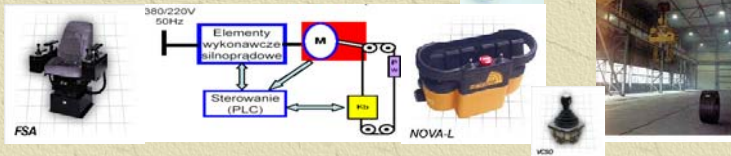


Monitorowanie i Kontroling Systemów Transportu Bliskiego

Wprowadzenie



Monitoring i kontroling w transporcie bliskim

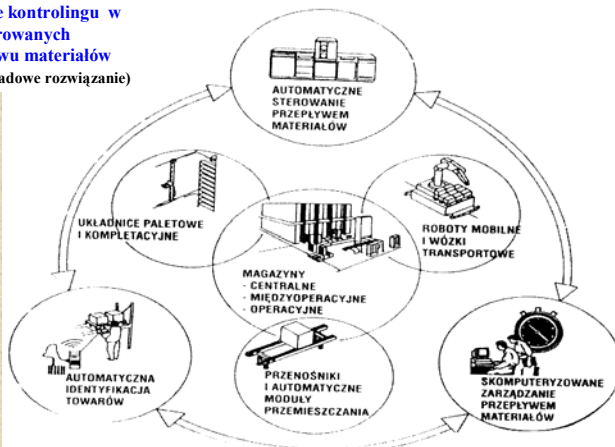
Podstawowe definicje i pojęcia

- ✳ **Monitoring** – badania, analiza i ocena stanu układu (środowiska) w celu obserwacji zachodzących w nim zmian (w odniesieniu do układów technicznych obejmuje bieżącą identyfikację parametrów stanu i pozwala na prognozowanie dalszej zdolności eksploatacyjnej tych układów). Monitorowanie stanu technicznego prowadzone jest w układach transportu bliskiego przeważnie przy wykorzystaniu technik oraz metod i środków diagnostycznych klasyfikowanych jako tzw. nieinwazyjne.
- ✳ **Diagnostyka** – metody rozpoznawania i oceny stanu technicznego maszyn i urządzeń na podstawie niezbędnych pomiarów (stosowane metody pomiarów diagnostycznych mogą należeć do obszarów technik inwazyjnych jak i nieinwazyjnych)
- ✳ **Pomiar** - uzyskiwanie wiadomości lub informacji o określonym procesie (doświadczalne wyznaczenie z określoną dokładnością miary danej wielkości)
- ✳ **Kontroling** – szczególny system koordynacji określonych działań w sferze zarządzania, przede wszystkim w zakresie planowania i kontroli (w tym także kontroli stanu technicznego, bieżącego monitorowania parametrów funkcjonalnych danego urządzenia i prognozowania jego dalszej zdolności eksploatacyjnej) oraz gromadzenia i przetwarzania informacji (kontroling strategiczny i operatywny (operacyjny)).

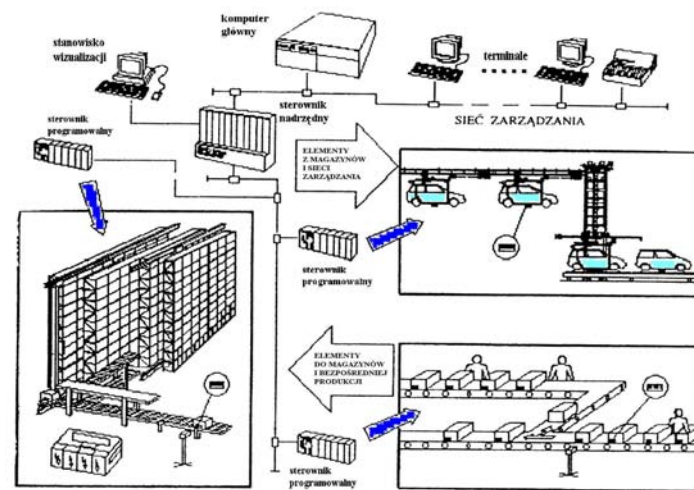
Rozwiązania strukturalne systemów kontrolingu i monitoringu transportem bliskim i magazynowaniem ładunków

Współczesne zintegrowane systemy automatycznego sterowania pracą urządzeń transportu bliskiego i magazynowania w połączeniu z automatyczną identyfikacją ładunków (monitorowanie drogi transportowej) stanowi integralną część systemu tzw. kontrolingu operacyjnego produkcji, w tym zarządzania przepływem materiałów i informacji w logistyce.

