

**SLOVENSKÁ TECHNICKÁ UNIVERZITA V BRATISLAVE  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A INFORMATIKY**

**TÍMOVÝ PROJEKT  
SYSTÉM NA PODPORU PEDAGOGIKY**

Vedúci projektu:

prof. Ing. Ján Murgaš, PhD.

**Bratislava 2019**

**Bc. Martin Dodek**

**Bc. Martin Irha**

**Bc. Jakub Hažík**

**Bc. Dominik Dano**

**Bc. Marek Štipčák**

**Bc. Denis Piovár**

# TÍMOVÝ PROJEKT

## ZADANIE

<b>Študijný program:</b>	<b>Robotika a kybernetika</b>
<b>Študijný odbor:</b>	<b>9.2.7 Kybernetika</b>
<b>Vedúci projektu:</b>	<b>prof. Ing. Ján Murgaš, PhD.</b>
<b>Konzultant:</b>	<b>Ing. Marián Tárník, PhD.</b>
<b>Miesto vypracovania projektu:</b>	<b>Ústav robotiky a kybernetiky</b>
<b>Riešitelia:</b>	

**Názov projektu:**    ***Systém na podporu pedagogiky***

**Špecifikácia zadania:**

Vytvorte systém na podporu pedagogiky v predmete Úvod do kybernetiky pre jednotlivé témy podľa harmonogramu predmetu. Aktualizované témy budú prílohou zadania.

**Úlohy:**

1. Vytvorte organizačný rámec pre riešenie TP podľa pravidiel tímových projektov.
2. Analyzujte rozsah prác na jednotlivých témach projektu.
3. Vytvorte zadanie úloh pre členov riešiteľského kolektívu.
4. Vypracujte požadovanú dokumentáciu.
5. Napíšte recenziu konkurenčného projektu.
6. Odprezentuje tímový projekt.

**Termín odovzdania projektu:**    **13.5.2019**

# Obsah

<b>Úvod</b>	<b>4</b>
<b>1 Rozdelenie úloh – bloky prednášok</b>	<b>5</b>
<b>2 Pravidlá Tímového Projektu</b>	<b>7</b>
<b>3 Zápisnice zo stretnutí</b>	<b>9</b>
<b>4 Výsledky práce</b>	<b>10</b>
4.1 Blok 0	10
4.1.1 Matlab a Simulink pre dynamické systémy .....	10
4.1.2 Uživateľské prostredie MATLABu .....	10
4.1.3 Dátové štruktúry .....	10
4.1.4 Komplexné čísla .....	11
4.1.5 Funkcie .....	11
4.1.6 Polynóm .....	11
4.1.7 Grafy .....	11
4.1.8 Simulink .....	12
4.2 Blok 1	12
4.3 Blok 2	13
4.4 Blok 3	14
4.5 Blok 4	15
4.6 Blok 5	15
4.7 Výsledok	16
<b>5 Hodnotenie členov tímu</b>	<b>17</b>
<b>6 Hodnotenie konkurenčného tímu</b>	<b>18</b>
<b>Prílohy</b>	<b>19</b>

# Úvod

Anotácia: Tímový projekt je príprava študentov na prácu v tíme a rozvíjanie schopností, ako komunikovať v tíme, spolupracovať pri vytváraní spoločného výsledku projektu, plánovať relatívne rozsiahly projekt, účinne riadiť projekt (podielať sa na riadení) a efektívne využiť (moderovať) diskusie v rámci tímu a aj s vedúcim projektu a prípadne zákazníkom, prezentovať výsledky projektu. Súčasťou tímového projektu je vypracovanie dokumentácie.

Dokumentácia k projektu: Dokumentácia obsahuje okrem odborných častí aj časť Riadenie projektu. Táto časť obsahuje minimálne: predstavenie riešiteľského kolektívu, plán projektu (v jednotlivých kontrolných bodoch sa môže meniť), dohodnuté metódy práce, komunikácie a koordinácie projektu, podrobné záznamy zo stretnutí (vrátane rozhodnutí tímu a kontroly rozhodnutí). Každý tím na záver písomne vypracuje posudok na konkurenčný projekt. Posudok je súčasťou dokumentácie. Dokumentácia obsahuje aj termín obhajoby projektu. Odporúča sa, aby študenti v rámci projektu vytvorili a v priebehu projektovania udržiavali prezentáciu projektu a výsledkov projektu na webe.

Výsledky projektu študenti prezentujú písomne a ústne pred komisiou.

## Harmonogram

1. týždeň semestra: zostavenie tímu, výber témy, vypracovanie ponuky
2. týždeň semestra: potvrdenie témy, rozdelenie tímových rolí, organizačné záležitosti (webstránka, dokumentačné úložisko, termíny stretávania...)

V druhom týždni treba zverejniť stránku tímu.

3. - 12. týždeň: práca na projekte priebežne dokumentovaná zápisnicami
- skúškové obdobie: spoločná verejná obhajoba a oponentúra projektov

## Posudok

Každý tím vypracuje posudok na riešenie iného tímu. Je potrebné zhodnotiť prínosy aj nedostatky projektu.

