerant/. W pewnym systemie tego typu służącym do sterowania lotem uzyskano prawdopodobieństwo pojawienia się błędu podczas 10-godzinnego lotu wynoszące 10^{-9} .

Wielką rolę w systemach tolerujących błędy odgrywa oprogramowanie, które zazwyczaj obejmuje od kilkuset tysięcy do miliona wierszy. Oprogramowanie umożliwia wykorzystanie redundancji sprzętowej, samo stwarza redundancję software'ową, oraz diagnostykę błędów.

Systemy sterowania promu kosmicznego Columbia

Poniższa tabela przedstawia rozwiązania redundancyjne zastosowane w sterowaniu Columbią.

Nazwa systemu	Liczba systemów	Działanie
Komputer pokładowy	5/4 główne, 1 pomocniczy/	Oprogramowanie sprawdza słowa wyjściowe komputerów bit po bicie oraz sprawdza 500 razy na minutę czy komputery są zsynchronizowane. Odstępy i parzystość jest sprawdzana hardware'owo. Zarówno wyniki sprawdzeń programowych jak i sprzętowych mogą wyeliminować komputer działający błędnie. W przypadku powtórzenia się błędu powiadamiana jest załoga, która może ręcznie przełączyć na komputer pomocniczy. Przełączenie to może być także dokonane z innych przyczyn, w każdej chwili wg. uznania załogi.
Multipleksery i demultipleksery do sprzężenia przyrządów	8/4 wejściowe i 4 wyjściowe/	Oprogramowanie sprawdza wejścia i wyjścia multiplekserów i demultiplekserów, ponadto wejścia są sprawdzone sprzętowo. Do funkcjonowania systemu niezbędny jest tylko jeden zespół wejściowy i jeden wyjściowy.
Interfejsy elektroniczne głównych silników	3/1 do każdego silnika/	Zespoły te dostarczają do komputera informację o funkcjonowaniu silników głównych. Gdy któryś silnik działa niewłaściwie komputer może go wyłączyć. Decyzja o wyłączeniu jest podejmowana przy wykorzystaniu redundancji komputerów. Prom może osiągać orbitę z dwoma tylko funkcjonującymi silnikami i może lądować bezpiecznie z jednym silnikiem.
Giroskopowe przetworniki prędkości kątowej (zakrełomiernie)	10/4 na promie po 3 na każdym z silników startowych na paliwo stałe/	Oprogramowanie daje odczyt średniej ze wskazań lub tylko wskazań jednego przetwornika. Gdy oprogramowanie stwierdzi, że któryś przetwornik daje błędne wskazania, to eliminuje je ze średniej. Jeśli 3 przetworniki na promie lub 2 na silniku startowym dają wskazania, pozostałego przetwornika, poprawnie działającego.
Przyspieszoniomierze	4	Jak wyżej.
Napędy ruchu silników korekcyjnych	4/2 dla każdego z 2 silników/	Oprogramowanie określa czy napędy działają poprawnie /czy odbierają sygnały sterujące i czy na nie reagują/. Wyłączenie napędu działającego niepoprawnie jest dokonywane ręcznie - system alarmuje załogę.
Monitory ekranowe	4	Sprawdzenie sprzętowe. Alarmowanie załogi, w przypadku złego działania, ręczne przełączenie na pomocniczy monitor.

Rękojeść sterowania obrotem:	3 rękojeści i 9 przetworników /3 dla każdej osi każdej rękojeści/	Oprogramowanie przeprowadza selekcję odczytów wskazań przetworników każdej osi oraz każdej rękojeści.
------------------------------	---	---

Systemy sterowania pocisku raketowego Minuteman III

Minuteman III stanowi podstawowy środek przenoszenia ładunków jądrowych w arsenale USA. Jest 3-stopniowym międzykontynentalnym pociskiem balistycznym na paliwo stałe. Jest wyposażony w inercyjny system sterowania /pomiar i całkowanie przyśpieszeń względem trzech osi układu inercyjnego wyznaczonych przez platformę stabilizowaną giruskopowo/.

Wysoką niezawodność osiąga się przez 100% kontrolę części na etapie produkcji, przy czym korzysta się z usług specjalnego kooperatora, którego jedynym i wyłącznym zadaniem jest sprawdzanie niezawodności części i przyjmowanie odpowiedzialności za tę niezawodność. Ponadto stosuje się 250-godzinną próbę każdego ważniejszego zespołu.

