

## 13 - Dynamické systémy

(spojité a diskrétní, lineární a nelineární, obecné řešení stability dynamických systémů)

**Spojité a diskrétní** - dynamický systém se skládá ze stavového prostoru, jehož souřadnice popisují stav systému v daném čase, a dynamických podmínek, které popisují změnu systému v čase. Tyto přechody mezi stavy ve stavovém prostoru jsou popsány přechodovou transformací.

- **Spojité** - časová množina  $T$  je množina reálných hodnot, pro každou z nich je definována hodnota stavového prostoru.
- **Diskrétní** - časová množina  $T$  je posloupnost diskrétních funkčních hodnot systému v čase, může vzniknout ze spojitého systému, kdy hodnoty spojitého signálu měříme v diskrétních časových okamžicích.

### **Lineární a nelineární**

- **Lineární** - lineární dynamický systém je takový systém, v němž platí princip superpozice, tedy že výstup pro součet dvou signálů bude stejný jako součet výstupů pro tyto signály jednotlivě a výstup pro násobek jiného vstupu bude roven stejnému násobku výstupu pro tento vstup. Chování takových systémů lze předpovídat i do budoucnosti.
- **Nelineární** - není zaručen princip superpozice, výpočet změny stavu provádíme diferenciální rovnicí, což bývá složité. Některé nelineární závislosti můžeme nahradit lineárními.

**Obecné řešení stability dynamických systémů** - systém je stabilní, pokud se po odeznění budícího vstupního signálu navrátí zpět do původního rovnovážného stavu. Hledáme rovnovážné stavy, které jsou stabilní vůči rušivým prvkům. Například kyvadlo v dolní poloze je stabilní, vždy se tam vrátí, ale kyvadlo v horní poloze stabilní není, nikdy se tam nevrátí.

## 14 - Dynamické systémy nelineární

(typy nelinearit, fázové trajektorie, stavový model)

**Typy nelinearit** - není zaručen princip superpozice, výpočet změny stavu provádíme diferenciální rovnicí, což bývá složité. Některé nelineární závislosti můžeme nahradit lineárními.

- Typ nasycení (omezení) - v malém rozmezí se chová jako lineární, ale při překročení tohoto pásma linearit se při dalším zvyšování vstupního signálu výstupní signál již nezvyšuje.
- Typ pásmo necitlivosti - v malém rozmezí není na výstupu žádný signál, poté lineární (vyskytuje se u tření).
- Typ vůle v převodech - vyskytuje se u ozubených převodů.
- Typ hystereze - vyskytuje se u elektrických relé.

**Fázové trajektorie** - křivka, po které se pohybuje fázový bod fázového prostoru, který reprezentuje stavy v každém časovém okamžiku.

**Stavový model** - model, většinou v podobě matice, který se sestavuje z diferenciální rovnice systému a popisuje závislost mezi vstupy a výstupy systému.

## 15 - Regulátory

(popis a vlastnosti spojitéch a diskrétních algoritmů řízení, popis nelineárních regulačních členů)

### Popis a vlastnosti spojitéch a diskrétních algoritmů řízení

- Ovládání - způsob řízení, kdy ovládáme výstupní veličinu na základě předem známých zákonitostí (například čidlo zjistí, že venku klesla teplota pod nulu, ovládací přístroj zapne vevnitř topení na hodinu (neřešíme, účinnost topení například vlivem otevřených oken).
- Regulace - způsob řízení se zpětnou vazbou. Regulovanou veličinu stále měříme a porovnáváme s řídicí veličinou, na základě porovnání dále regulovanou veličinu ovlivňujeme (například přidáváme výkon topení, když teplota stále klesá).
- Číslicová regulace - v případě, kdy například místo regulátoru používáme počítač (číslicový regulátor), vstupní veličina je zadána diskrétně nebo regulovanou veličinu měříme diskrétně, tak musíme mezi číslicový regulátor a regulovaný systém vložit tvarovač, který diskrétní posloupnost převede na spojitý akční vstup ve tvaru schodovité funkce (drží hodnotu funkce konstantní, dokud se nezmění).

**Popis nelineárních regulačních členů** - regulační člen je lineární, pokud statická charakteristika je lineární, což je závislost mezi výstupním signálem členu a jeho vstupním signálem v ustáleném stavu.