# 1 Rozdelenie úloh – bloky prednášok

Oficiálny aktuálny harmonogram predmetu Úvod do kybernetiky:

1. Kybernetika a jej význam. Základné nástroje pre predmet.
2. Procesy a ich matematický opis. Statické a dynamické vlastnosti procesov. Ustálené a prechodné stavy. Riešenie „dynamiky“ pomocou diferenciálnych rovníc.
3. Laplaceova transformácia a jej využitie pri riešení diferenciálnych rovníc.
4. Kybernetický model procesu. Prenosová funkcia. Vlastnosti prenosových funkcií. Póly, nuly. Prechodové charakteristiky.
5. Stavové modely procesov. Stabilita systémov. Algebrické kritérium. Frekvenčné kritérium.
6. Skúška A 20b
7. Riadenie procesov – základný princíp kybernetiky. Stabilita regulačných obvodov. Základná štruktúra regulátorov PID štruktúra. Výber vhodnej štruktúry PID regulátora pre typické riadené systémy.
8. Návrh optimálnych parametrov PID regulátorov.
9. Praktické problémy použitia PID regulátorov.
10. Korekčné členy s fázovým predstihom.
11. Korekčné členy s fázovým zaostávaním. Kombinované korekčné členy
12. Skúška B 40b

Na základe obsahu pôvodných prednášok, aktuálneho harmonogramu a vlastných úprav som definoval hlavné bloky, ktorým sa budeme venovať:

- BLOK 0 Matlab a Simulink
- BLOK 1. Dynamika, modelovanie, dif. rovnice, LPT, obrazy funkcií, parciálne zlomky, ILPT, veta o počiatočnej a konečnej hodnote, algebra prenosových funkcií, úprava blokových schém
- BLOK 2. Prenosové funkcie (typy - nuly, póly, astatizmus), charakteristiky (prechodová, impulzná, frekvenčné, prevodová char.), odozvy typických systémov, char. polynóm, korene (rozloženie koreňov a vplyv na dynamiku)
- BLOK 3. stabilita - kritéria (frekvenčné, algebrické), stavový opis systému, kanonická forma riaditeľnosti, vlastné čísla matice

- BLOK 4. Riadenie, regulátory, URO, ORO, , PID regulátor, kvalita riadenia, trvalá regulačná odchýlka, riadenie jednoduchých sústav PID regulátorom, Návrh optimálnych parametrov PID regulátorov
- BLOK 5. Návrh korekčných členov- Frekvenčné kritéria stability

Tieto kapitoly obsahovo reflektujú sylabus predmetu a zároveň ponúkajú rámcové rozdelenie medzi členov tímu. Aj napriek tomu, že sa jedná o tímový projekt, bude každý z jeho členov pracovať viacmenej nezávisle na svojej pridelennej časti.

Tieto bloky by mali byť náročnosťou a obsahom vyvážené a zároveň by malo zostať zachované základné členenie predmetu a jeho harmonogram.

Aktuálne a konečné rozdelenie blokov medzi členov tímu je nasledovné:

**BLOK 0 Dominik Dano**

**BLOK 1 Martin Dodek**

**BLOK 2 Jakub Hažík**

**BLOK 3 Matin Irha**

**BLOK 4 Marek Štipčák**

**BLOK 5 Denis Piovár**

## 2 Pravidlá Tímového Projektu

### *Anotácia:*

Tímový projekt je príprava študentov na prácu v tíme a rozvíjanie schopností, ako komunikovať v tíme, spolupracovať pri vytváraní spoločného výsledku projektu, plánovať relatívne rozsiahly projekt, účinne riadiť projekt (podieľať sa na riadení) a efektívne využiť (moderovať) diskusie v rámci tímu a aj s vedúcim projektu a prípadne zákazníkom, prezentovať výsledky projektu. Súčasťou tímového projektu je vypracovanie dokumentácie.

### *Dokumentácia k projektu:*

Dokumentácia obsahuje okrem odborných častí aj časť Riadenie projektu. Táto časť obsahuje minimálne: predstavenie riešiteľského kolektívu, plán projektu (v jednotlivých kontrolných bodoch sa môže meniť), dohodnuté metódy práce, komunikácie a koordinácie projektu, podrobné záznamy zo stretnutí (vrátane rozhodnutí tímu a kontroly rozhodnutí). Každý tím na záver písomne vypracuje posudok na konkurenčný projekt. Posudok je súčasťou dokumentácie. Dokumentácia obsahuje aj termín obhajoby projektu. Odporúča sa, aby študenti v rámci projektu vytvorili a v priebehu projektovania udržiavali prezentáciu projektu a výsledkov projektu na webe. Výsledky projektu študenti prezentujú písomne a ústne pred komisiou.

### *Výsledky vzdelávania:*

Príprava študentov pre tímovú prácu na projektoch väčšieho rozsahu. Študenti budú vedieť pracovať v tíme, preukázať schopnosti dorozumieť sa, rozdeliť si úlohy, vytvoriť produkt (jeho časť) zrozumiteľnú a modifikovateľnú pre ostatných. Preukázaním týchto schopností je vytvorenie integrovaného produktu - výsledku riešenia projektu, ktorý spĺňa požiadavky zadania v predmetoch Tímový projekt 1 a Tímový projekt 2.

### *Stručná osnova predmetu:*

1. Ponuka: vytvorenie a nahlásenie tímov, zverejnenie tém a požiadaviek na vypracovanie ponuky, spracovanie ponuky, odovzdanie ponúk, vyhodnotenie ponúk.
2. Rozdelenie úloh, vytvorenie plánu projektu na celú dobu riešenia a na semester, analýza problému (špecifikácia požiadaviek, štúdium problematiky).
3. Analýza problému, hrubý návrh riešenia.