Pociski umieszczone w schronach /silosach/ są w gotowości 2,4h na dobę, przy czym bez przerwy podlegają monitorowaniu przez system komputerowy składający się z komputera pokładowego pocisku oraz komputera nadrzędnego obsługującego 10 silosów. Kontroli podlegają m.in. napięcia w określonych punktach oraz dryft w systemie nawigacji inercyjnej. Wykrywane błędy dzielą się na dwie kategorie:

1/ uszkodzenie uniemożliwiające osiągnięcie przez pocisk celu.

Natychmiastowa naprawa;

2/ wyjście parametru z tolerancji. Powoduje zawiadomienie obsługi /alarmu/. Naprawa jest dokonywana, gdy jedna i ta sama część jest powodem alarmu dwukrotnie w ciągu tygodnia.

System kontrolny ma własną diagnostykę. Raz na miesiąc przeprowadzany jest specjalny test - symulacja lotu do celu. Niezawodność Minutemana określa wskaźnik: 1 uszkodzenie na 1,9 miliarda częściogodzinny /przy 8000 części/.

31

Elektroniczne systemy sterowania silnikiem samochodowym /zapłon,
wtrysk paliwa/

W ciągu 1 roku /okres gwarancji/ uszkodzeniu ulega i wymaga naprawy
1% systemów /samochodów/ - średni czas eksploatacji 400h rocznie.

Telewizor

Uszkodzeniu ulega i wymaga naprawy 2 do 10% telewizorów w ciągu
1000h - średni czas eksploatacji 2000h rocznie.

