

Висока школа електротехнике и
рачунарства струковних студија

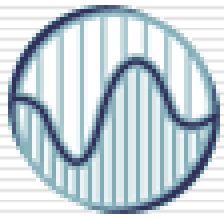
ДИЈАГНОСТИКА СИСТЕМА УБРИЗГАВАЊА ДИЗЕЛ МОТОРА

Основи техничке дијагностике мотора



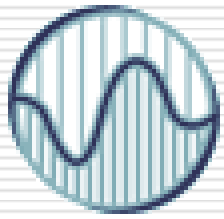
Основе дијагностике мотора

- ❑ Одржавање подразумева скуп најразноврснијих поступака који се примењују ради одлагања или потпуног спречавања настанка неисправности (квара) техничког система (мотора). Одржавање осим овога омогућава да се систем из „стања у отказу“ врати у „стање у раду“.
- ❑ Технологија одржавања моторних мотора (мотора) бави се поступцима одржавања и њиховог спровођења.



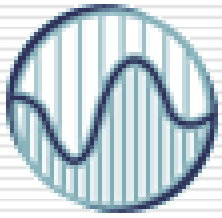
Основе дијагностике мотора

- На возилу се у току експлоатације јављају неисправности (откази или кварови) тј. стања када возило није способно да извршава задату функцију унутар граница дозвољених одступања.
- Кварови мотора, односно кварови система, обично настају када неки од његових саставних делова (подосистеми, скопови, елементи) не извршава функцију циља, што је проузроковано неисправностима тих елемената или неисправностима веза између различитих елемената који сачињавају возило.



Основе дијагностике мотора

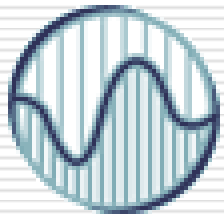
- ❑ На мотору отказују елементи или њихове везе, што доводи до отказа виших функционалних целина, па коначно и до отказа система, тј. целог мотора.
- ❑ Ово се код мотора веома ретко догађа. Делимични откази се догађају релативно често.
- ❑ Код моторних возила се као посебно значајне посматрају промене перформанси мотора зависно од његове старости, односно од пута које је прешло



Основе дијагностике мотора

- Из праксе је познато да сатрија возила нису у стању да обезбеде исте перформансе као и нова мотора. У вези с тим су и прописи које се односе на мотора:
 - Хомологацијски – нова возила,
 - Саобраћајни – возила у експлоатацији

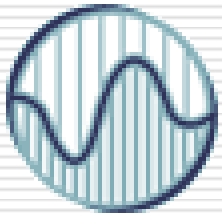
- Умањење радне способности мотора, поред перформанси има за последицу и смањење безбедности, економичности, повећање трошкова коришћења и одржавања (све у функцији старости и пређеног пута).



Основе дијагностике мотора

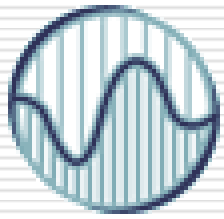
Класификација отказа, односно узроци отказа:

- ❑ Уграђене мане – резултат сопствене слабости система која може да буде проузрокована:
 - Грешкама при пројектовању
 - Грешкама при изради (материјала, делова, склопова, агрегата)
- ❑ Неадекватна употреба.
- ❑ Хабање, замор или старење.
- ❑ Секундарни откази. Откази који се јављају као последица примарних отказа.
- ❑ Случајни откази.



Основе дијагностике мотора

- ❑ Постављање дијагнозе представља поступак који претходи свакој појединачној операцији одржавања, односно представља њену прву фазу.
- ❑ Оно се састоји од утврђивања стања сваког дела система у зависности од природе операције одржавања, без обзира да ли се том операцијом задржава затечено стање или се систем враћа у прописано стање.



Основе дијагностике мотора

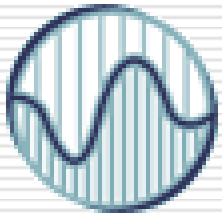
- ❑ Основни задатак дијагностике мотора је утврђивање стања мотора или појединих његових система и компонената без расклапања и ако је могуће без прекида рада мотора.
- ❑ Због сложености структуре мотора од посебног је интереса да се идентификују, благовремено дефинишу, односно да се што тачније утврди тренутак настанка одређене промене, као и да се спознају сви могући негативни ефекти те промене на укупну ефективност система, перформансе, поузданост, безбедност, трошкове....



Основе дијагностике мотора

- Приликом утврђивања стања поред најсавременијих техничко-технолошких достигнућа и даље се користе субјективна знања, искуства и осећај дијагностичара!

Прошлост али и будућност (утврђивање стања без коришћења опреме – вештачка интелигенција)!



Основе дијагностике мотора

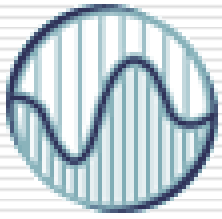
Дијагностика мотора обухвата поступке:

- ❑ чији се циљ ограничава само на утврђивање исправности система, односно помоћу којих се утврђује да ли је систем у стању „у раду“ и у стању „у отказу“,
- ❑ који, поред тога што омогућавају да се утврди да ли је систем у отказу служе и за изналажење узрока неисправности.



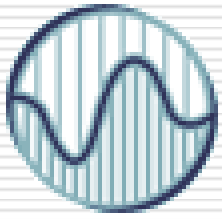
Основе дијагностике мотора

- Дијагностика се у суштини своди на успостављање везе између посматраног објекта и његовог квара.
- Са становишта познавања стања мотора од приоритетног значаја су промене његових излазних карактеристика. Другим речима посебно су интересантне промене стања система које су резултат промена у радним процесима који се у њему одвијају, као и у процесима које се редовно јављају као тзв. пратећи процеси радних процеса мотора.



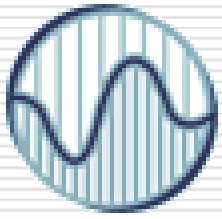
Дијагностичке методе

- ❑ Основа за квалитетну дијагностику стања мотора је мерење одабраног параметра и упоређење измерених вредности са претходно утврђеним нормативима.
- ❑ Дијагностика не може да се врши у било којим условима. Неопходно је обезбедити тачно прописане услове у којима се од система очекује да оствари прописане перформансе.
- ❑ Ово значи да је упоређо са мерењем дијагностичких параметара неопходно контролисање услова у којима се одређују перформансе система.



Дијагностичке методе

- ❑ Објекат дијагностике може бити цело возло или неки његов део , тако да и дијагностичке методе могу бити **опште и локалне**.
- ❑ **Општа** дијагностичка метода користи се у случајевима када се жели утврдити опште стање мотора (да ли је у раду или отказу) без јасне идентификације саме неисрпаваности или узрока – „експрес дијагностика“.
- ❑ **Локална** се користи у случајевима када се жели утврдити и врста отказа, као и место и узрок.



Дијагностичке методе

- ☐ Врста дијагностичке методе зависи од стања система која се утврђују, као и од дијагностичких параметара помоћу којих се то стање описује!

Универзалне дијагностичке методе:

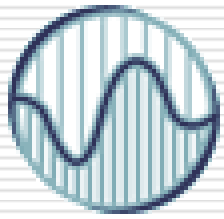
- ☐ Енергетске,
- ☐ Вибро-акустичке,
- ☐ Топлотне,
- ☐ Стробоскопске.