### 3 Zápisnice zo stretnutí

Prvé stretnutie:

- Získanie základných znalostí, ktoré od nás prednášateľ predmetu požaduje
- Najväčší dôraz je kladený na dokumentáciu
- Oboznámenie sa s pravidlami Tímového Projektu

Druhé stretnutie:

- Určenie vedúceho Tímového projektu
- Vytvorenie Github repozitára na dokumentáciu a zdieľanie informácií
- Zistenie, ktoré predmety nadväzujú na UKYB
- Rozhodnutie o pridávaní väčšieho počtu obrázkov, príkladov do prednášok a lepšie vysvetlenie princípov, vďaka čomu sa to lepšie študentom vysvetlí a to by malo zvýšiť úspešnosť predmetu
- Zamyslieť sa nad vecami, ktorým rozumieme a ktoré by mali byť lepšie vysvetlené v prednáškach

Tretie stretnutie:

- Rozdelenie prezentácií do blokov
- Priradenie blokov jednotlivým členom tímu
- Priradenie obsahu úloh, čo by mali jednotlivé bloky obsahovať

Štvrté stretnutie:

- Prvé ukážky prezentácií prednášateľovi
- Dolad'ovanie detailov, ktoré sa týkajú harmonogramu predmetu

## 4 Výsledky práce

### 4.1 Blok 0

#### 4.1.1 Matlab a Simulink pre dynamické systémy

Cieľom tohto bloku je oboznámiť študentov so základmi práce v prostredí MATLAB a Simulink. V prostredí MATLAB sú vysvetlené základné príkazy, ktoré študenti budú potrebovať pri práci na zadaniach počas celého štúdia na fakulte a tiež sa tu nachádzajú aj krátke demonštračné príklady, na ktorých sú vysvetlené princípy. V prostredí Simulink sa zameriavame na vytváranie schém pre dynamické systémy, ako nastaviť pevnú periódu vzorkovania a ako si vymieňať informácie medzi MATLABom a Simulinkom.

#### 4.1.2 Uživatelské prostredie MATLABu

Na začiatok sme študentom ukázali ako vyzerá užívateľské prostredie MATLAB a z akých pracovných rozhraní sa skladá. Medzi tieto základné pracovné rozhrania patria: Command Window, Editor, Current Folder a Workspace. Command Window je rozhranie, do ktorého priamo zadávame príkazy, ktoré sa hneď vykonávajú. Editor slúži na editáciu skriptu alebo kódu. Current Folder nám zobrazuje súbory v pracovnom priečinku. Akýkoľvek súbor, s ktorým chceme pracovať, tak sa musí nutne nachádzať v Current Folder. Vo Workspace môžeme vidieť zoznam použitých premenných s ktorými pracujeme. Je dôležité aj poukázať nato, akými spôsobmi sa dajú premenné vymazať, ak s nimi následne už nechceme pracovať.

#### 4.1.3 Dátové štruktúry

Po vysvetlení, ako vyzerá užívateľské prostredie MATLABu a načo jednotlivé rozhrania slúžia je dôležité vysvetliť s akými dátovými štruktúrami môžeme v MATLABe pracovať. Keďže skratka MATLAB vyplýva z názvu Matrix Laboratory, čo v preklade znamená maticové laboratórium, tak kľúčovou dátovou štruktúrou je matica. Okrem matic tu môžeme pracovať aj s vektormi a skalármi. V tejto časti sa nachádzajú demonštračné príklady na vysvetlenie matice, vektora a skalára. V demonštračných príkladoch je vysvetlené akými spôsobmi sa môže matica vytvoriť a tiež aj to, ako sa nahrádzajú jednotlivé prvky v matici. Následne je tu vysvetlené aj to, akými spôsobmi sa môže vytvoriť vektor, ako vyzerá riadkový vektor a ako vyzerá stĺpcový vektor a aj ako sa z riadkového vektoru vytvorí stĺpcový a naopak. Keďže základným prvkom v MATLABe je matica, tak je potrebné ukázať študentom ako sa matice využívajú pri riešení systému lineárnych rovníc. Nachádza sa tu demonštračný príklad, v ktorom je

zápis troch rovníc a následne je tu vysvetlený postup zápisu daných prvkov do matíc a aj to, aký operátor sa následne použije, aby sme získali výsledok.

#### **4.1.4 Komplexné čísla**

Ďalšiu dôležitú časť tvoria komplexné čísla. Ako sa v MATLABe pracuje s komplexnými číslami je vysvetlené na jednoduchom príklade, kde je vysvetlené ako získame z komplexného reálnu časť, imaginárnu časť, akým príkazom vytvoríme komplexne združené číslo k zadanému komplexnému číslu, ako zistíme veľkosť komplexného čísla a ako zistíme uhol.

#### **4.1.5 Funkcie**

Funkcie sú m-súbory, ktoré môžu prijímať vstupné argumenty a vracať výstupné argumenty. Meno m-súboru sa musí zhodovať s menom funkcie. Funkcia môže mať jeden alebo viacero výstupných parametrov. Zoznam výstupných parametrov je písaný pred menom funkcie v hranatých zátvorkách.