Elementy składowe kontrolingu w logistycznie zintegrowanych systemach przepływu materiałów i informacji (przykładowe rozwiązanie)



Rozwiązania strukturalne systemów monitorowania i kontroli funkcjonalnego układów transportu bliskiego w produkcji

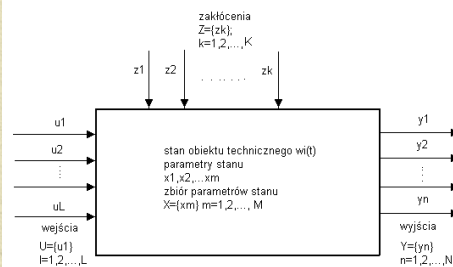


Przykładowa struktura funkcjonalna systemu sterowania przepływem jednostek ładunkowych i informacji w przedsiębiorstwie produkcyjno-montażowym (np. montownie samochodów, magazyny)

Pomiary, badania, diagnostyka, monitoring

- ✳ **Urządzenia techniczne to systemy z przepływem masy, energii i informacji.** Są to układy transformujące energię z nieodłączną jej dyssypacją (zatrącanie energii wraz z upływem czasu) wewnętrzną i zewnętrzną. Nośnikami informacji o stanie obiektu są:
 - procesy robocze, w których zachodzi przetwarzanie jednego rodzaju energii w inny lub jej przenoszenie, np. przenoszenie energii mechanicznej w układach napędowych maszyn, zmiana energii mechanicznej na elektryczną;
 - procesy towarzyszące (reszkotowe), które powstają jako wtórny efekt procesów roboczych, np. drgania, hałas, nagrzewanie się elementów, zanieczyszczenia oleju;
 - procesy nie związane z funkcjonowaniem obiektów, lecz wytwarzane w specjalnych urządzeniach zewnętrznych, np. magnetyczne, promieniowanie rentgenowskie i promieniotwórcze wykorzystywane w badaniach nieniszczących urządzeń.
- ✳ **Obiekt badań (przedmiot diagnozy) – może być to cały obiekt** (np. dźwig, suwnica, przenośnik), **zespół** (np. zespół napędowy, wciągarka, silnik, przekładnia zębata), **podzespół** (np. układ hamulowy), **skojarzenie-para kinematyczna** (np. łożysko toczne), a nawet **pojedyncza część** (np. lina, wałek atakujący). Obiekt badań diagnostyki technicznej traktuje się jako system, w którym wyodrębnią się zmienne:

- stanu X ;
- wyjściowe Y ;
- wejściowe U ;
- zakłóceń Z ;



Pomiary, badania, diagnostyka, monitoring

Istota diagnostyki technicznej

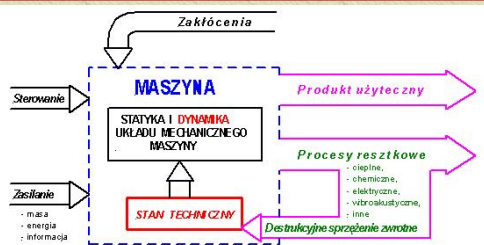
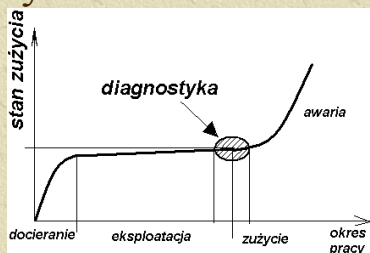
Idea diagnostyki technicznej polega na określeniu stanu złożonego systemu technicznego w sposób pośredni, bezdemontażowy na podstawie pomiaru generowanych sygnałów (symptomów) diagnostycznych i porównaniu ich z wartościami nominalnymi.

(symptom to zorientowana uszkodzeniowo miara sygnału diagnostycznego).

Wartość sygnału (symptomu) diagnostycznego musi być związana znaną zależnością z diagnozowaną cechą stanu maszyny roboczej będącej składnikiem systemu technicznego.