Stymulator serca

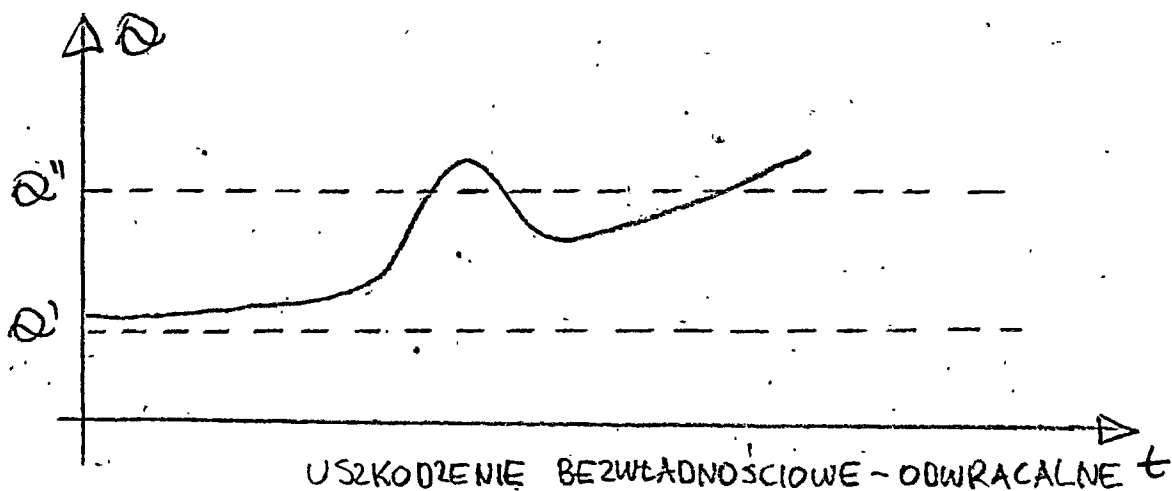
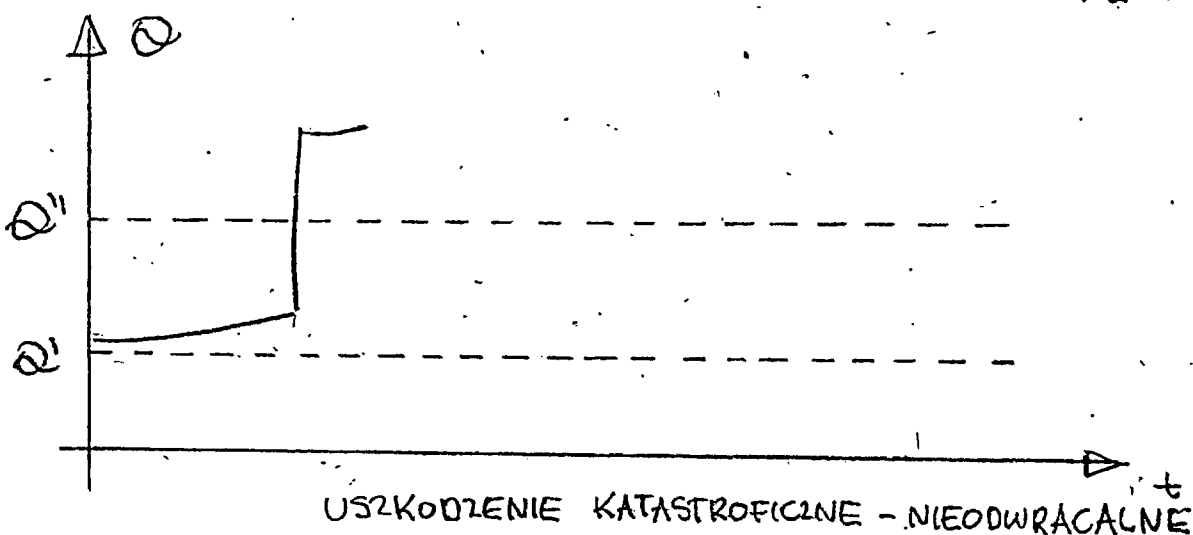
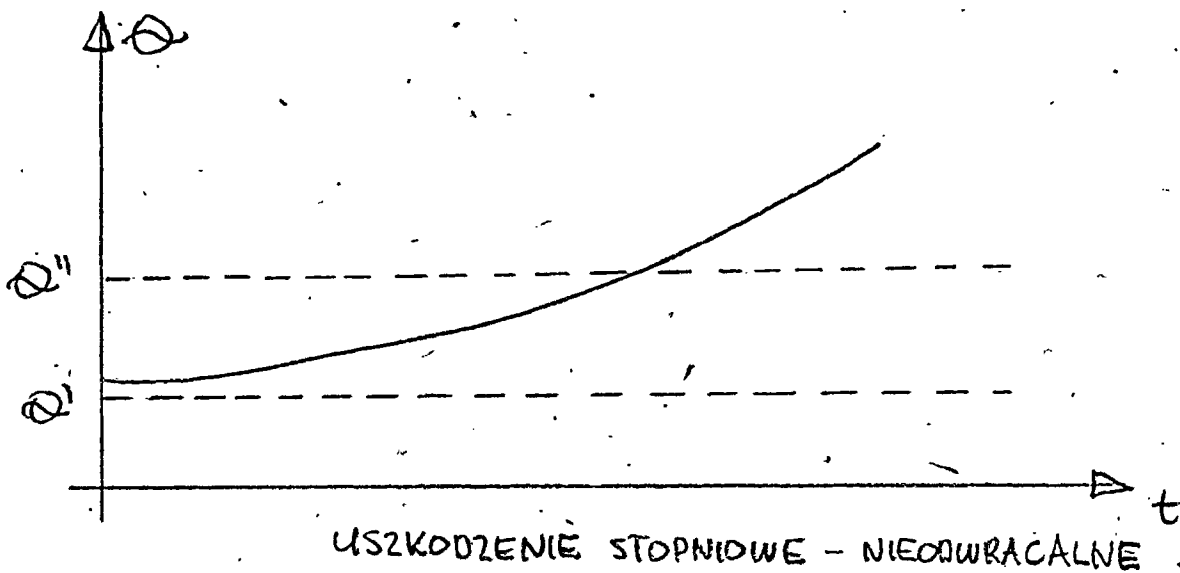
Pośród obserwowanej populacji 170 000 stymulatorów stwierdzano
1 uszkodzenie na miesiąc.

Sieć telefoniczna

Stan niesprawności 3 minuty rocznie.

Kontrola ruchu lotniczego

W 1980r. w USA było 35 przerw w funkcjonowaniu dłuższych niż
1 minuta. Średnio jedno centrum miało 15h niesprawności rocznie
/wraz z wyłączeniami planowymi w celu obsługi/.