#### **4.1.6 Polynóm**

Študenti pri práci na rôznych zadaniach budú musieť pracovať s polynómami, preto je dôležité vysvetliť základné princípy práce s polynómami. Polynóm je reprezentovaný svojimi koeficientami. V MATLABe je polynóm uložený ako vektor, ktorého prvý prvok je koeficient pri najvyššej mocnine a posledný prvok je absolútny člen. V tejto časti bolo vytvorených viacero demonštračných príkladov na prácu s polynómami ako je napríklad zápis polynómu, výpočet koreňov polynómu, zistenie akej hodnoty sa polynóm rovná pri dosadení čísla za neznámu premennú, vznik polynómu z vopred známych koreňov, sčítanie a odčítanie polynómov, násobenie, delenie, delenie so zvyškom, rozdelenie polynómu na parciálne zlomky, derivácia a integrácia polynómu.

#### **4.1.7 Grafy**

Grafika je silnou stránkou prostredia MATLAB. Je to nástroj, ktorý sa používa na prehľadné zobrazovanie výsledkov, ktoré nie sú na prvý pohľad jasné. V tejto časti sa nachádzajú demonštračné príklady na prácu s grafmi. Je tu zobrazený postup, akým príkazom sa vytvorí graf, označenie x-ovej a y-ovej osi, vytvorenie názvu grafu ale aj vytvorenie legendy, ak sa v grafe nachádza viacero priebehov, aby bolo jasné, ktorá čiara patrí k danému priebehu. Tiež je tu vysvetlené použitie príkazov na nastavenie rozsahu x-ovej a y-ovej osi, zapnutie a vypnutie mriežky, nastavenie hrúbky čiary, nastavenie

farby čiary. Tiež je tu zobrazený aj postup ako sa exportuje obrázok z MATLABu do Wordu.

#### **4.1.8 Simulink**

Prostredie Simulink sa používa na modelovanie a simuláciu dynamických systémov. Obsahuje algoritmy pre numerické riešenie diferenciálnych rovníc. Je to vlastne grafické programovanie na základe blokových schém. Schéma v Simulinku je tvorená na základe bloku, do ktorého vstupuje vstupný (riadiaci) signál a na výstupe je výstupný (riadený) signál. Následne tu je vysvetlené čo sú bloky a signály v Simulinku. Bloky sú funkčné stavebné prvky. Signály sú tok dát, ktorý je používaný na komunikáciu medzi jednotlivými blokmi. Je tu vysvetlené aj to, že čo je algebraická slučka. Ďalej je tu uvedený postup ako sa nastavuje pevná perióda vzorkovania, ako sa pridávajú bloky do schémy, ako sa vytvárajú signály, ako sa vytvárajú schémy, práca s blokmi ako je označenie jedného, viacerých alebo všetkých blokov, ako sa vetví signál, ako sa pracuje so subsystémami, komunikácia a výmena dát medzi MATLABom a Simulinkom. Na záver je vytvorený demonštračný príklad so zadanou prenosovou funkciou a úlohou je zistiť prevodovú charakteristiku. Je tu uvedený postup ako sa vytvára prevodová charakteristika- máme zadané vstupy a zisťujeme prechodovú charakteristiku a následne zoberieme ustálenú hodnotu výstupu, ktorá zodpovedá danému vstupu a zapíšeme túto hodnotu do tabuľky. Zo získaných dát následne vykreslíme prevodovú charakteristiku.

### **4.2 Blok 1**

Prvá prednáška je úvodom do predmetu a problematiky automatického riadenia vôbec. Na začiatok sme vysvetlili pojem kybernetika v širšom zmysle, rovnako sme sa na príkladoch snažili naznačiť význam dynamiky systémov okolo nás. Ďalej sme zaviedli pojem diferenciálnych rovníc a ich význam v kybernetike a rovnako rozdiel medzi lineárnymi a nelineárnymi systémami vo všeobecnosti. Rovnako sme ukázali na prítomnosť dynamiky v elektrických obvodoch a odvodenie diferenciálnych rovníc.

Zaviedli sme Laplaceovu transformáciu ako základnú transformáciu v kybernetike. Ukázali sme význam definičného integrálu a odvodenie obrazov niektorých funkcií – dôležitých signálov ako Dirackov impulz a jednotkový skok.

Rovnako sme definovali vzťah Laplaceovej transformácie derivácie a integrálu. Tým pádom sme ukázali princíp vytvárania blokových schém z diferenciálnych rovníc – ako základný prístup pri modelovaní systémov. Zaviedli sme pojem prenosovej funkcie ako

základného dynamického objektu. Ukázali sme základné štruktúry blokových schém a princípy ich úprav a zjednodušovania. Kapitola obsahuje veľké množstvo príkladov s riešeniami. Obsah prednášky je z veľkej časti vlastný.

## 4.3 Blok 2

Obsahom prednášok druhého bloku sú nasledujúce témy: dynamika, diferenciálne rovnice, Laplaceova transformácia, prenosová funkcia a modelovanie. Prezentácia začína najprv vysvetlením slova „Kybernetika“, aby študenti vedeli čo toto slovo symbolizuje. Ďalej nasleduje vysvetlenie pojmu dynamika. Je potrebné vedieť, že dynamika systémov je jedna z najdôležitejších vecí v kybernetike. Čas pri dynamike vystupuje ako nezávislá premenná, základom dynamiky je derivácia funkcie podľa času. Ako príklad dynamiky sme uviedli nasledujúce technické procesy: otáčky jednosmerného motora, teplota pece, napätie na kondenzátore, výška hladiny zásobníka kvapaliny a kmitanie bremena žeriavu.