Przykładowe symptomy stanu technicznego maszyny

1. Zmiany stanu cieplnego
2. Zwiększony hałas
3. Pojawienie się drgań
4. Spadek efektywności pracy (spadek wydajności)
5. Zjawiska elektryczne
6. Starzenie materiałów eksploatacyjnych
7. Utrata szczelności



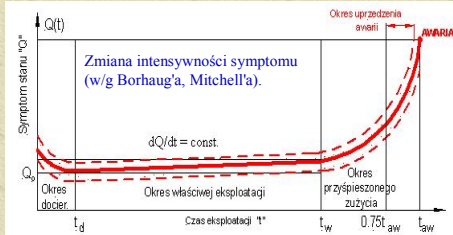
Dźwignica-maszyna (UTB) jako system z przepływem energii i informacji oraz możliwością obserwacji diagnostycznej

Przyjmując jako podstawę okres właściwej eksploatacji $t = \text{const}$, można uznać, że zadania diagnostyki technicznej (monitoringu) każdej maszyny (w tym UTB) sprowadzają się do wykłuczenia uszkodzeń przypadkowych i określenia chwili t_w , w której rozpoczyna się okres przyspieszonego zużycia, ponieważ proces zużycia maszyn ma charakter kumulacyjny (efekty zużycia narastają wraz z czasem eksploatacji) i przypadkowy w tym sensie, że nawet w pojedynczym jej elemencie możemy mieć do czynienia nie z jednym rodzajem zużycia, lecz z całym ich zbiorem.



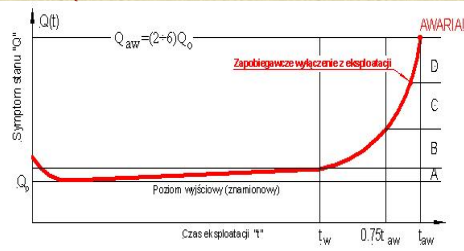
Intensywność uszkodzeń maszyny jako funkcja czasu eksploatacji

W procesie diagnostyki technicznej „z grupy metod nieinwazyjnych”, nie obserwujemy bezpośrednio efektów zużycia, lecz wyłącznie symptomy tych zjawisk. Intensywność zmiany wybranych symptomów w znakomitej większości przypadków narasta wraz z czasem eksploatacji, a więc ma również charakter kumulacyjny. Dodając więc przypadkowe zakłócenia, wynikające z istnienia błędów pomiaru czy niestabilności pracy maszyny, otrzymamy „krzywą życia obiektu” określaną przez intensywność „symptomu diagnostycznego” Q w funkcji czasu eksploatacji t (dQ/dt)



Jak łatwo zauważyć, w okresie właściwej eksploatacji przyrost intensywności symptomu Q jest niewielki i może być uznany za stały ($dQ/dt = \text{const}$). Z chwilą wejścia maszyny w okres przyspieszonego zużycia $t > 0.75 t_{aw}$, predkość narastania intensywności symptomu Q jest zmienna i rosnąca.

Przeszkodą w poprawnym uchwyceniu chwili wejścia w obszar przyspieszonego zużycia w danej maszynie jest przypadkowy rozrzut intensywności symptomu Q . Dlatego też dla poprawnego określenia „krzywej życia maszyny” niezbędna jest odpowiednio duża liczba odczytów wartości Q , co przy automatycznym, ciągłym nadzorze (monitorowaniu) nie stanowi problemu, natomiast determinuje częstość dokonywania pomiarów w dozorze okresowym, realizowanym przez zespół diagnostyczny.



Pomiary, badania, diagnostyka, monitoring

Istotnym problemem diagnostycznym, w procesie poprawnego określenia okresu przyspieszonego zużycia dla konkretnej maszyny lub urządzenia technicznego, jest zagadnienie przeniesienia uzyskanych wyników wartości bezwzględnych (Q_{aw} i t_{aw}) z danego urządzenia na inne egzemplarze tego samego typu maszyn. W przypadku większej liczby maszyn tego samego typu poddanych nadzorowi diagnostycznemu (monitorowaniu), wnioskowanie o stanie technicznym należy skierować na określenie trendu symptomu Q , a w skomplikowanych przypadkach zastosować specjalne metody badania trendów.