Дијагностичке методе

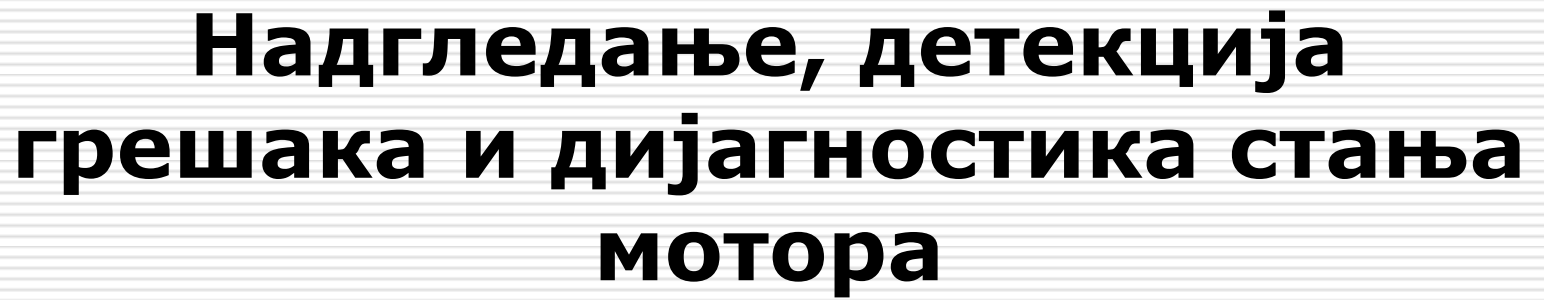
Специјалне дијагностичке методе:

- ☐ Електричне методе,
- ☐ Методе за одређивање степена пропустивости или заптивања,
- ☐ Метода за одређивање хемијског састава или концентрације штетних материја.

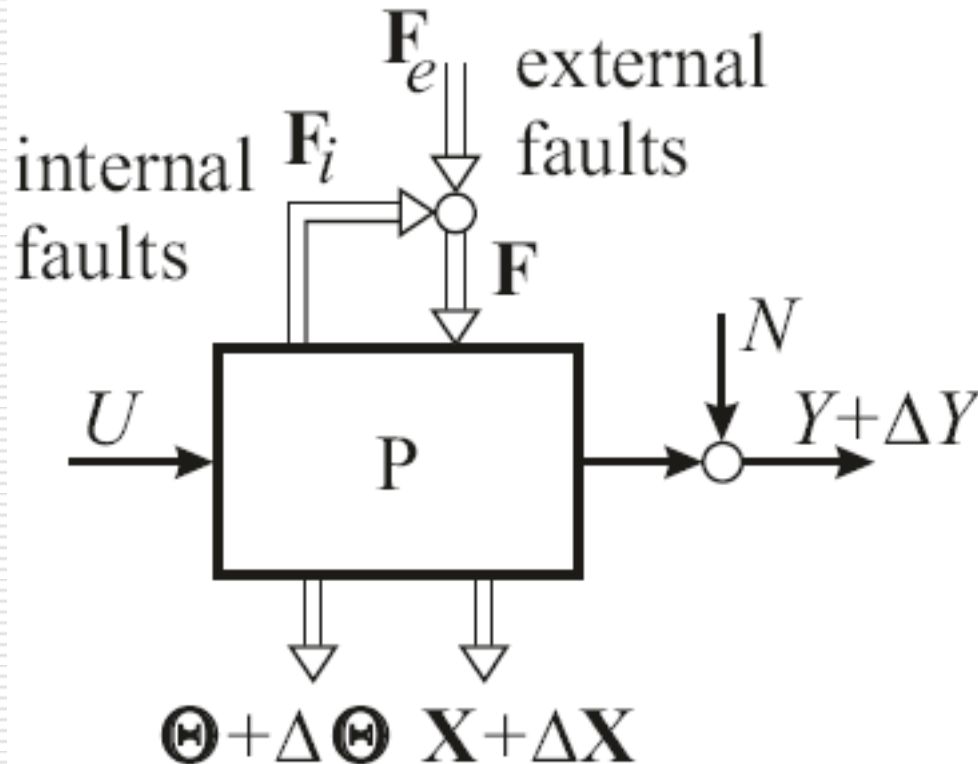


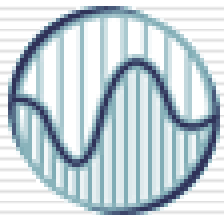
Надгледање, детекција грешака и дијагностика стања мотора

- ❑ Детекција грешака и дијагностика стања припада општој области која се бави мониторингом (надгледањем) техничких процеса.
- ❑ Задатак је утврдити нежељена или недозвољена стања и на основу тога предузети одговарајуће акције како би се спречила оштећења и загађење околине (код возила спречавање удеса).
- ❑ Ово укључује праћење стања погонске групе и шасије - системи који утичу на безбедност, економичност и екологију.



Системи са отвореном петљом

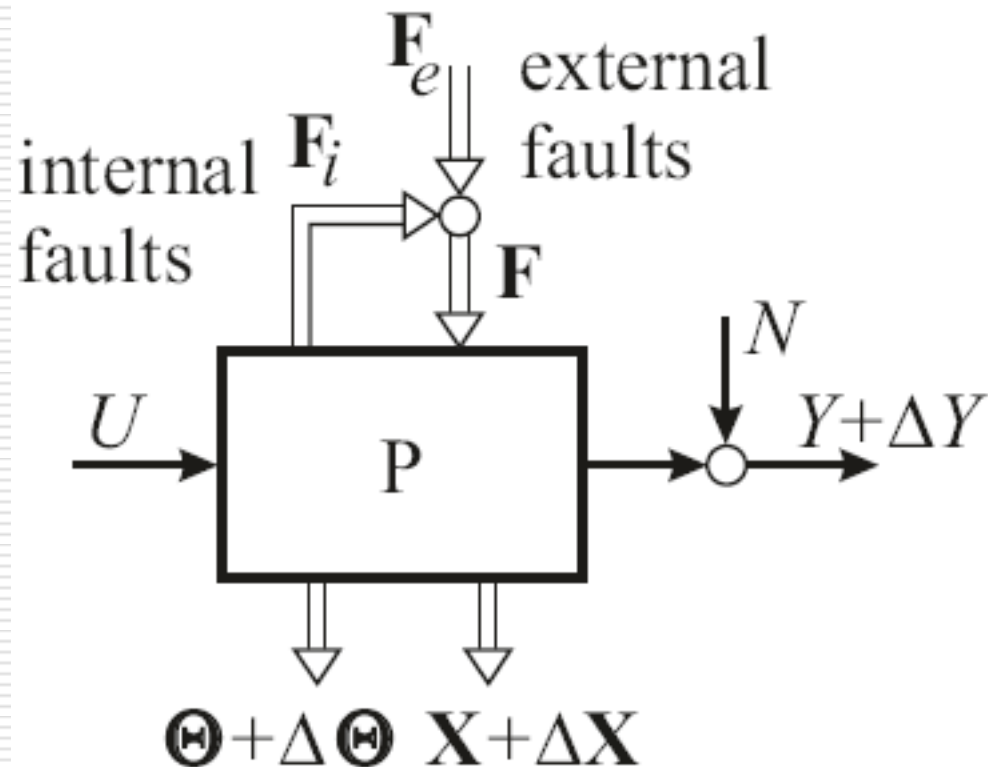


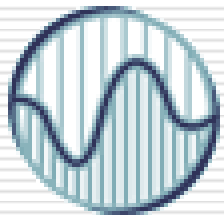


Надгледање, детекција грешака и дијагностика стања мотора

Системи са отвореном петљом

- $U(t)$ и $Y(t)$ представљају улазни и излазни сигнал
- Услед унутрашњих (кратак спој, прегревавање, недостатакmazива које узрокује повећање трења) и спољашњих (влажност, прљавштина, температура,...) фактора може доћи до грешке