Študenti sa budú počas celého štúdia stretávať s diferenciálnymi rovnicami, tak je dôležité vysvetliť, čo diferenciálna rovnica je. Diferenciálna rovnica je matematická rovnica, v ktorej ako premenné vystupujú derivácie funkcií. Podľa stupňa derivácie rozlišujeme rád diferenciálnej rovnice. Diferenciálna rovnica môže byť lineárna alebo nelineárna. Riešenie diferenciálnych rovníc môže byť analytické alebo numerické. V prezentácii sú tiež uvedené rozdiely medzi lineárnymi a nelineárnymi diferenciálnymi rovnicami a tiež sú tu následne uvedené príklady pre lineárne a nelineárne systémy. V prezentácii sa tiež nachádzajú jednoduché príklady na modely pasívnych filtrov, z ktorých je potrebné určiť diferenciálnu rovnicu.

Laplaceova transformácia je tiež veľmi dôležitá kapitola. Laplaceova transformácia nám zjednodušuje prácu s časovými deriváciami signálov. Pomocou nej vieme riešiť lineárne diferenciálne rovnice a abstrahovať vlastnosti systémov do prenosových funkcií. Prenosová funkcia je pomer Laplaceovho obrazu výstupu systému k Laplaceovmu obrazu vstupu pri nulových počiatočných podmienkach. Prenosová funkcia nezávisí od konkrétneho signálu, ale od signálu, ktorý na vstup privedieme. Prenosová funkcia opisuje dynamické vlastnosti systému. Dôležitými vlastnosťami prenosovej funkcie sú: charakteristický polynóm, rád charakteristického polynómu prenosovej funkcie, rád čitateľa, póly, nuly a stupeň astatizmu. Následne tu je vysvetlená algebra prenosových funkcií, čiže sériové zapojenie, paralelné zapojenie a spätná väzba. Sú tu aj uvedené jednoduché príklady na ukážku.

Na konci bloku sú realizované príklady na vytvorenie z diferenciálnych rovníc. V prvom prípade je uvedená diferenciálna rovnica pre opis matematického kyvadla a následne je tu podrobne vysvetlená realizácia v Simulinku- vytvorenie modelu. Ako druhý príklad bol zvolený buďený harmonický oscilátor a vytvorenie jeho modelu z diferenciálnej rovnice.

## 4.4 Blok 3

V tejto časti sú hlavnými témami kritériá- frekvenčné, algebraické, stavový opis systému, kanonická forma riaditeľnosti a vlastné čísla matice.

Na začiatok sú uvedené definície pre vonkajší model- diferenciálna rovnica, prenosová funkcia a definícia pre vnútorný model, čiže stavový model systému. Pri stavovom modeli je dôležité vysvetliť, čo je stav systému- je to súhrn všetkých veličín systému(okrem vstupných), ktoré vieme do opisu zahrnúť. Stavový opis je prepis diferenciálnej rovnice  $n$ -tého rádu na  $n$  diferenciálnych rovníc prvého rádu. Potom nasleduje jednoduchý príklad na vysvetlenie stavového opisu systému a tiež aj príklad, pri ktorom je zadaná diferenciálna rovnica, z ktorej následne získame stavový opis. Príklady sú tu detailne vysvetlené, aby študenti pochopili ich podstatu. Tiež je dôležité spomenúť aj to, že zo stavového opisu vieme následne dosiahnuť prenosovú funkciu.

Ďalšou dôležitou časťou je vysvetlenie stability systému. Keď máme systém zapísaný v stavovom priestore, tak na určenie stability systému potrebujeme získať vlastné čísla matice  $A$ . Sú tu uvedené príkazy v MATLABe, ktoré sú potrebné na získanie koreňom systému a príkaz na zistenie vlastných čísel matice.

Potom nasleduje vysvetlenie vyšetrovania stability systému. Na vyšetrenie stability sa používajú frekvenčné a algebraické kritériá stability. Medzi frekvenčné kritériá stability patria Nyquistovo kritérium a Bodeho kritérium. Nyquistovo kritérium vychádza z frekvenčných charakteristík ORO v komplexnej rovine a Bodeho kritérium vychádza z logaritmických frekvenčných charakteristík ORO. Algebraické kritériá stability vychádzajú z charakteristickej rovnice uzavretého regulačného obvodu. Tieto kritériá vyšetrujú rozloženie pólov systému v komplexnej rovine. Medzi najznámejšie algebraické kritériá stability patrí Routhovo kritérium stability. Následne sú tu uvedené príklady ako sa vyšetruje stabilita pomocou Nyquistovho, Bodeho a Routhovho kritéria, ktoré sú detailne vysvetlené.

## 4.5 Blok 4

Tento blok je zameraný na riadenie, regulátory, uzavretý regulačný obvod, otvorený regulačný obvod, PID regulátor, kvalita riadenia, trvalá regulačná odchýlka, vysvetlenie riadenia na sústavách pomocou PID regulátora a návrh optimálnych parametrov PID regulátorov.

Na začiatok je uvedená schéma ako vyzerá regulačný obvod. Dôležité vedieť, akými veličinami je tvorený obvod. Vstupnou veličinou do obvodu je žiadaná veličina. Výstupnou veličinou je regulovaná veličina. Regulačná odchýlka je rozdiel medzi výstupnou veličinou a vstupnou veličinou. Regulačná odchýlka vstupuje do regulátora. Regulátorom sa nasledne generuje akčný zásah, ktorú vstupuje do riadeného systému.