STANY GRANICZNE

- A - stan dobry
- B - stan zadowalający
- C - stan dopuszczalny
- D - stan niedopuszczalny

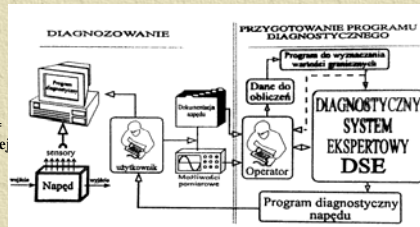


W inżynierii mechanicznej, w konstrukcji, wytwarzaniu i eksploatacji maszyn i urządzeń (zwłaszcza z grupy dźwignic), czynnikiem bezpośrednio stymulującym rozwój diagnostyki jest odpowiedzialność realizowanej funkcji. Odpowiedzialność ta może być definiowana w trudno wymiernych kategoriach bezpieczeństwa ludzi, lub też w kategoriach ekonomicznych wydajności i efektywności działania.

Zakładając, że dzięki dużej liczbie danych pomiarowych symptomu Q , uzyskanego w procesie diagnostycznym (monitoring), "krzywa życia maszyny" może zostać określona wystarczająco dokładnie. Na podstawie tej wiedzy, można prognozować decyzje co do rodzaju działań konserwacyjno - remontowych realizowanych w kolejnych etapach "krzywej życia".

Pomiary, badania, diagnostyka, monitoring

Szansa oceny stanu technicznego maszyny w ruchu, w trakcie realizacji zadania, przez obserwację wybranych symptomów, (np. wynikających z procesów wibroakustycznych - WA) została bardzo szybko rozpoznana i wdrożona w technice lotniczej, motoryzacyjnej i energetyce, a następnie zaadoptowana do pozostałych urządzeń (proces wibroakustyczny = proces dynamiczny zachodzący w maszynie lub jej otoczeniu, czyli drgania, hałas, pulsacje medium, emisja akustyczna zachodząca w zakresie częstotliwości 0 - 1 MHz i więcej). Stało się to możliwe między innymi dzięki elektronice, która stworzyła zawrotne możliwości pomiaru i analizy sygnałów WA.



Dzięki temu mamy obecnie możliwość wyselekcjonowania dowolnej składowej sygnału i przetworzenia jej w symptom, który jest współzmienniczy ze stanem technicznym interesującego nas elementu lub podzespołu w złożonym obiekcie mechanicznym (np. łożysko toczne w silniku odrzutowym, hamulec wciągarki w suwnicy). Co więcej, z tego samego sygnału drganiowego możemy uzyskać symptomy świadczące o zaawansowaniu zużycia dla niezależnych sposobów uszkodzania się (np. niewyrównoważenie wirnika, stan łożyska tocznego, obecność kawitacji itd.).



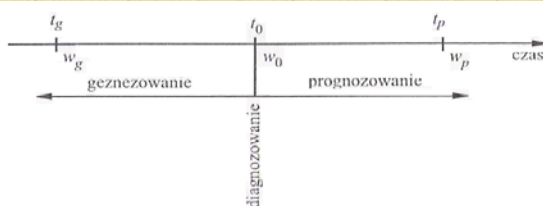
- Co i gdzie mierzyć? (jaki proces?, w jakim miejscu i kierunku?)
- Jak mierzyć? (jaki parametr, symptom?, jak często?)
- Jak wnioskować? (stany graniczne, klasy stanów, działania zapobiegawcze).

Podstawowe zadania diagnostyki technicznej (monitoringu i kontroli technicznego):

- badanie, identyfikacja i klasyfikacja rozwijających się uszkodzeń oraz ich symptomów, dyskryminant oraz syndromów,
- opracowanie metod i środków do badania i selekcji symptomów, dyskryminant oraz syndromów diagnostycznych,
- wypracowanie decyzji diagnostycznych o stanie obiektu technicznego (na podstawie symptomów) i wynikających z niego możliwości wykorzystania lub rodzaju i zakresie koniecznych czynności profilaktycznych

Formy działania diagnostycznego:

- Diagnozowanie
- Genezowanie
- Prognozowanie



Wartość Graniczna Symptomu Diagnostycznego - WGSD

WGSD – to umowna wartość wielkości fizycznej (np.. parametru ciśnienia, drgań, temperatury, itp.), lub umowna wartość wielkości funkcji empirycznej ustalonej przy pomocy odpowiedniej miary związanej z rodzajem wykorzystywanego zjawiska fizycznego.