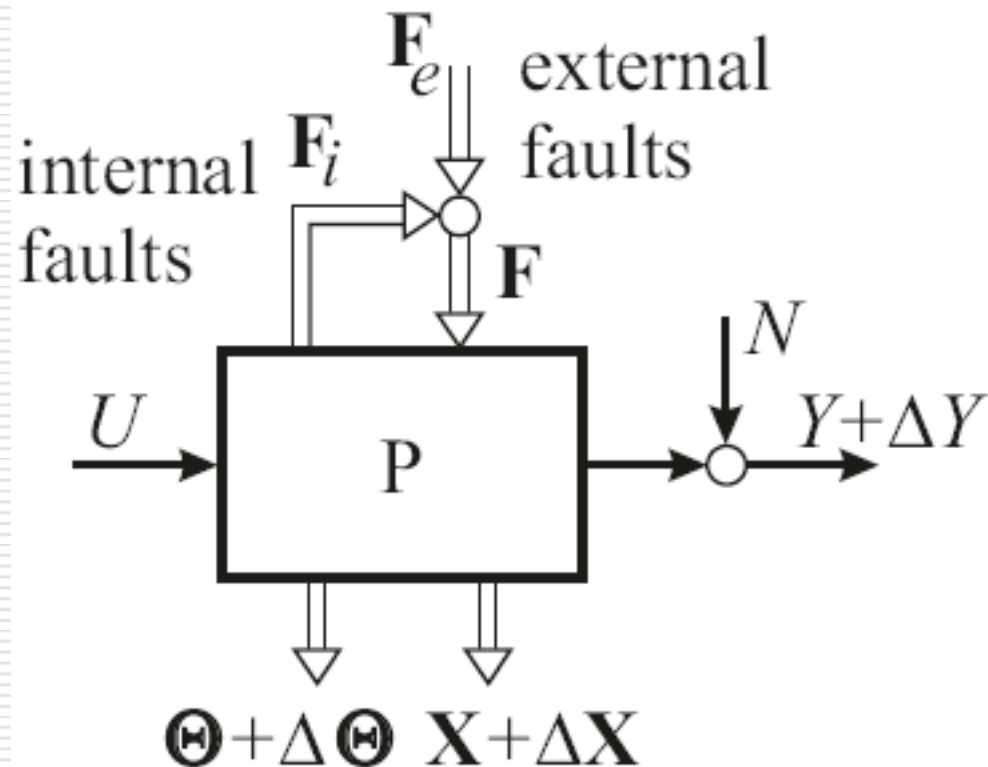


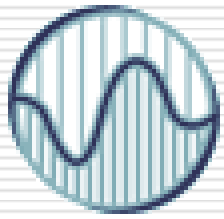


Надгледање, детекција грешака и дијагностика стања мотора

Системи са отвореном петљом

- Ове грешке $F(t)$ најпре утичу на унутрашње параметре процеса θ мењајући му вредност за $\Delta\theta(t)$ (промена отпорности, капацитета) и унутрашње променљиве $x(t)$, мењајући јој вредност за $\Delta x(t)$ (нпр. промена протока, струје, темп.)



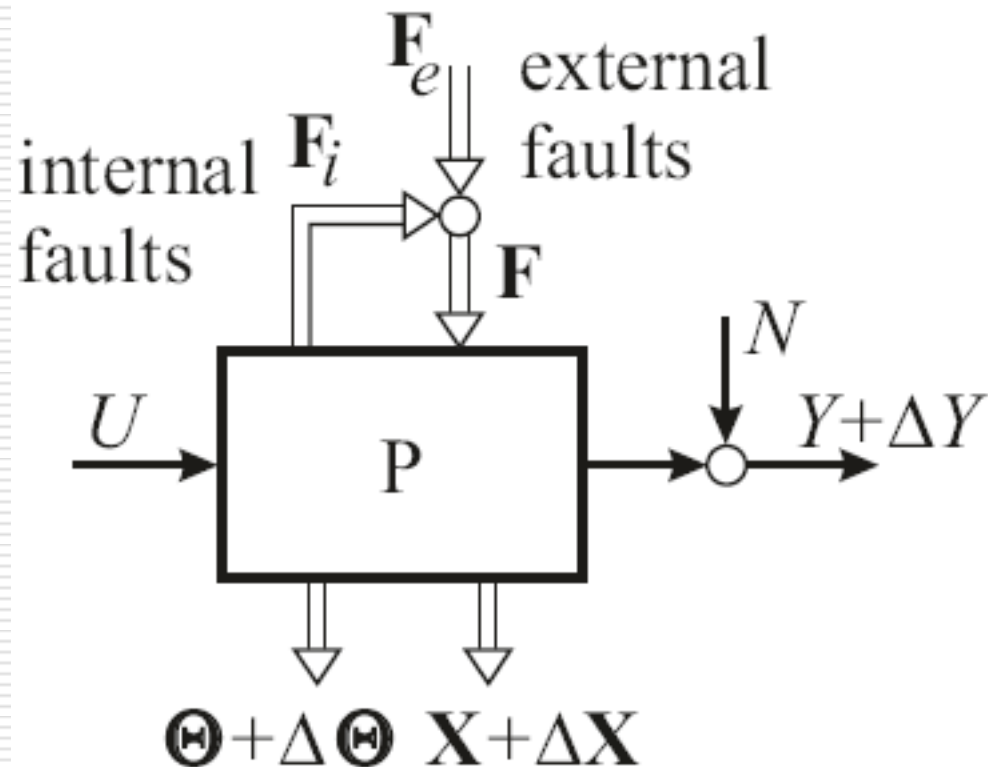


Надгледање, детекција грешака и дијагностика стања мотора

Системи са отвореном петљом

Констатни offset излазне величине

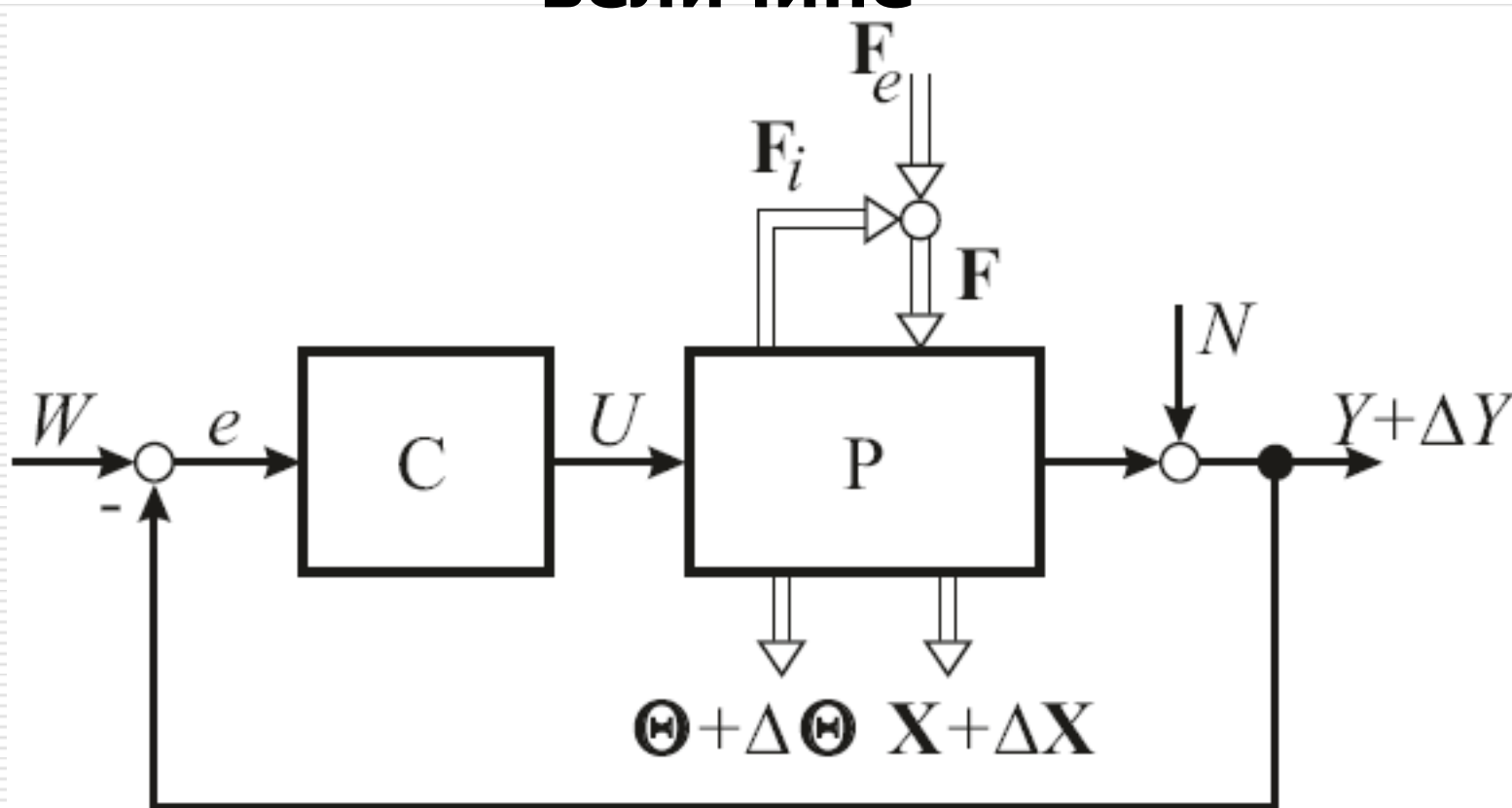
- У складу са функцијом преноса, ове грешке у крајњем утичу на излазни параметар $Y(t)$ који мењају за величину $\Delta Y(t)$.
- Важно је напоменути да природни процеси, бука и вибрације N такође утичу на вредност излазног параметра.