Regulátory môžu byť definované buď interakčným tvarom alebo zložkovým tvarom. Medzi základné typ regulátorov patria P regulátor, I regulátor, PI regulátor, PD regulátor a PID regulátor. Následne je tu vysvetlený príklad na reguláciu statickej sústavy prvého rádu s použitým PI regulátorom. Je tu vysvetlené, ako treba postupovať pri riešení: výpočet ORO, výpočet URO, vyšetrenie podmienky stability, vyšetrenie aká môže byť kvalita regulácie.

## 4.6 Blok 5

V tomto bloku sú vysvetlené frekvenčné kritériá stability- návrh korekčných členov. Korekčný člen je člen, ktorý je zaradený do obvodu za účelom korigovania jeho dynamických vlastností. Korekčné členy sa zapájajú do obvodu sériovo. Princíp je nasledovný: k pôvodnému prenosu riadeného systému pridáme prenos korekčného člena. Medzi základné princípy korekčných členov patria korekčný člen s fázovým predstihom a korekčný člen s fázovým zaostávaním. Korekčný člen s fázovým predstihom skracuje čas nábehu a dobu regulácie, vylepšuje rezervu stability vo fáze regulačného obvodu. Korekčný člen s fázovým zaostávaním predlžuje čas nábehu a dobu regulácie systému. Následne sú tu uvedené realizácie obidvoch typov korekčných členov a tiež výsledky simulácií a porovnania priebehov s použitím korekčných členov a bez korekčných členov.

## 4.7 Výsledok

Vo výsledku sa nám podarilo naplniť vlastné očakávania a predsavzatia o kvalite výsledného produktu.

Z organizačných a iných dôvodov sme však boli schopní plnohodnotne realizovať a naplniť iba bloky 0 až 3. Hoci tieto považujem práve za tie najdôležitejšie. Vznikol tak súbor ucelených komplexných prednášok k základom teórie riadenia ako prvotný kontakt študentov s pojmami ako systém alebo Laplaceova transformácie. Čo sa týka kvality, tak miera sebareflexie v tíme bola pri vytváraní obsahu prednášok nastavená dostatočne vysoko. Rovnako aj sila spätnej väzby od (nás bývalých) študentov predmetu úvod do kybernetiky. Snažili sme sa o podanie problematiky z našej perspektívy, tak ako sme to vnímali vtedy, čomu sme nerozumeli, čo nás viac zaujímalo a čo sme napokon v ďalšom štúdiu využili pri práci na zadaniach alebo na nadväzujúcich predmetoch. Jednotlivé kapitoly sme hlbkovo analyzovali a rekonštruovali spôsob ako ich efektívne podať študentovi.

Chceli sme tak nielen splniť našu študentskú povinnosť, spraviť predmet, a získať kredity ale hlavne vytvoriť spoločnými silami niečo komplexné a kvalitné.

Preto veríme, že výsledky našej práce budú mať reálne uplatnenie a použijete tieto prednášky pri výuke budúci semester.



## 5 Hodnotenie členov tímu

Percentuálne rozdelenie bodov študentom podľa vedúceho tímu (spolu 100 percent) a to nasledovne:

- **Dominik Dano - 22%** - jediný pracoval priebežne celý semester, reagoval priebežne na moje požiadavky a korekcie, nemal podklady k svojej časti prezentácie, podstatná časť jeho práce bola vlastným prínosom a bola novinkou v rámci UDK, vypracoval dokumentáciu k svojej časti
- **Martin Dodek - 22%** - vedúci tímu - vytvoril rámce úloh a priradenie členom tímu, supervízor tímového projektu, snažil sa pracovať priebežne, stratil motiváciu už počas semestra, korigoval a pripomienkoval práce svojich spolužiakov, kompletná revízia všetkých prednášok, výstupná kontrola, vlastnú časť vypracovával až cez skúškové obdobie v závere práce na TP, snažil som sa o intenzívne a hĺbkové vysvetlenie problematiky s maximom vlastných postrehov a úvah
- **Jakub Hažík - 22%** - na začiatku vytvoril novú šablónu prednášok, pracoval až v závere skúškového (do posledného dňa), jeho kapitola bola obsahovo asi najobsiahlejšou, moje požiadavky a korekcie pripomienok realizoval s výborným výsledkom a v primeranom čase, jeho vlastný prínos oproti pôvodným prednáškam bol výrazný
- **Matin Irha - 22%** pracoval až v závere skúškového, moje požiadavky a korekcie pripomienok realizoval s výborným výsledkom a v primeranom čase, jeho vlastný prínos oproti pôvodným prednáškam bol výrazný
- **Marek Štipčák -5%** pracoval až v závere skúškového, svoju látku v porovnaní s pôvodnými prednáškami prehľbil len minimálne, chýba výrazný vlastný prínos, v podstate skopírovaný obsah a forma pôvodných prednášok
- **Denis Piovár - 7%** pracoval až v závere skúškového, svoju látku v porovnaní s pôvodnými prednáškami prehľbil avšak chýba intenzívnejšia grafická úprava a vlastný pohľad na problematiku, realizoval viacero simulačných príkladov