- Proporcionální (P) - zesiluje vstupní veličinu (reakce na velikost regulační odchylky). Výstupem na jednotkový skok je konstantní zesílení.
- Integrovní (I) - integruje vstupní veličinu (reakce na dobu trvání regulační odchylky). Výstupem na jednotkový skok je přímá úměrnost (plocha pod jednotkovým skokem). V kombinaci s P je posunutá o zesílení.
- Derivační (D) - derivuje vstupní veličinu (reakce na rychlost změny regulační odchylky). Výstupem na jednotkový skok je Diracův impuls (v reálu nejde dosáhnout, řeší se polynomem, výsledkem je exponenciála). V kombinaci s P impuls spadne na zesílenou hodnotu.

## 16 - Stabilita regulovaných soustav

(lineárních spojitéch, diskrétních, nelineárních)

Stabilita - tendence vrátit se po odezvě na vstupní signál (vychýlení) časem zpátky do nuly (nebo jiného rovnovážného stavu -> hranice stability).

**Lineárních spojitéch** - regulační obvod je stabilní, leží-li všechny kořeny charakteristického polynomu v záporné polovině komplexní roviny. Příklad:  $G(s) = 1 / [(s + 1)(s + 2)]$  => kořeny v -1, -2 => stabilní soustava.

- Kritérium stability - Pomocí kritérií stability lineárních spojitéch systémů je možno určit stabilitu regulačního obvodu (systému) bez nutnosti výpočtu jeho pólů resp. charakteristických čísel. Metody frekvenčních kritérií jsou náročnější oproti algebraickým kritériím. Pomocí frekvenčních kritérií stability je však možno určit nejen stabilitu daného systému, ale také získat informace o míře stability daného systému.
  - Michajlovovo-Leonhardovo kritérium stability
  - Nyquistovo kritérium stability

**Lineárních diskrétních** - systém je stabilní právě tehdy, když jsou kořeny charakteristického mnohočlenu v absolutní hodnotě menší než jedna.

**Nelineárních** - Stabilita nelineárních dynamických systému závisí nejen na struktuře a parametrech systému, ale i na průběhu vstupních signálů a počátečních podmínkách. Znalost samotné struktury systému tak k určení stability nestačí.

## 17 - Průmyslové řídicí systémy

(struktura, analýza, návrh konfigurace; PLC, softPLC, způsoby tvorby programu běžícího v reálném čase, vizualizace technologie)

Průmyslové řídicí systémy jsou programovatelné automaty, zařízení používaná převážně v průmyslu, která ovládají technologické procesy. Jedná se o systémy z oboru regulační nebo automatizační techniky, které jsou řízeny pomocí různých prostředků z oblasti výpočetní techniky.

### Struktura, analýza, návrh konfigurace

- Struktura - systém můžeme řídit buď pomocí regulátoru, který je součástí řízeného systému a řídí zpětnou vazbu. Dalším způsobem je PLC a posledním PC s pomocí softPLC.
- Analýza - musíme odhalit veškerá rizika řízení (maximální, minimální hodnoty, stabilita), určit jakou strukturu řízení použijeme a vybrat hlavní veličiny, které budou důležité pro řízení.
  - Minima - stav systému, kdy hodnoty veličin systému dosahují nejmenších hodnot a systém je schopen korektně pracovat. Pokud se některá z veličin ocitne pod touto hodnotou, systém se zhroutí (např. min. tlak v pneumatickém okruhu, min. teplota zpracování obrobku).
  - Maxima - největší hodnoty, jaké je schopen systém zvládnout, jinak bude systém přetížen (např. max. limit stupnic měřících přístrojů, odolnost materiálu).
  - Stabilita - schopnost systému přizpůsobit se novým podmínkám. Je úzce spjata s řízením systému (většinou pomocí zpětné vazby), regulátoru (P,I,D popř. jejich kombinace), sw řízení atd.
- Návrh konfigurace - programování je prováděno specializovaným softwarem, kde program je zapsaný v reléovém schématu nebo funkčních blocích. Programování je orientováno na rychlé úpravy a změny proto, že se často mění požadavky a zadání úlohy a není čas na dlouhé vývoje programu. Jednoduše něco přida, ubrat, změnit. Tato vlastnost jde u PLC až do extrému, které se nazývá on-line programování, tedy programování za chodu. Užitečné je to obzvláště při zprovoznování, úpravách a opravách nepřerušitelných procesů.