Przekroczenie wartości granicznej mierzonego symptomu oznacza wejście układu technicznego lub elementu w stan przyspieszonego zużycia, cechującego się dużym prawdopodobieństwem zaistnienia stanu awaryjnego.

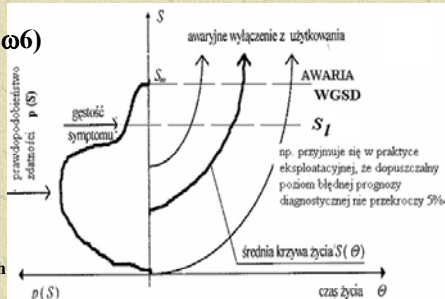
W diagnostyce bezpośredniej i w eksperymentach czynnych ustalenie wartości granicznej dla zorientowanych uszkodzeniowo symptomów stanu jest stosunkowo proste. W diagnostyce pośredniej problem znacznie się komplikuje.

Observacja uszkodzeniowo zorientowanego symptomu w naturalnych warunkach eksploatacji urządzeń technicznych, jest sześcioparametrowym procesem autoregresji (uwaga: autoregresja to jedna z metod predykcji statystycznej przyszłych wartości szeregu czasowego):

$$S = S(\Theta, \omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4, \omega_5, \omega_6)$$

gdzie:

- Θ – czas eksploatacji
- ω_1 – rozrzut jakości wykonania elementu
- ω_2 – rozrzut jakości wykonania układu
- ω_3 – rozrzut obciążenia roboczego
- ω_4 – rozrzut jakości wykonanych remontów
- ω_5 – rozrzut jakości wykonanych zabiegów i czynności konserwacji
- ω_6 – rozrzut warunków środowiska w jakich układ jest eksploatowany



Optymalna Wartość Graniczna Symptomu Diagnostycznego - S_l

Definicje:

S_l - optymalna wartość graniczna symptomu minimalizująca prawdopodobieństwo wystąpienia awarii w STB

$$S_l \leq \bar{S} + \sigma_s \sqrt{\frac{P(z)}{2A}}$$

S – wartość średnia symptomu w obserwowanym urządzeniu technicznym (M) lub grupie urządzeń STB z liczbą N obserwacji w różnych stanach eksploatacyjnych

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i$$

σ_s - odchylenie standardowe obserwacji

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (S_i - \bar{S})^2}$$

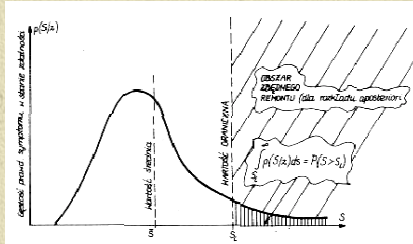
P(z) - prawdopodobieństwo zdatości (gotowości eksploatacyjnej) diagnozowanej maszyny M lub grupy urządzeń stanowiącej system TB

$$P(z) = \frac{M_z}{M}$$

gdzie:

M_z – ilość urządzeń zdatości do ruchu
M – całkowita ilość urządzeń w STB

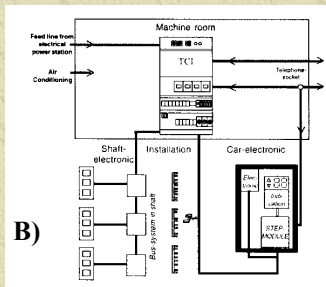
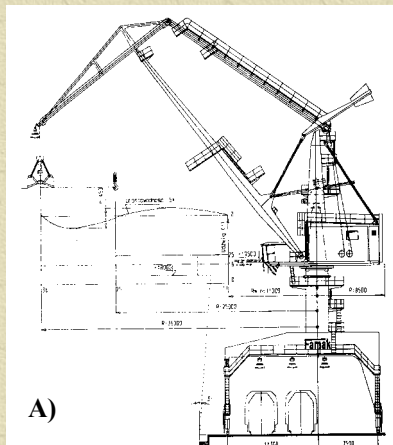
A – dopuszczalne w danym STB prawdopodobieństwo błędnych decyzji diagnostycznych (zbędnych remontów)