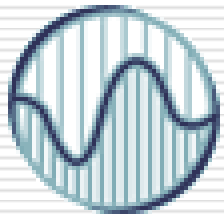


Надгледање, детекција грешака и дијагностика стања мотора

Констатни offset излазне величине



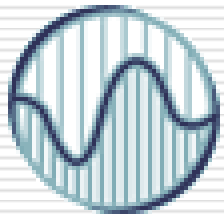
Неопходно праћење и улазне величине



Надгледање, детекција грешака и дијагностика стања мотора

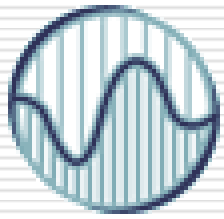
- Надгледање (мониторинг)
техничких система врло често
подразумева утврђивање вредности
излазне вредности, односно да ли
је она прешла прописане границе

$$Y_{\min} < Y(t) < Y_{\max}$$

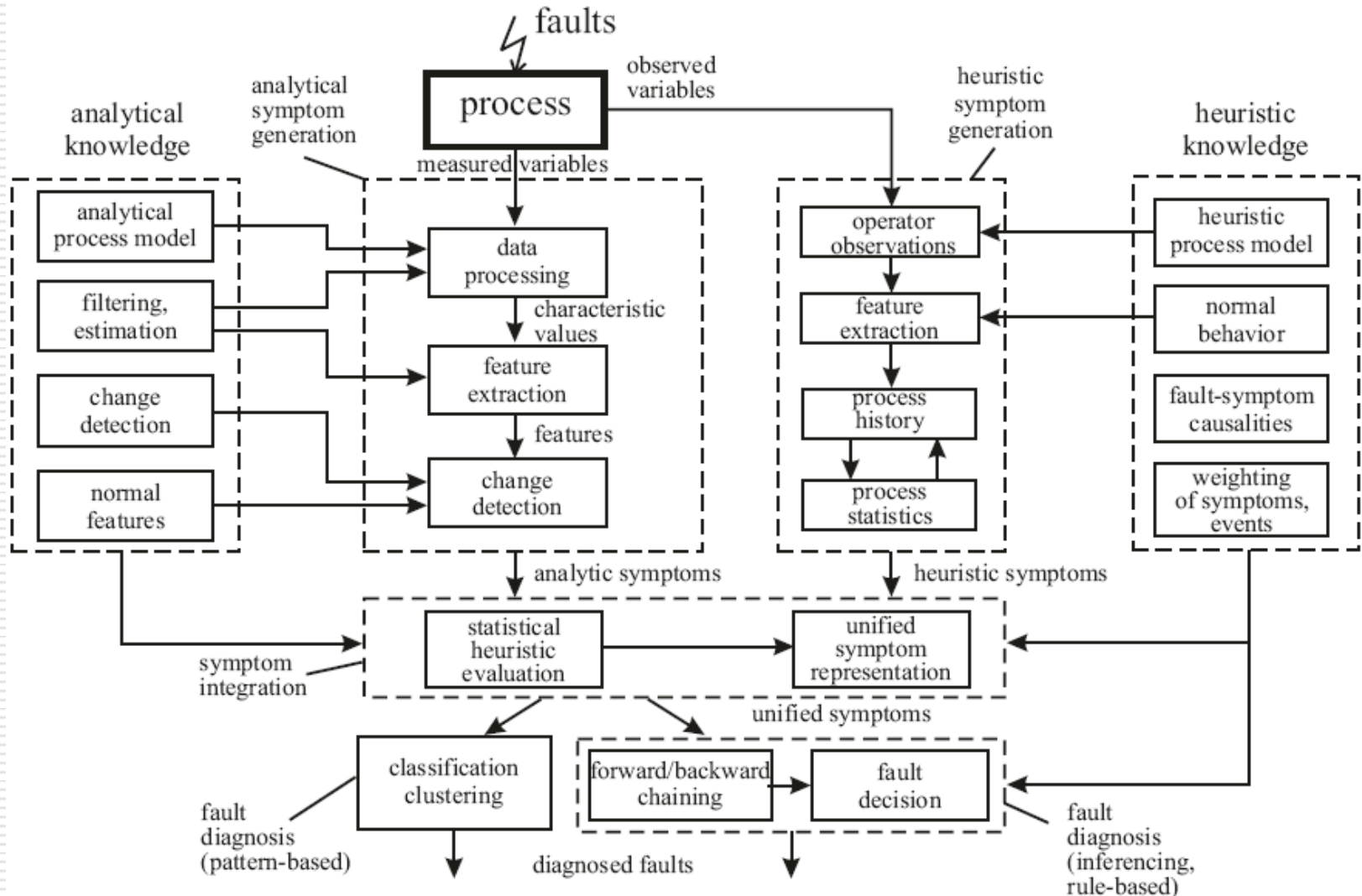


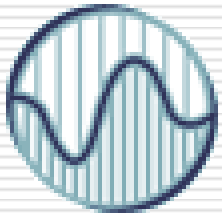
Детекција и дијагностика грешака на основу знања

- ❑ Детекција грешака и дијагностика стања мотора представљају основу напредне методе надгледања рада система и управљањем грешкама у раду.
- ❑ Детекција грешака и дијагностика базирани су на **измереним вредностима** променљивих коришћењем сензора односно индурмената и на **посматрању променљивих и стања** од стране дијагностичара.
- ❑ Аутоматски процес детекције грешака и дијагностике на основу измерених вредности захтева познавање аналитичких процеса.
- ❑ Вредновање посматраних променљивих захтева знање дијагностичара које се назива херуистичким знањем.



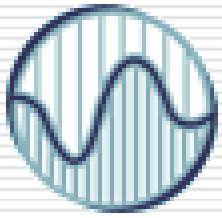
Детекција и дијагностика грешака на основу знања





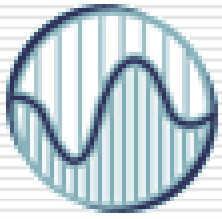
Аналитички симптоми

- Аналитички метод се користи за квантификацију аналитичких информација.
- Да би се ово спровело морају се извршити мерења величина које описују процес како би се одредиле њихове карактеристике које се односе на:
 - Проверу да ли су пређене дозвољене вредности,
 - Анализу сигнала коришћењем модела сигнала, функција корелација, фреквентног спектра, итд.
 - Анализу процеса применом модела математичких процеса у комбинацији са проценом параметара.



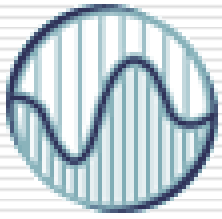
Аналитички симптоми

- У неким случајевима специјални објекти могу бити извучени из ових карактеристичних вредности. Нпр., физички дефинисани коефицијенти процеса. Вредности ових објеката се упоређују са процесима у којима нема грешке. На овај начин функционишу методе промене детекције и класификације .
- Одступања измерених сигнала, модела сигнала или модела процеса представљају основу ***аналитичке методе.***



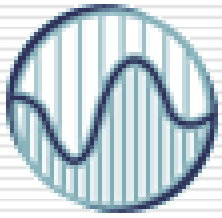
Херуистички симптоми

- ❑ Утврђивање грешака у раду система и дијагностика стања поред аналитчког метода заснива се и на посматрању променљивих величина и стања од стране техничког експерта (дијагностичара) који је неопходно да поседује тзв. **херуистичка знања**.
- ❑ Осим дијагностичара врло значајне информације овог карактера се могу добити и од самог возача.
- ❑ Херуистички карактери и њихове вредности се добијају у форми описа, боја, звукова, мириса, вибрација, хабања, итд.