### PLC - (programmable logic controller)

- PLC je při prvním pohledu malá krabička do dlaně nebo velký systém v rámu, který má řadu modulů většinou blikajících ledkami a zasunutých jeden vedle druhého do rámu. Žádná klávesnice, žádný barevný displej, ale hodně drátů mizících z rozvaděče průchodkami ven. Na jejich konci jsou připojená čidla, kontakty tlačítek, měřící odpory, snímače polohy nebo naopak svítící kontrolky, stykače motorů, ventily atd. A nenajdete je na stole ani v batozích, ale v pevně nainstalovaných rozvaděčích.

- PLC je svojí konstrukcí orientován na řízení strojů a procesů, kde se očekává, že řídicí systém vykoná rychle, prakticky okamžitě - tedy v reálném čase - všechny logické úlohy, změří všechny veličiny a podle toho vykoná akci. Otevře, zavře ventil, pohne motorem, spustí čerpadlo, vyvrtá díru. To vše často nepřetržitě a tam, kde řešení problému resetem je nepřijatelné. Proto PLC tlačítka reset ani nemají. Při výpadku napájení PLC ví, kde skončil a sám naběhne tam, kde skončil.
- PLC pracuje cyklicky. Přečte si najednou všechny vstupy, podle uživatelského programu spočítá všechny podmínky, které určují, jaké budou výstupy a pak najednou je přepíše do výstupních obvodů. Vyřeší všechny požadavky na komunikaci s ostatními zařízeními a opět si jde přečíst stav na vstupech... To vše v řádu milisekund.

**SoftPLC** - software, který nahrazuje řídicí funkci PLC na počítači.

**Způsoby tvorby programu běžícího v reálném čase, vizualizace technologie** - Obecně nejsou operační systémy na PC vhodné pro řízení (nejsou schopné zajistit garantovaně přidělený výkon pro danou aplikaci ani příslušnou prioritu, aby bylo dosaženo determinismu z pohledu vyhodnocení a obsluhy aktuálního stavu I/O či procesu). Pro dosažení real-time požadavků u PC je nad jádrem operačního systému MS Windows nainstalována real-time nadstavba, která aplikaci SoftPLC zajistí prioritu a přístup ke zdrojům PC tak, aby chování odpovídalo standardnímu PLC.

- LabVIEW - vývojové prostředí, programuje se vizuálně pomocí blokových diagramů, umožňuje paralelní programování a vizualizaci technologie.
- ControlWeb - české velmi robustní řešení pro řízení, vizualizační schopnosti jsou třírozměrný vykreslovací systém. Vykreslovací server běží ve vlastním threadu a je schopen v reálném čase vykreslovat i velmi složité scény s mnoha efekty v téměř fotorealistické kvalitě. Využívá nejnovějších technologií počítačové grafiky, včetně shaderů běžících v grafických procesorech. Nic z vykreslovacího systému není zaváděno do paměťového prostoru procesu. 3D systém tedy nemůže být na překážku ani u malých embedded systémů nevybavených možnostmi 3D grafiky.

## 18 - Zpracování vstupních signálů a vlastnosti výstupů

(analogové a digitální signály, výkonové akční členy, elektrické, pneumatické a hydraulické zesilovače)

### **Analogové a digitální signály**

- Analogový signál - může nabývat libovolné hodnoty z určitého daného rozsahu a je spojitý v čase. Generují jej čidla a převodníky.
- Digitální signál - je diskrétní v čase může nabývat pouze dvou úrovní (0/1), jiné hodnoty jsou zajištěny pomocí kódování binárního kódu. Dá se jednodušeji generovat, přenášet i zpracovávat a z analogového signálu jej získáme pomocí vzorkování a kvantování. Vzorkování znamená, že hodnota signálu se mění pouze v izolovaných okamžicích (diskrétní časová množina). Kvantování znamená, že signál může v libovolném okamžiku nabývat jednu z pouze konečného počtu hodnot. Hodnoty 1 a 0 se zajišťují s určitými rozsahy napětí (např. -60 V - 5 V pro 0 a 16 V - 60 V pro 1).

**Výkonové akční členy** - Akční členy jsou prvky určené k využití zpracované informace, na základě signálu z regulátoru řídí přísun energie do regulované soustavy. Nastavují velikost akční veličiny, jejich prostřednictvím zasahuje řídicí obvod do regulované soustavy nebo řízeného stroje.

**Elektrické, pneumatické a hydraulické zesilovače** - Protože většina signálů, které vystupují ze systému se nedá použít k přímé regulaci a signál se musí zesílit, požadavkem je, aby zesílení signálu bylo nezkreslené a mělo co největší účinnost, zesilovače se vyskytují v různých konstrukčních provedeních.