Q - PARAMETR t - CZAS

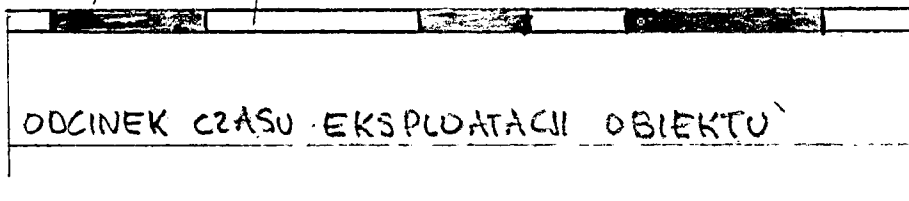
$Q'' - Q'$ - DOPUSZCZALNY ZAKRES WARTOSCI PARAMETRU

RYS. 2.1

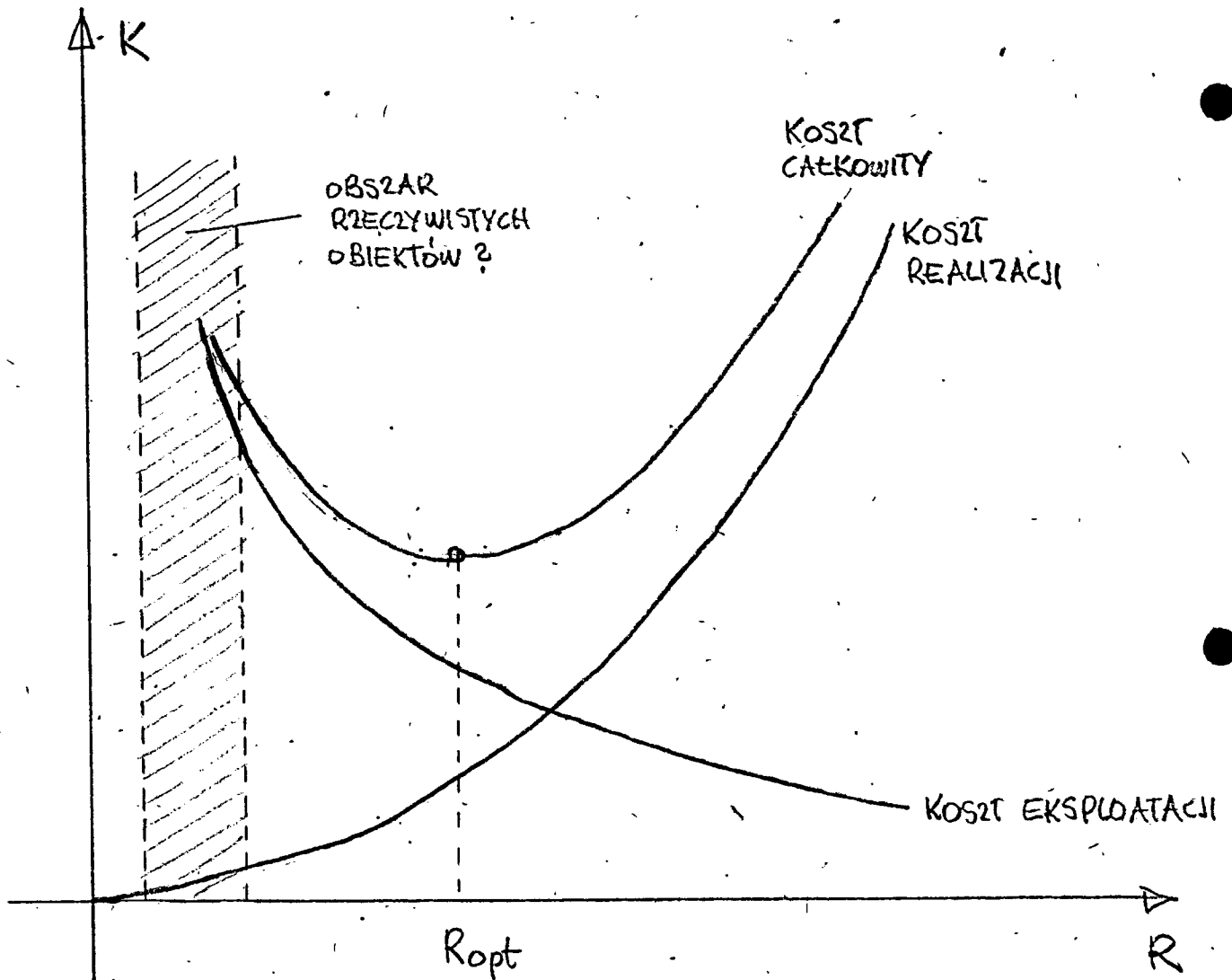
48

OKRESY POPRAWNEJ PRACY (STAN ZDATNOŚCI)