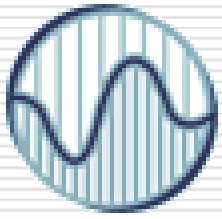
Херуистички симптоми

- Подаци који се односе на средње време између отказа, информације о претходним отказима и спроведеним поступцима одржавања такође спадају у херуистичке карактере.
- Херуистички симптоми су језиком исказани:
 - мало,
 - велико,
 - споро,
 - нејасне вредности (око, отприлике...).



Провера веродостојности

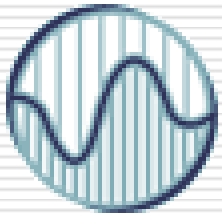
- ❑ Провера веродостојности подразумева вредновање измерене вредности са кредибилном и поузданом вредносшћу и њиховим међусобним поређењем.
- ❑ Једно мерење се проверава на пример у смислу да ли је знак добар и да ли вредност није прешла дозвољену границу. Слично као и провера граница (check limit) само у ширем дијапазону.
- ❑ Ако је спроведено неколико мерења истог процеса тада се мерења могу довести у релацију у односу на њихове нормалне вредности користећи логичка правила:



Провера веродостојности

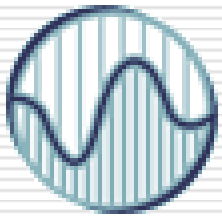
Примери:

- ❑ IF [$Y1_{min} < Y1(t) < Y1_{max}$] THEN [$Y2_{min} < Y2(t) < Y2_{max}$]
- ❑ IF [$1000 \text{ rpm} < n < 3000 \text{ rpm}$] THEN [$3 \text{ bar} < p < 8 \text{ bar}$]
- ❑ IF [Operating condition 1] THEN [$Y3_{min} < Y3(t) < Y3_{max}$]
- ❑ IF [$n < 800 \text{ rpm}$] AND [$\vartheta_{H2O} < 50^{\circ}\text{C}$] THEN [$3 \text{ bar} < p_{oil} < 5 \text{ bar}$]
- ❑ **Тест веродостојности је први корак ка методи детекције грешака на бази модела.**



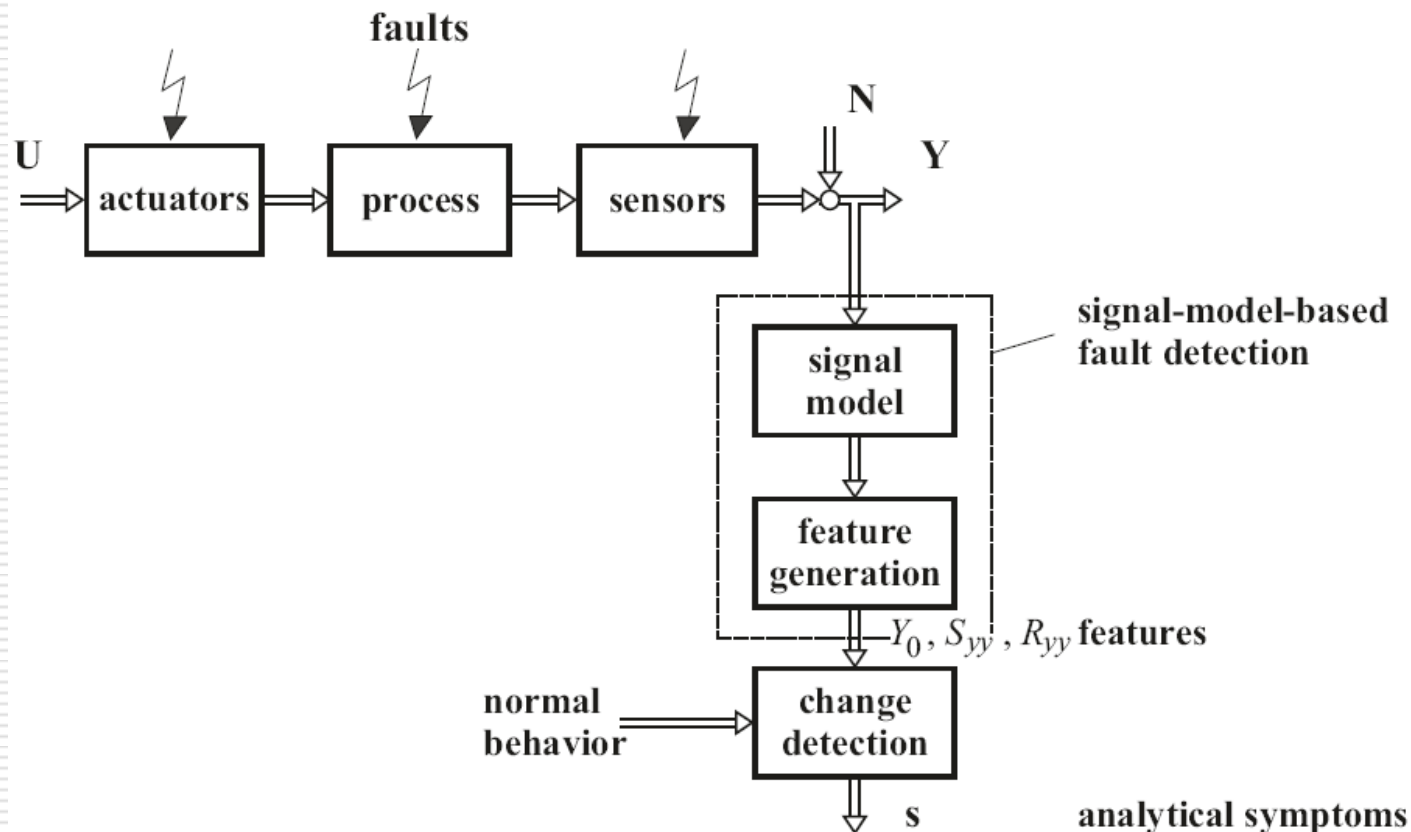
Метод анализе сигнала

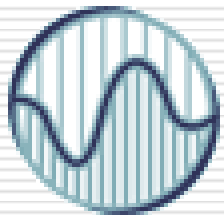
- Многи измерени сигнали на моторима показују осцилације које су или хармоничне или стохастичке природе или комбинација ова два (број обртаја КВ или БВ, сензори положаја КВ, итд.).
- Уколико су промене ових сигнала повезане са грешкама у актуаторима, сензорима или процесима може се применити метод анализе сигнала.
- Проценама специјалних математичких модела за измерени сигнал врши се прорачун амплитурда, спектра фреквенција, корелационе функције итд.