## 6 Hodnotenie konkurenčného tímu

- Prednášky konkurenčného tímu nadobudli novú šablónu s atraktívnejšou vizuálnou stránkou oproti pôvodným prednáškam.
- Avšak v niektorých prípadoch je toto na úkor prehľadnosti a čitateľnosti textu, rovníc a grafov.
- Čo sa týka grafov a obrázkov, tak všetky sú rastrové, čo zhoršuje čitateľnosť detailov oproti nami použitými vektorovými obrázkami.
- Konkurenčný tím spracoval iba niektoré vybrané prednášky – konkrétne prvých sedem prednášok
- Chýbajú prednášky o návrhu parametrov PID regulátora, kapitola o korekčných členoch a ich návrhu
- Rovnako však uznávame, že naše dve prednášky práve zmienené kapitoly o návrhu parametrov PID regulátora a kapitola o korekčných členoch a ich návrhu (Blok 4, Blok 5) sú oproti našim ostatným prednáškam kvalitatívne pozadu.
- Konkurenčný tím viac-menej prevzal väčšinu obsahu z pôvodných prednášok ... dovoľm si tvrdiť, že pôvodného textu je nad 90 percent.
- Vlastný prínos – obsahový, grafický, formálny ... alebo akýkoľvek iný je minimálny
- Žiadna z rovníc nebola upravená alebo pozmenená, rovnako všetky príklady sú pôvodné.
- Blokové schémy a grafy priebehov simulácii sú rovnako prevzaté z pôvodných prednášok. Nevznikol tak žiadny pridaný obsah.
- Nevidím žiadnu hlbšiu analýzu tém, vlastné postrehy a nápady k zlepšeniu obsahu alebo formy prednášok.

# Prílohy

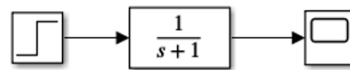
Ukážky prezentácii jednotlivých prednášok:

## Simulink

- Vytvorenie signálov
  - Ľavý klik a ťahanie čiary
  - Ctrl + ľavý klik
  - Podržaním pravého tlačítka myši a ťahanie čiary

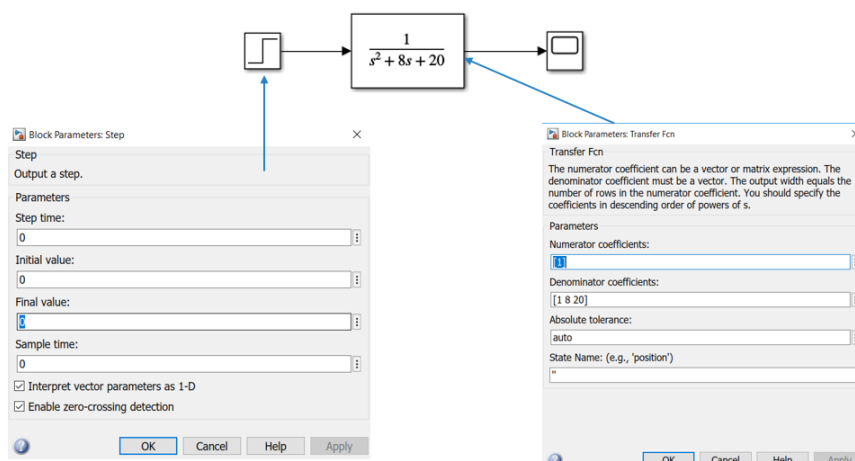
- Vytvorenie schémy

- Základné užitočné bloky
  - Step – zdroj signálu
  - Transfer function – prenosová funkcia
    - Vektory koeficientov pre čitateľa a menovateľa
  - Scope – grafické zobrazenie priebehu



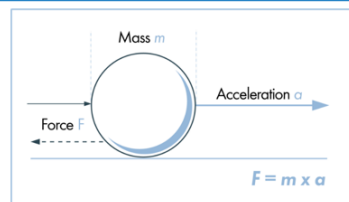
## Simulink – príklad

- Pre riadený systém s prenosovou funkciou  $G(s) = \frac{1}{s^2 + 8s + 20}$  zobrazte:
  - Prechodovú charakteristiku (je to odozva systému na jednotkový skok)
  - Prevodovú charakteristiku riadeného systému

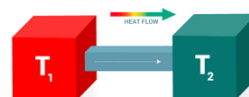


# Dynamické deje fyzikálne

- Dynamika v klasickej mechanike:
  - Newtonove pohybové zákony
  - Zákon zachovania energie
  - Potenciálna a kinetická energia telesa
  - Suché a viskózne trenie
  - Pohybové zákony pre rotačné telesá
  - Lagrangeove rovnice
- Dynamika tepelnej energie
  - 1. a 2. termodynamický zákon
  - Akumulácia tepla
  - Prestup tepla a sálanie tepla
- Dynamika kvapalín
  - Zákon zachovania hmoty
  - Hydrostatický tlak
- Viac v predmete: Spojité procesy



## LAWS OF THERMODYNAMICS



The change in internal energy of a system is equal to the heat added to the system minus the work done by the system.

$$\Delta U = Q - W$$

Change in internal energy

Heat added to the system

Work done by the system

# Modely pasívnych filtrov

- Hornopriepustný RC filter
- Zostavme diferenciálnu rovnicu
- Premenné musia ostať iba signály  $U_{in}$  a  $U_{out}$
- 2. Kirchhofov zákon – súčet napätí v slučke

$$U_{in} = -U_{out} - U_C$$

$$U_{in} = U_{out} \frac{1}{C} \int \frac{U_{out}}{R} (t) dt \quad / \quad \frac{d}{dt}$$