OKRESY ODNOWY (STAN NIEZDATNOŚCI)



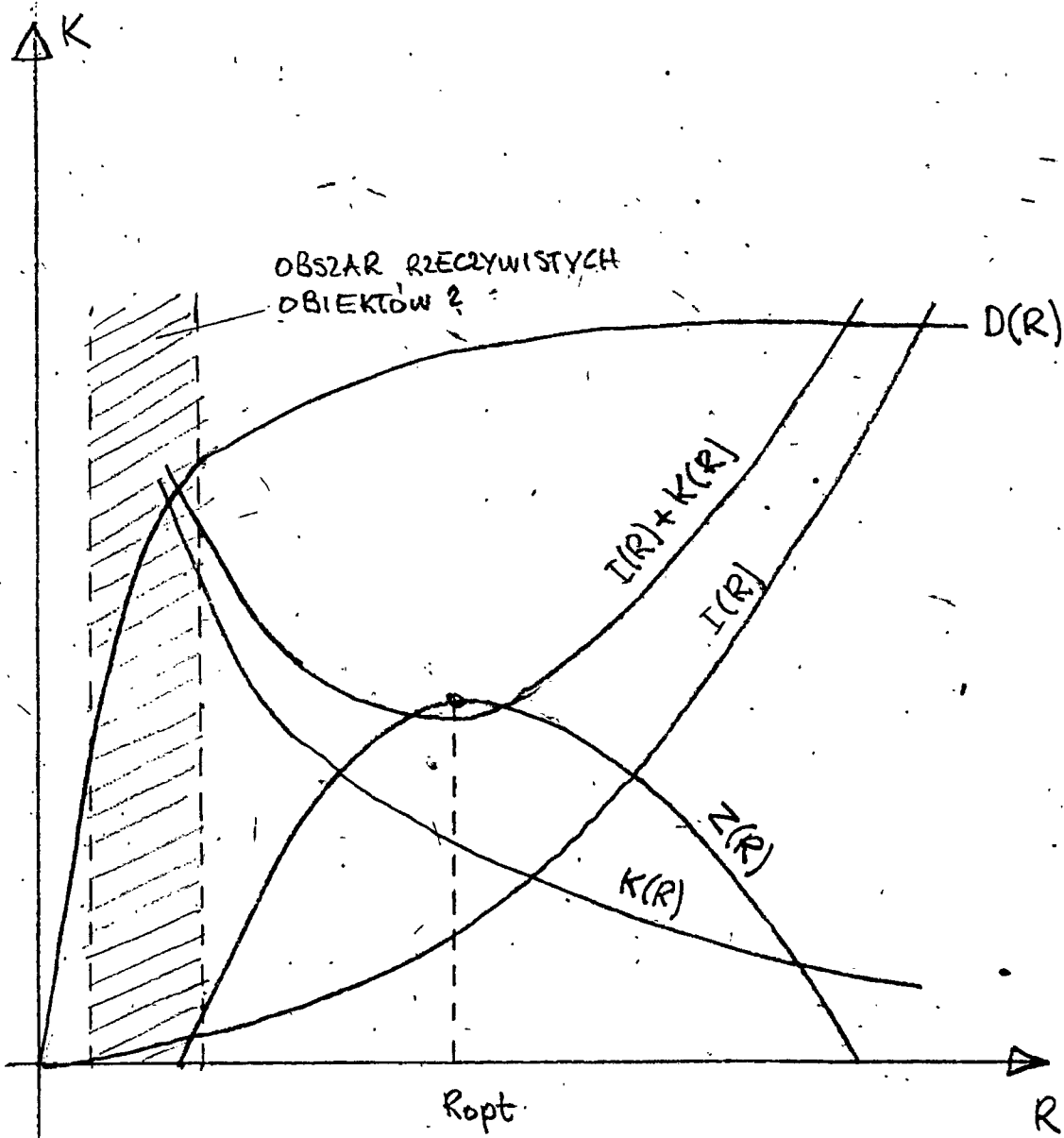
RYS. 2.2



K - KOSZT

R - NIEZAWODNOŚĆ

RYS. 2.3



RYS. 24

L i t e r a t u r a

1. Czerkasow G. "Nadiożnost` technicznych sistem s wriemiennoj izbytoczno_{st}ju", 74.
2. Detkooor J., Groboillot J. "Trwałość urządzeń technicznych", 71
3. Engelberger J.F. "Robotics in Practice", 80
4. Francis T. Janbych G. "Izbytoczno_{st}` w elektronnych` dyskretnych` ustroistwach", 69
5. Haliday L. "Integracja technologii", 71
6. IEEE Spectrum - numer specjalny "Reliability", October 1981
7. Konieczny J., "Sterowanie eksploatacją urządzeń", 75
8. Konieczny J, Olearczuk E, Żelazowski W. "Elementy nauki o eksploatacji ", 69
9. Langlois - Berthelot R. "Trwałość; niezawodność, funkcjonalność wyrobów przemysłowych", 72
10. "Problemy zapewniania niezawodności systemów technicznych" - zbiór, OPT Katowice, 76
11. Razumnyj W.M, Tołczenow O.W. "Ocena rabotosposobności ustroistw awtomatiki", 77
12. Silnin W.B, Zakowrajszin A.I. "Awtomaticzeskije prognozitowanije sostojanija aparatury uprawlenija i na_gludenija", 73.

Podsumowanie i wnioski

1. Na obecnym poziomie rozwoju techniki zasadne jest postawienie problemu automatyzacji w całym procesie eksploatacji urządzeń t.zn we wszystkich stanach eksploatacyjnych, łącznie z automatyzacją odnowy. Niezawodność eksploatacyjna współczesnych urządzeń technicznych, szczególnie złożonych systemów przeznaczonych do realizacji procesów materialnych i energetycznych, jest dosyć odległa od