Метод анализе сигнала

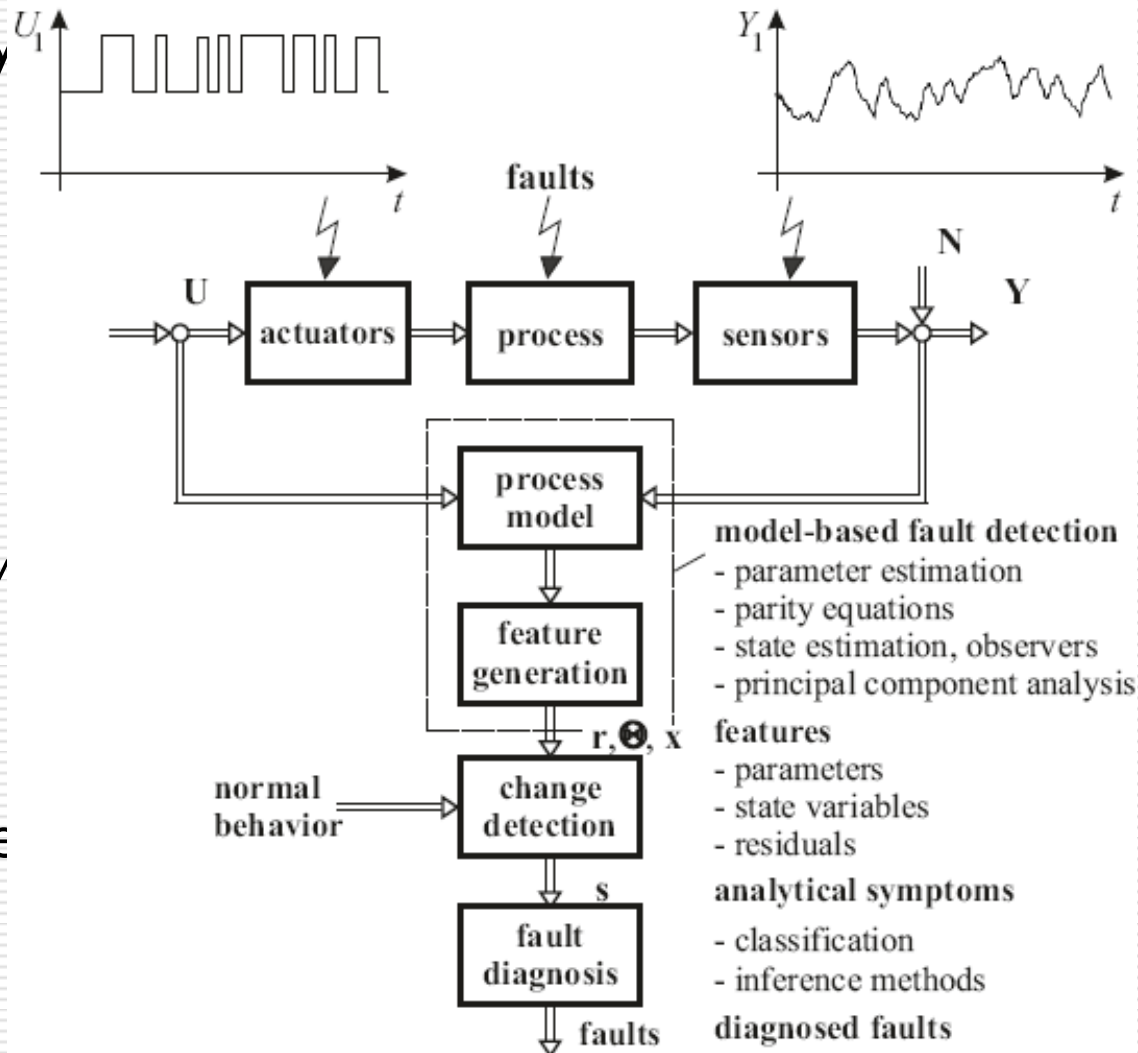
Поређењем са посматраним објектом за нормално понашање система обезбеђују се промене објекта које се називају аналитичким СИМПТОМИМА.

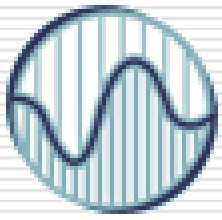




Метод детекције грешке базиран на моделима процеса

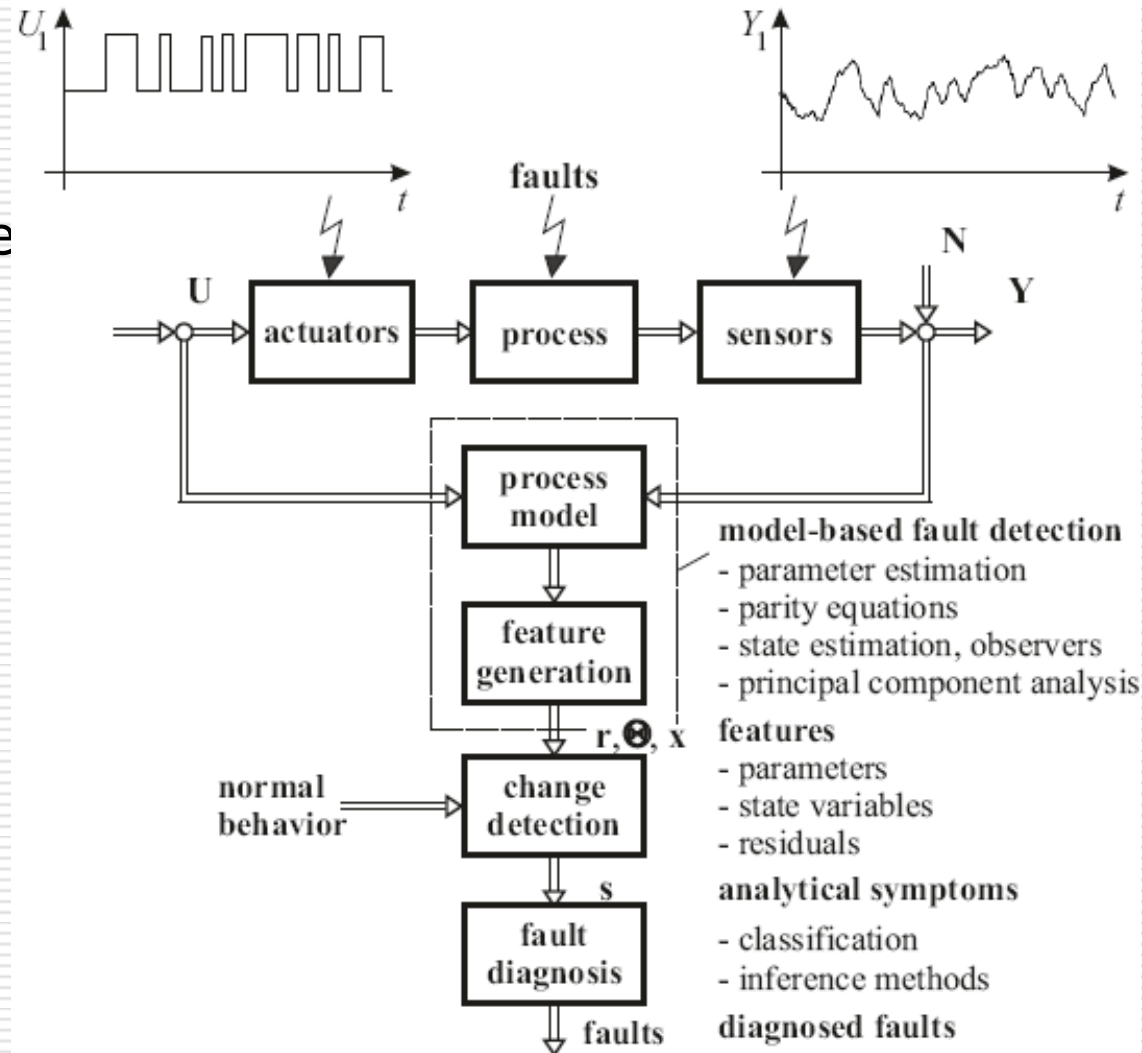
- Циљ је утврдити грешку у процесу, актуатору или сензору коришћењем зависности између различитих измерених сигнала.
- Ове зависности су изражене математичким моделима процеса.
- На бази измерених улазних и излазних величина, детектован је остатак r , параметар процене θ и процена стања x .

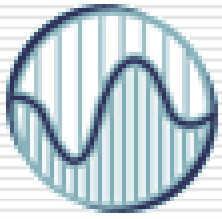




Метод детекције грешке базиран на моделима процеса

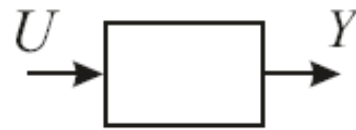
- Након поређења са номиналним вредностима, детектоване су промене објекта што даје аналитички симптон s .