Ilustracja podstawy wyjściowej diagnostycznego modelu probabilistycznego do wyznaczania wartości granicznej S_l techniką Neymana-Pearsona teorii decyzji statystycznych

Pomiary, badania, diagnostyka, monitoring

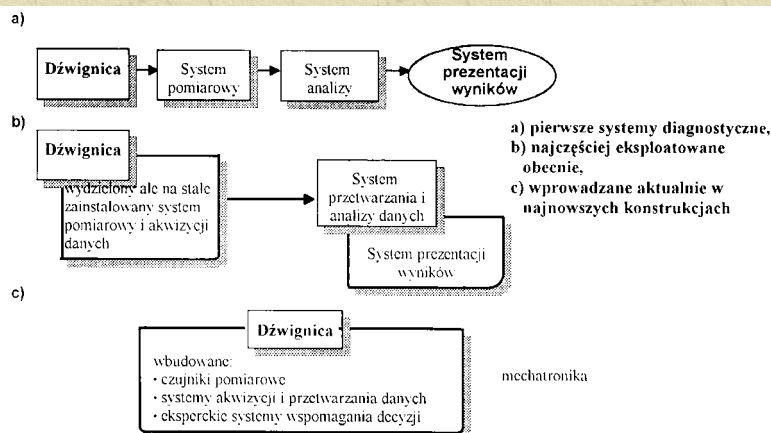
Przykładowe zastosowania systemów diagnostyczno-monitorujących w dźwignicach



- A) Żuraw portowy bramowy – FAMA S.A. 1999 System CSS firmy Allen Bradley
- B) Dźwigi osobowe firmy Thyssen Aufzuge – system monitorujący i diagnozujący eksploatację dźwigu + funkcja „ekspert teleserwis”

Pomiary, badania, diagnostyka, monitoring

Rozwiązania konstrukcyjne informatycznych systemów diagnostycznych



Pomiary, badania, diagnostyka, monitoring – pojęcia i definicje

- ✦ **Miara wielkości** – wartość wielkości wyrażona iloczynem liczby i jednostki miary
- ✦ **Jednostka miary** – wartość danej wielkości umownie przyjęta jako mająca wartość liczbową równą jedności
- ✦ **Wynik pomiaru** – miara wielkości mierzonej (uzyskana po uwzględnieniu poprawek i podaniu granic błędów przypadkowych)
- ✦ **Metoda pomiaru** – jest to zasada porównania zastosowana przy pomiarze
- ✦ **Sposób pomiaru** – przebieg czynności niezbędnych do wykonania pomiaru
- ✦ **Sprzęt pomiarowy** – środki techniczne służące do wykonania pomiarów, obejmujące aparaturę, przyrządy, wzorce, itp...
- ✦ **Czujnik – przetwornik pomiarowy** – element pomiarowy przeznaczony do zamiany mierzonej wielkości fizycznej na inną wielkość, przy czym wartości tych wielkości tworzą zbiory równej mocy (dwa zbiory są równej mocy, jeżeli istnieje wzajemne jednoznaczne odwzorowanie jednego zbioru w drugi)
- ✦ **Element przetwarzający** – część czujnika pomiarowego, w której bezpośrednio ma miejsce zamiana jednej wielkości fizycznej na drugą.

Pomiary, badania, diagnostyka, monitoring – pojęcia i definicje (cd)

- ✦ **Sygnal pomiarowy** – wielkość fizyczna występująca w procesie pomiaru, będąca wielkością mierzoną lub inną wielkością jednoznacznie od niej zależną.
- ✦ **Sygnal wejściowy [wielkość wejściowa]** – sygnał pomiarowy lub inna wielkość fizyczna podawana na wejściu przyrządu lub układu pomiarowego
- ✦ **Sygnal wyjściowy [wielkość wyjściowa]** – sygnał pomiarowy podany na wyjście przyrządu lub układu pomiarowego
- ✦ **Układ pomiarowo-diagnostyczny** – zestaw sprzętu pomiarowego, którego elementy (człony) są wzajemnie połączone w sposób umożliwiający wykonanie pomiaru oraz obróbki (np. cyfrowej) uzyskanego sygnału
- ✦ **Elementy układów pomiarowo-diagnostycznych**
 - a) wejściowe, na które podawany jest sygnał wejściowy
 - b) wyjściowe, elementy na których otrzymywana jest wartość wielkości mierzonej (np.: wskaźniki LCD, monitory, itp..)
 - c) pośredniczące (np.. kondycjonery sygnału, filtry, wzmacniacze, itp..)