$$\frac{dU_{in}}{dt} = \frac{dU_{out}}{dt} + \frac{1}{RC} U_{out}$$

$$U_{in} = U_C + U_R$$

$$\dot{U}_{in} = \dot{U}_{out} + \frac{1}{RC} U_{out}$$

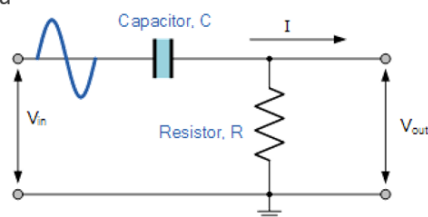
$$U_R = U_{out}$$

Výsledkom je diferenciálna rovnica prvého rádu

$$U_R = iR$$

$$i_C = i$$

$$U_C = \frac{1}{C} \int i_C(t) dt$$



## Prechodová charakteristika - Časová konštanta T

$$F(s) = \frac{K}{Ts + 1}$$

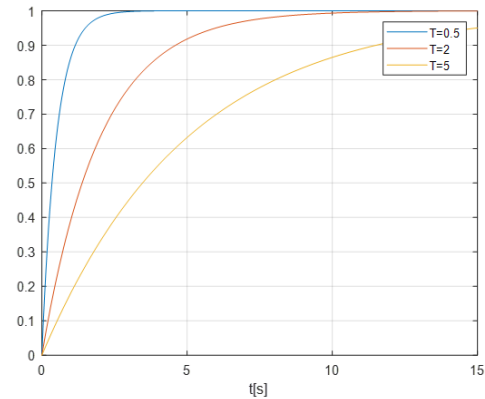
- Riešenie prechodovej charakteristiky v časovej oblasti

$$y(t) = K(1 - e^{-\frac{t}{T}}) + y_0 e^{-\frac{t}{T}}$$

- T – **časová konštanta systému** – rozmer sekunda
- Hodnota prechodovej charakteristiky v čase T:

$$y(t) = K(1 - e^{-1}) \approx 0,63K$$

- T väčšie = pomalšia dynamika
- T menšie = rýchlejšia dynamika



## Frekvenčné charakteristiky systémov

Analýza frekvenčných vlastností signálu

- V prípade neznámych parametrov systému analyzujeme frekvenčné charakteristiky za pomoci experimentov
- Pre vstupný a výstupný signál nájdeme amplitúdy
- Určenie fázového posunu:

$$\varphi = 2\pi \cdot \frac{\Delta t}{T}$$

T – perióda meraných signálov  
 $\Delta t$  – časový rozdiel medzi identifikovanými fázami

Užitočné vzťahy:

$$G(j\omega) = a + jb = |G(j\omega)|e^{j\varphi}$$

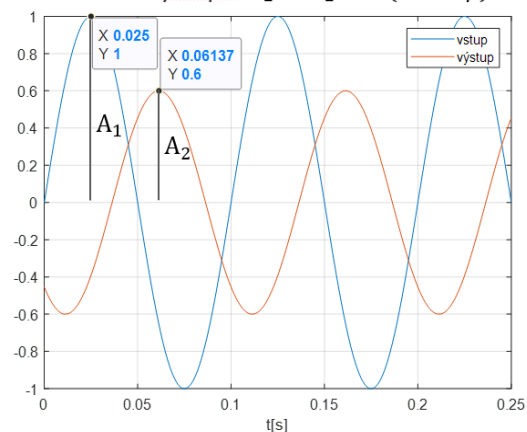
$$|G(j\omega)| = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{b}{a}$$

$$|G(j\omega)| = \frac{A_2}{A_1}$$

Funkcia vstupu:  $x_1 = A_1 \cdot \sin(\omega t)$

Funkcia výstupu:  $x_2 = A_2 \cdot \sin(\omega t + \varphi)$



## Kanonická forma riaditeľnosti

Na predchádzajúcom slide sme spomenuli slovo **kanonická forma riaditeľnosti**. Inými slovami, je to štandardizovaný stavový model definovaný nasledovne.

$$\begin{aligned}\dot{x} &= A_R x + B_R u \\ y &= C_R x\end{aligned}$$

potom...

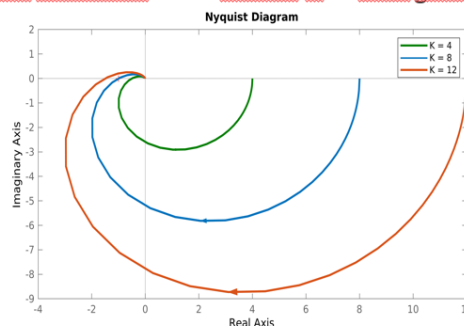
$$A_R = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \\ -a_0 & -a_1 & -a_2 & \cdots & -a_{n-1} \end{bmatrix} \quad B_R = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$C_R = [b_0 \quad b_1 \quad b_2 \quad \cdots \quad b_{n-1}]$$

**Pomôcka:** matica  $A$  obsahuje **nad hlavnou diagonálou jednotky** a posledný riadok reprezentuje **koefficienty charakteristického polynómu prenosovej funkcie s opačným znamienkom**.

## Nyquistovo kritérium stability – príklad Grafická analýza a zhodnotenie

Prenosová funkcia ORO má 3 stabilné póly (korene menovateľa) v -1. Výpočtom sme získali kritické zosilnenie  $K = 8$ . Poďme si to teda graficky overiť.



- Uzavretý regulačný obvod bude **stabilný**, ak frekvenčná charakteristika **otvoreného obvodu pretína reálnu os vpravo od kritického bodu  $(-1, j0)$** .
- Obvod je na **hranici stability**, ak frekvenčná charakteristika **prechádza bodom  $-1$  na reálnej osi**.
- Obvod bude **nestabilný**, ak frekvenčná charakteristika **pretína reálnu os vľavo od kritického bodu  $(-1, j0)$** .