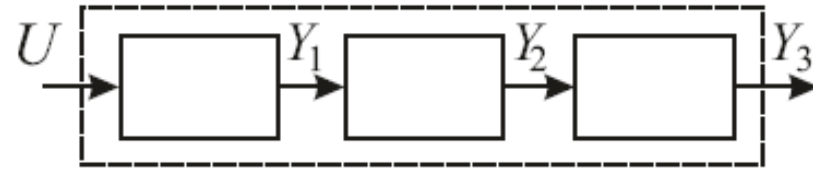


Метод детекције грешке базиран на моделима процеса

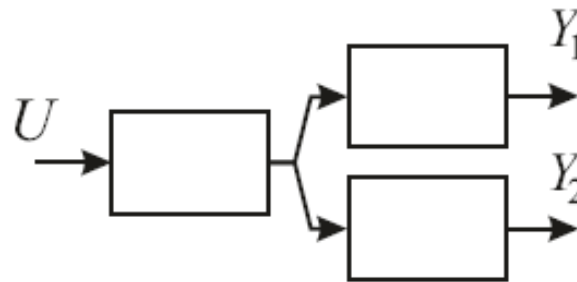
- a) SISO (single-input singleoutput);
- b) SISO with intermediate measurements;
- c) SIMO (single-input multi-output);
- d) MIMO (multi-input multi-output).



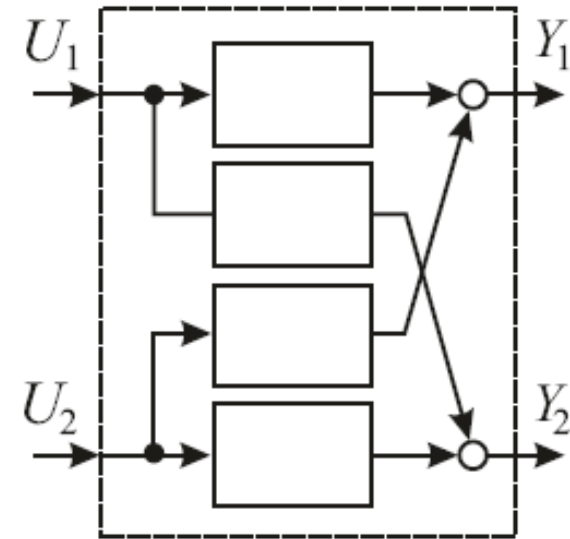
(a)



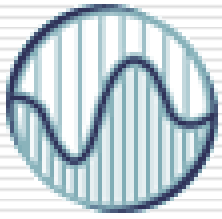
(b)



(c)



(d)

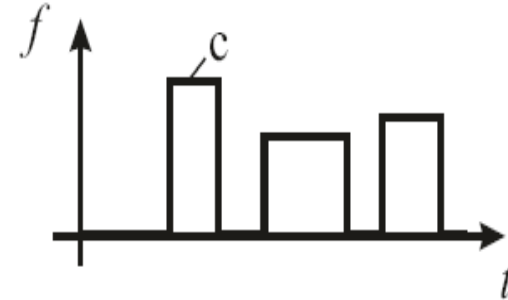
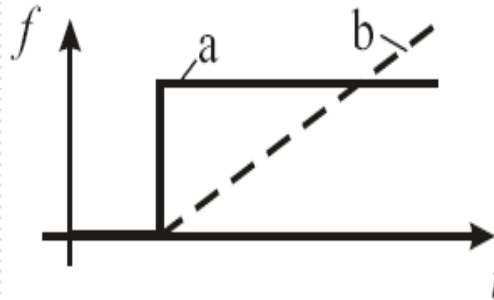
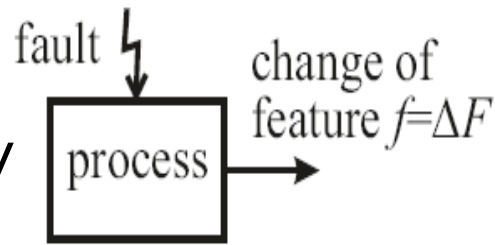


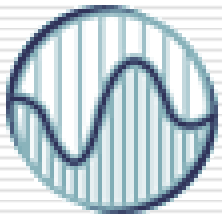
Модели процеса и моделирање грешке

Грешка је дефинисана као недозвољена девијација најмање једне карактеристичне вредности променљиве у односу на прихватљиво понашање.

Временска зависност грешке може бити различита:

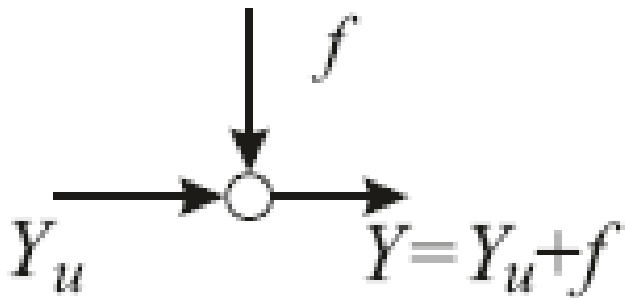
- а) Прекид – степенаста
- б) Почетна – дрифт
- с) Повремена - спорадична



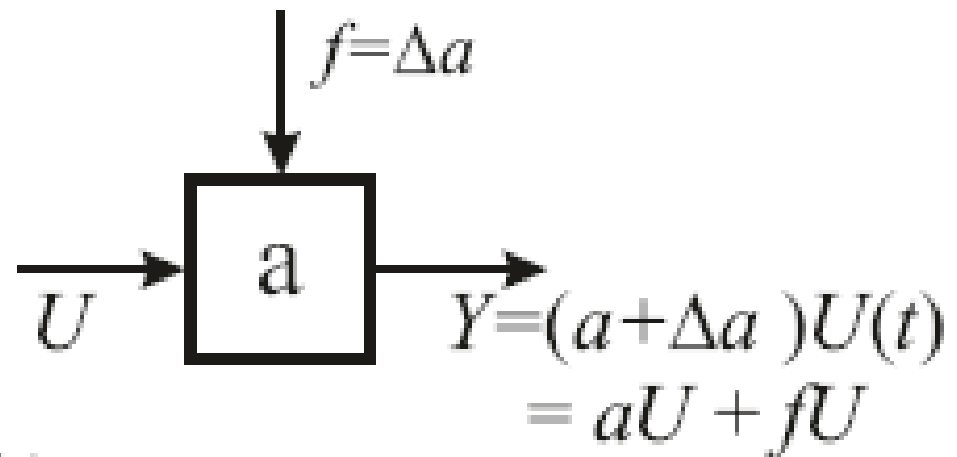


Модели процеса и моделирање грешке

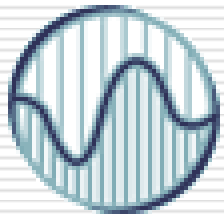
- У односу на modele процеса грешке могу бити:
 - a) Адитивне – нпр. офсет сензора
 - b) Мултипликативне – промена параметара унутар процеса



(a)

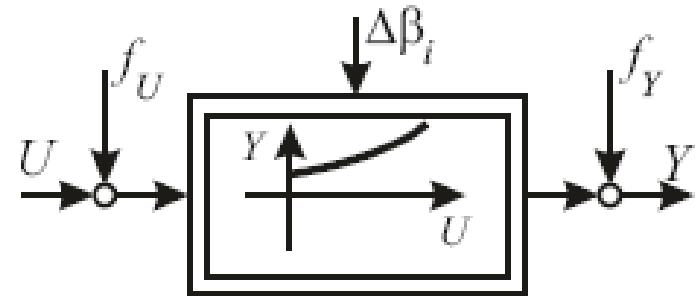


(b)



Модели процеса и моделирање грешке

- Посматра се више параметара који раде у отвореној петљи.
- Стационарно стање се често изражава као нелинарна карактеристика.
- Промена параметара β_i може се добити проценом, нпр. применом методе најмањих квадрата мерењем различитих улазних и излазних величина $[Y_j, U_j]$.
- Овај метод је применљив код дијагностике стања пумпи, мотора, вентила.