- Elektrické - Nejpoužívanější, dobré vlastnosti, rychlý přenos, integrované obvody. Zesílení je zhruba 10 000.
- Pneumatické - Jsou velmi rozšířeny v regulačních obvodech ve výbušném prostředí, tyto zesilovače obecně zesilují v poměru 1:50.
- Hydraulické - Využívají se zejména v hutnictví, energetice, chemii a všude tam, kde se požaduje velká přestavená síla provozu. Pomocná energie se dodává v podobě tlakových kapalin, má dobré konzervační vlastnosti.

## 19 - Průmyslové komunikace

(specifikace komunikací mezi průmyslovými systémy (typy sériových komunikací, technická rozhraní), aplikace datového modelu, nástroje pro správu)

### **Specifikace komunikací mezi průmyslovými systémy (typy sériových komunikací, technická rozhraní) -**

- Typy sériových komunikací - (paralelní komunikace používá řídící, adresové a datové vodiče)
  - Jedno nosné médium (kanál) - komunikace je buď jednosměrná (simplexní spojení) nebo má každá strana vyhrazen čas na vysílání a naslouchání (poloviční duplex).
  - Dva kanály (2 směry) - duplexní spojení, komunikace probíhá tam i zpět současně.
  - Synchronní komunikace - přidává se synchronizační kanál k datovému, který je taktovací (na přijímací straně je D klopný obvod), nevýhodou je drát navíc (např. sběrnice I2C).
  - Asynchronní komunikace - synchronizační kanál buď chybí (spíše dříve) nebo je součástí datového kanálu (dnes běžné, ale složitá implementace, většinou startbit, paritní bit a stopbit, např. sběrnice RS-232, RS-485).
- Technická rozhraní - komunikační protokoly pro užití různých sběrnic / linek.
  - ModBUS (master-slave, PLC-čidla), ProfiBUS (PLC), CAN (automobily), průmyslový ethernet (koaxiální kabely, koncovka RJ-45, optická vlákna, wireless, zatím neexistuje standard, jen doporučení).

**Aplikace datového modelu** - Velice záleží na prostředí a systému, který je pomocí komunikace řízen. Vždy se musejí brát v úvahu podmínky provozu jako jsou teplota, vlhkost, chemické zatížení, prach, zdroje jiného záření, délka mezi jednotlivými komunikujícími prvky, cena, a mnoho dalších parametrů. A posléze zvolit nejlepší, nebo kompromisní řešení.

**Nástroje pro správu** - mechanická zpětná vazba pomocí PID regulátorů, logických automatů - řízení založené na binárních hodnotách (využívá se karnaughových map, KNF, DNF) nebo PLC/softPLC.



## 20 - Robotické systémy

(senzorické systémy (vizuální, proximitní, akustické a taktilní), kinematické struktury (kombinace rotačních a translačních pohybů))

**Senzorické systémy (vizuální, proximitní, akustické a taktilní)** - měří určitou fyzikální nebo technickou veličinu a převádí ji na (elektrický) signál.

- Vizualní - kamera, často ve spojení s LED osvětlením, někdy laserem, metody strojového vidění.
- Proximitní - zjišťuje přítomnost blízkých objektů pomocí změn ve vysílaném / přijmutém elektromagnetickém poli nebo infračerveným elektromagnetickým zářením. Může se využívat i na detekci konkrétních objektů (plastové / kovové).
- Akustické - snímá okolí pomocí ultrazvuku.
- Taktilní - snímá informaci o doteku s vnějším okolím a převádí ji na elektrický signál.

**Kinematické struktury (kombinace rotačních a translačních pohybů)** - rotace kolem osy a posuv po ose.

- Sériová kinematická struktura - 90% robotů a manipulátorů, jednotlivé pohyblivé prvky jsou za sebou (například rameno).
- Paralelní kinematická struktura - tri-pod - hexa-pod, jednotlivé pohyblivé prvky jsou vedle sebe (například nohy pavouka).
- Rozdělení dle geometrie pracovního prostoru
  - Kartézská - x, y, z souřadnice (např. stroj, který rýsuje na prkně).
  - Cylindrická - různě velké kruhy (např. otáčecí rameno).
  - Sférická - celá koule (např. všesměrové dělo).
  - Angulární - polokoule (např. otáčecí rameno s kloubem).