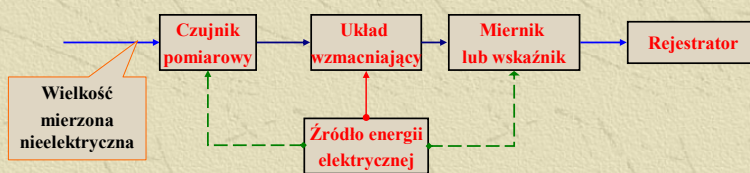
Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi

ZALETY

- ✦ możliwość przetworzenia prawie każdej wielkości fizycznej na odpowiadającą jej zmiany prądu lub napięcia
- ✦ możliwość rejestracji nawet małych zmian wielkości mierzonej
- ✦ łatwość przesyłania wyników na odległości (telemetria) jak również możliwość prowadzenia pomiarów zdalnie (tzn. bez kontaktu z obiektem badanym)
- ✦ możliwość równoczesnego rejestrowania na jednym przyrządzie wielokanałowym różnych parametrów danego procesu, co pozwala na określanie wzajemnych korelacji tych parametrów (**monitoring**)
- ✦ możliwość równoczesnego pomiaru jednego parametru w wielu punktach badanego obiektu, co stwarza warunki do określania rozkładu danego parametru (**monitoring**)
- ✦ możliwość przedstawienia wyników pomiaru w postaci cyfrowej z równoczesną możliwością zapamiętywania i przeliczania tych wyników zgodnie z ustalonym programem (cyfrowa obróbka sygnału)
- ✦ możliwość pomiarów różnych wielkości mechanicznych przy użyciu zunifikowanej aparatury.

Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi

Schemat blokowy podstawowego układu pomiarowego



Złożone układy diagnostyczno-pomiarowe lub przyrządy pomiarowe przedstawiane są w postaci łańcuchów działania jako schematy blokowe dające łatwość w śledzeniu systemu przetwarzania sygnału.

Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi

Czujnik pomiarowy – zapewnia jednoznaczny związek pomiędzy wielkością mierzoną X a sygnałem pomiarowym Y

Związek ten wyrażany jest zależnością: $Y=f(X)$ – zwany **funkcją przenoszenia**

(której wykres stanowi charakterystykę statyczną czujnika)

Pierwotny sygnał pomiarowy emitowany z czujnika rzadko jest wykorzystywany bezpośrednio ze względu na małą moc, dlatego najczęściej jest odpowiednio formowany, wzmacniany lub modulowany w dalszych blokach układu pomiarowego.

Rodzaje modulacji:

- a) w systemach harmonicznym (sygnał ciągły): modulacja amplitudy, częstotliwości, fazy;
- b) w systemach impulsowych (sygnał dyskretny): modulacja amplitudy impulsów, modulacja położenia impulsów; modulacja szerokości impulsów, modulacja impulsowa kodowa

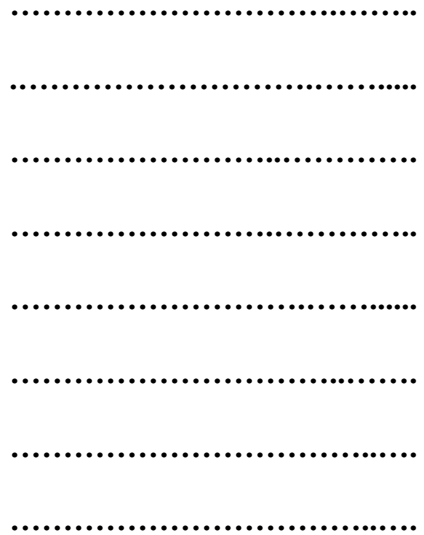
Błędy przyrządów pomiarowych (czujników)

- * **Błąd podstawowy** > błąd statyczny, który występuje wówczas gdy parametry otoczenia można określić jako quasistatyczne.
- * **Błąd podstawowy** odniesiony do zakresu pomiarowego przyrządu nosi nazwę **błędu podstawowego zredukowanego**.
- * **Błąd podstawowy zredukowany** jest najważniejszą wielkością opisującą jakość przyrządu i określającą jego klasę dokładności kl_p .
- * Wg. EN-PN rozróżniamy klasy dokładności: **0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5** oraz 4,0. Liczba oznaczająca klasę dokładności określa w procentach największą możliwą wielkość błędu podstawowego zredukowanego.