Measured signals: $U(t)$, $Y(t)$

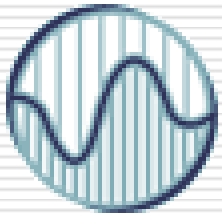
Basic equation:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 U + \beta_2 U^2 + \dots + \beta_q U^q \rightarrow Y = \Psi_S^T \Theta_S$$

$$\Theta_S^T = [\beta_0 \beta_1 \dots \beta_q] \quad \Psi_S^T = [1 \ U \ U^2 \dots U^q]$$

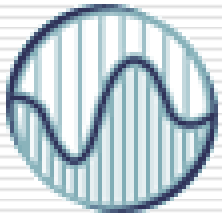
Additive faults: f_U input fault; f_Y output fault

Multiplicative faults: $\Delta\beta_i$ parameter faults



Дијагностичке методе за утврђивање грешака

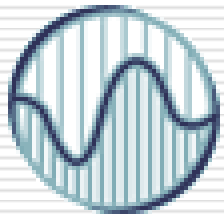
- Главни задатак дијагностике грешака је утврђивање типа грешке са што је могуће више детаља, као што су величина и значај грешке, локација и време појаве грешке. Дијагностичка процедура је базирана на посматрању аналитичких и херуистичких симптома, као и херуистичког знања о посматраном процесу.
- Улаз за на знању базираном моделу за детекцију грешака су доступни симптоми као чињенице, као и знање о предметном процесу/процесима (углавном у херуистичкој форми).
- Симптоми могу бити приказани само као бинарне вредности $[0, 1]$.



Дијагностичке методе а утврђивање грешака

Класификационе методе

- Уколико не постоје сазнања о односима између објекта и грешака може се применити метод класификације или метод препознавања образаца.
- Референтни вектор S_n представља „нормално понашање“. Одговарајући улазни вектори S симптома су одређени експериментално за одређене грешке F_j применом метода откривања грешака.
- Такође однос између F и S научен (или обучен) и меморисан формирајући на тај начин тзв. **експлицитном базом знања.**

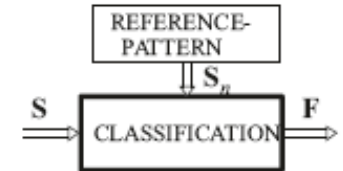


Дијагностичке методе за утврђивање грешака

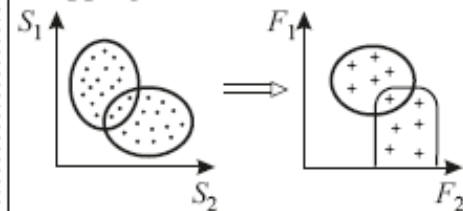
Класификационе методе

- ❑ Логика је да поређењем посматраног S са нормалном референцом S_n , може се закључити о каквој грешки F се ради.
- ❑ Неуронске мреже имају способност да апроксимирају нелинеарне релације и да одреде флексибилне регионе одлучивања за F у континуираној или дискретној форми.

Classification methods



Without a-priori knowledge on symptom causalities
Mapping:

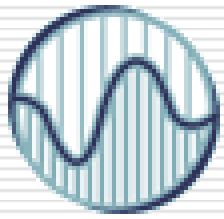


$$S^T = [S_1, S_2 \dots S_n]$$

$$F^T = [F_1, F_2 \dots F_m]$$

Classification:

- statistical
- geometrical
- neural nets
- fuzzy clusters



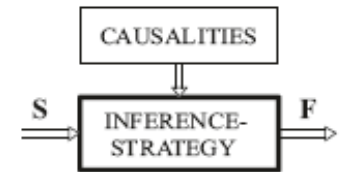
Дијагностичке методе за утврђивање грешака

Методe закључавања

- За неке техничке процесе основни однос између грешака и симптома је најмање делимично познат
Тада ово а-priori знање може бити представљено у узрочној вези:
грешка → догађај → симптоми

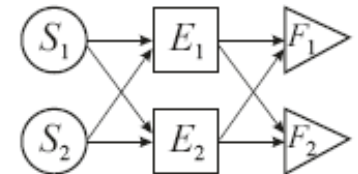
IF $\langle S_1 \text{ AND } S_2 \rangle$ THEN $\langle E_1 \rangle$
IF $\langle E_1 \text{ OR } E_2 \rangle$ THEN $\langle F_1 \rangle$.

Inference methods

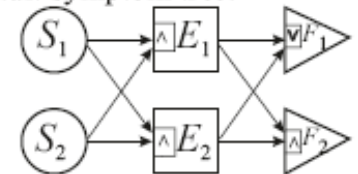


With a-priori knowledge on symptom causalities

Causal network:



Fault-symptom tree:



Rules:

If $\langle S_1 \wedge S_2 \rangle$ Then $\langle E_1 \rangle$

Diagnostic reasoning:

- Boolean logic: facts binary
- Approximative reasoning:
 - Probabilistic facts: probability densities
 - Fuzzy facts: fuzzy sets



Дијагностичке методе за утврђивање грешака

Детекција грешака и дијагностика у затвореној петљи

- Главни разлог за коришћење аутоматски управљане петље је прецизно праћење референтних променљивих (задатих вредности), бржи одговор у односу на отворену петљу, компензација свих поремећаја који утичу на управљану променљиву, стабилизација нестабилних процеса, смањење утицаја промене параметара процеса у односу на статичко и динамичко понашање, делимична компензација актуатора, нелинеарних процеса и замена ручног управљања од стране човека.



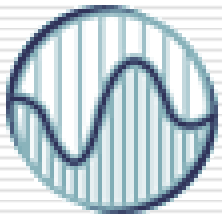
Дијагностичке методе за утврђивање грешака

Детекција грешака и дијагностика у затвореној петљи

- ❑ Перформансе SISO управљачке петље у односу на одступање (грешку) је:

$$e(k) = w(k) - y(k)$$

- ❑ Одступање контролисане променљиве $y(k)$ у односу на референтну променљиву $w(k)$, зависи од великог броја фактора:



Дијагностичке методе за утврђивање грешака

- external disturbance $w(k)$, $u_v(k)$, $v_i(k)$
- structure and parameters of the controller G_c and controller faults f_c
- changes of the structure and parameters of the process G_p and process faults f_p
- changes of the actuator G_a and actuator faults f_a
- faults f_s in the sensor G_s and measurement noise n_s .

Детекција грешака и дијагностика у затвореној петљи

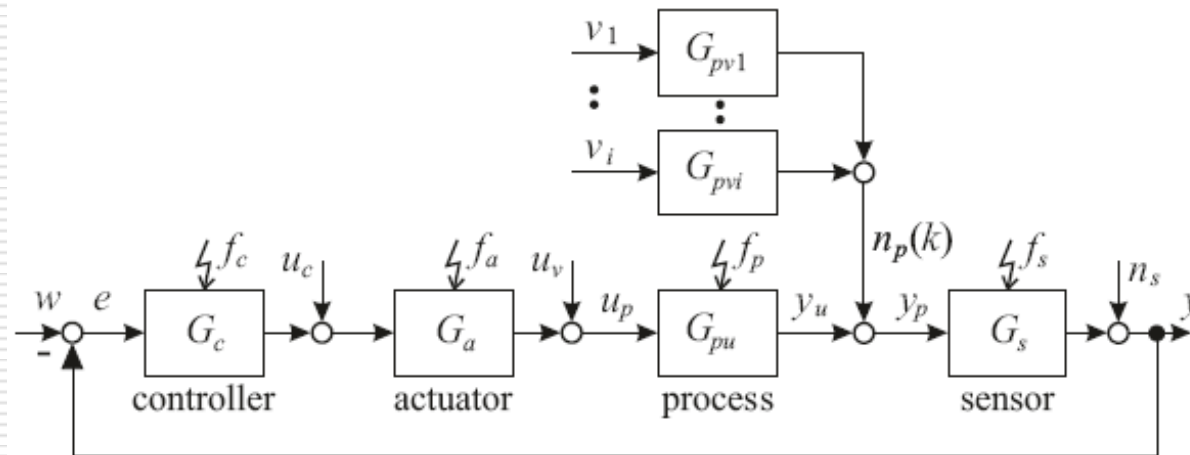


Fig. 2.6.1. Control loop with variables and fault influences.

y	controlled variable	w	reference variable
u_p	manipulated variable	e	control deviation
v_i	process disturbances	n_s	measurement noise
u_v	process input disturbances	$f_{c,a,p,s}$	faults of the controller, actuator, process and sensor
n_p	sum of process disturbances		
y_p	process output to be controlled		