niezawodności optymalnej ze względu na koszt całkowity /obejmujący koszt realizacji urządzenia i koszt jego eksploatacji/. Jest tak dlatego, że koszty eksploatacji, a w nim koszty odnowy, są wielokrotnie większe od kosztu realizacji. Okoliczność ta wskazuje, że może być ekonomicznie uzasadnione "wbudowywanie" w urządzenia nowych podsystemów, w tym podsystemów służących automatycznej odnowie, podnoszące wprawdzie koszt realizacji urządzenia, lecz obniżające koszt eksploatacji. Podnoszenie niezawodności eksploatacyjnej spełniające kryterium kosztów nie jest przeciwstawne w stosunku do innych kryteriów nieekonomicznych, np. bezpieczeństwa środowiska naturalnego, czy bezpośredniego bezpieczeństwa ludzi.
2. Obecny etap rozwoju uznać można za wstępny, poprzedzający automatyzację procesów odnowy. Charakteryzuje się on wprowadzaniem zasad eksploatacji wg stanu, automatycznej diagnostyki, doskonaleniem rozwiązań konstrukcyjnych urządzeń w celu usprawnienia obsługi oraz racjonalizacją samej obsługi dokonywanej przez ludzi. W szczególnych, trudnych warunkach środowiskowych /atomistyka, badania kosmiczne/ stosowane są naprawy zdalne przy użyciu telemanipulatorów, przy czym niektóre z czynności naprawczych są automatyzowane.
3. Przeprowadzone rozeznanie literaturowe wskazuje, że automatyzacja procesów odnowy uszkodzeń technicznych nie jest dotychczas przedmiotem systematycznych badań i opracowań. Znane są pojedyncze rozwiązania techniczne w różnych dziedzinach wykazujące cechy "regeneracyjne" jak np.:

- zautomatyzowane reaktory chemiczne, w których skład substancji podlega regeneracji chemicznej /sposób stosowany m.in. w stacjach oczyszczania powietrza/,
 - sygnalizatory świetlne z automatyczną wymianą żarówek,
 - samouszczelniające się zbiorniki /stosowane np. w samolotach wojskowych jako zbiorniki paliwa odporne na przestrzelenie/.
4. Potrzebne jest podjęcie pracy nad systematyzacją i opisem procesów automatycznej odnowy z nawiązaniem do biologicznych procesów regeneracji. Rozważenia wymaga sama relacja między pojęciem "automatyczna odnowa" i "regeneracja".
Wydaje się, że dokonanie w sposób zautomatyzowany przeszczepu jakiegoś organu stanowić może automatyczną odnowę organizmu, natomiast nie będzie uznane za regenerację. Czy może zaistnieć podobny problem w odniesieniu do urządzenia technicznego?
5. Poszukiwanie podejścia bionicznego do problemu automatycznej odnowy wynikać może nie tylko ze związku z regeneracją, ale z podobieństw /nie wykluczone, że tylko powierzchniowych/ między stanami eksploatacyjnymi, typami uszkodzeń, istnieniem procesu starzenia się urządzeń technicznych oraz stanami, typami uszkodzeń i procesem starzenia się organizmów żywych.
6. W nawiązaniu do regeneracji organizmów żywych, można wyróżnić następujące składniki procesu automatycznej odnowy urządzeń:
- 1/ wykrycie uszkodzenia
 - 2/ wzorzec własności urządzenia, które mają być odnowione,
 - 3/ technologia odnowy,
 - 4/ sterowanie procesem odnowy i kontrola wyników.
7. Można spodziewać się, że w automatycznej odnowie znajdują zastosowanie różnorodne technologie, w tym także dziś nieznanne. Należy przy tym spodziewać się wystąpienia w jednym systemie /urządzeniu/ różnych technologii.
Można przewidywać następującą, główne typy technologii:
- 1/ technologie samosterujące się - specyficzne procesy jak np. w przypadku samouszczelniających się zbiorników,

2/ technologie robotowe - naprawy będzie dokonywał robot. Możliwe są przy tym co najmniej dwa różne warianty technologii robotowych: 1^o - antropomorficzna, w której robot wypełnia funkcje podobne do funkcji człowieka wykonującego naprawę, 2^o - "entomomorficzna", w której funkcje robotów naprawczych są podobne do funkcji członków społeczeństw owadzych wykonujących prace naprawcze,

3/ technologie bioniczne, które byłyby możliwe do zastosowania jedynie w przypadku pojawienia się całkiem nowych układów technicznych, złożonych z "komórek" tworzących "tkanki" i w pewnym zakresie zdolnych do rozwoju podobnego do rozwoju biologicznego, a tym samym regeneracji podobnej do regeneracji biologicznej. Funkcjonowanie takiego układu technicznego musiałoby się opierać na zasadach podobnych do "aksjomatów rozwoju" biologicznego /wg. M.J.Aptera "Cybernetics and Development"/:

- 1^o - podstawowym elementem jest komórka, posiadająca zbiór instrukcji genetycznych określających jej zachowanie /behavior/
- 2^o - wszystkie komórki organizmu są identyczne genotypowo,
- 3^o - organizm rozwija się przez samoreprodukcję tworzących go komórek,
- 4^o - rozwój zależy w sposób istotny od komunikacji między komórkami,
- 5^o - organizm kontroluje podstawowe aspekty swego rozwoju.

Stwarzanie takich układów technicznych jest mało prawdopodobne, a gdyby miały one powstać, to w bardzo odległej perspektywie.

8. Podczas rozeznania dotyczącego regeneracji organizmów żywych natrafiono na interesujące wątki tematyczne dotyczące pola morfogenetycznego jako pola informacyjnego i zachodzących w tym polu procesów aktywacji i inhibicji. Jest ~~to~~ godne odnotowania, że w różnych procesach biologicznych znajduje zastosowanie sterowanie oparte na dwu przeciwstawnych zjawiskach: aktywacja i inhibicja w morfogenezie, pobudzanie i hamowanie w czynnościach mózgu, działanie układu parasympatycznego i sympatycznego w autonomicznym układzie nerwowym. W literaturze cybernetycznej nie natrafiono na analizę tych prawidłowości ani możliwości ich wykorzystania w układach technicznych. To samo dotyczy pola informacyjnego.