Zatem wartość błędu wylicza się z zależności: $\Delta = Y_{zn} * kl_p / 100$

(gdzie: Y_{zn} – maksymalna znamionowa wartość sygnału na danym zakresie pomiarowym)

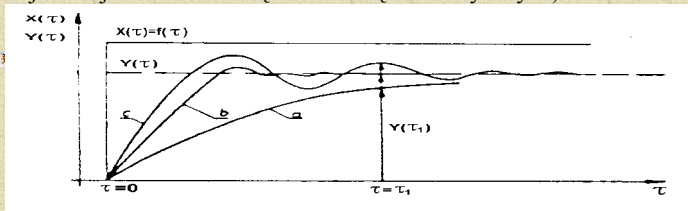
- * Błąd podstawowy zredukowany zawiera w sobie wszystkie wpływy zakłócające idealną zależność między wielkością wyjściową a wejściową w warunkach normalnych, a w szczególności:
 - ♦ systematyczne odchylenie od wymaganej charakterystyki statycznej
 - ♦ nieczułość (strefa martwa)
 - ♦ niejednoznaczność
 - ♦ płynięcie zera oraz niepełną powtarzalność (niestalość charakterystyk statycznych)



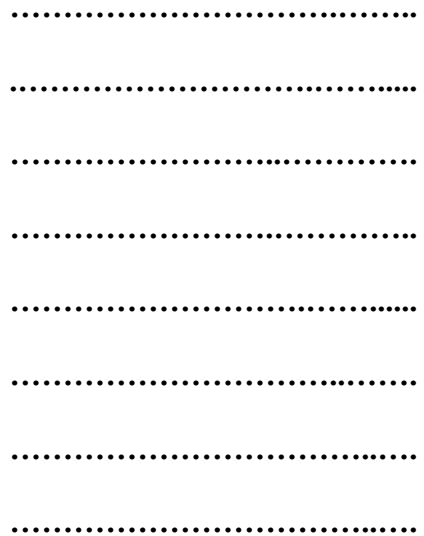
Pomiary wielkości nieelektrycznych metodami elektrycznymi

Błędy pomiarowe (błędy dynamiczne)

- * Przy pomiarach wielkości zmiennych w czasie zarówno wielkości mierzone, jak i odpowiadające im wielkości wyjściowe układu pomiarowego są w ogólnym przypadku funkcjami czasu: $X=f(\tau)$ oraz $Y=f(\tau)$
- * Przebiegi te nie są zazwyczaj równoczesne. Istnieją zawsze opóźnienia pomiaru. Oprócz przesunięcia w czasie, także kształt funkcji wyjściowej nie w pełni odwzorowuje wyjściowa funkcję mierzoną. Zjawiska te określane są jako błędy dynamiczne (wartość tych błędów jest niejednokrotnie większa niż błędów statycznych)

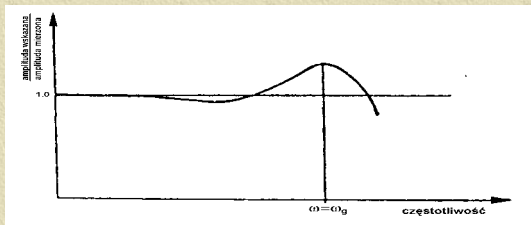


Przykłady odpowiedzi wyjściowych na wejściową funkcję skokową: a) aperiodyczny, b),c) oscylacyjny tłumiony



Błędy pomiarowe (błędy dynamiczne)

- * **Błąd amplitudy:** polega na zmniejszeniu lub zwiększeniu (w stosunku do wartości prawdziwej) amplitudy wskazań przyrządu w miarę zbliżania się do częstotliwości własnej przyrządu



- * **Błąd fazy:** polega na równoczesnym przesunięciu w czasie przebiegu rejestrowanego w stosunku do przebiegu rzeczywistego

