# Vypracování elektronických podkladů pro přednášky z předmětu Identifikace systémů

Elaborating of e-materials for lecteurs of System Identification course

Michal Sypták

Bakalářská práce
2009

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav aplikované informatiky
akademický rok: 2008/2009

# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

| | |
|---|---|
| Jméno a příjmení: | **Michal SYPTÁK** |
| Studijní program: | **B 3902 Inženýrská informatika** |
| Studijní obor: | **Informační technologie** |
| Téma práce: | **Vypracování elektronických podkladů pro přednášky z předmětu Identifikace systémů.** |

Zásady pro vypracování:

1. **Na základě studia předmětů Teorie automatického řízení I a II se seznamte se základními pojmy a metodami modelování a identifikace spojitých a diskrétních systémů.**
2. **Podle pokynů vedoucího bakalářské práce navrhněte vhodnou grafickou úpravu stránek v systému PowerPoint.**
3. **Na základě stávajících studijních textů (vypracovaných v editoru Word) přeneste vybrané části do systému PowerPoint (včetně rovnic, obrázků a grafických průběhů funkcí).**
4. **Vypracované texty doplňte výpočetními příklady a výsledky experimentálních úloh.**
5. **Výukové podklady připravte pro 14 dvouhodinových přednášek.**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:


1. **Drábek, O., Macháček, J. Experimentální identifikace a řízení procesů. Pardubice, VŠCHT, 1983.**
2. **Bobál, V. Identifikace systémů. Brno, VUT, 1990.**
3. **Soukup, J. Identifikace soustav. Praha, SNTL, 1990.**
4. **Noskievič, P. Modelování a identifikace systémů. Montanex a. s., Ostrava, 1999.**
5. **Wilson, D. I. Identification for control-type model. Karlstad University (Educational Textbooks), 2001.**
6. **Kubalčík, M. Cvičení z předmětu Identifikace systémů. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Academia centrum, Zlín, 2006.**
7. **Bobál, V. Interní učební texty.**


Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Vladimír Bobál, CSc.**
Ústav řízení procesů

Datum zadání bakalářské práce: **20. února 2009**

Termín odevzdání bakalářské práce: **1. června 2009**

Ve Zlíně dne 13. února 2009

UNIVERZITA TOMÁŠE BATI VE ZLÍNĚ
Fakulta aplikované informatiky
L.S.
1

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
*děkan*

doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.
*ředitel ústavu*

# ABSTRAKT

Tato bakalářská práce spočívá ve vypracování studijních materiálů určených k přednášení studentům předmětu Identifikace systémů. Po dohodě s vedoucím bakalářské práce prof. Ing. Vladimírem Bobálem, Csc. je obsahem teoretické části vytvoření výtahu základních, ale důležitých informací a poznatků z materiálů vytvořených v aplikaci Microsoft Word, které jsem měl k dispozici a které měly být hlavním zdrojem této bakalářské práce. Praktická část, která měla být tou hlavní fází a konečným produktem celé bakalářské práce, spočívá ve vhodném obsahovém a grafickém návrhu a vytvoření přednáškových snímků z těchto dostupných materiálů.

Klíčová slova: identifikace, modelování, proces, model

# ABSTRACT

This bachelor thesis consist in elaboration of educational e-materials intended for lecturing to students of System Identification course. After agreement with my bachelor thesis leader prof. Ing. Vladimír Bobál, CSc. is content of theoretical fraction the making abstract of main, but important information and findings of e-materials made in application of Microsoft Word which I‘ve had available. This e-materials were head source of my bachelor thesis. The practical fraction is head phase and finally product of this work and consist in useful contentual and graphics design and making lecture pictures.

Keywords: identification, simulation, process, model

# PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu prof. Ing. Vladimíru Bobálovi, Csc. za jeho shovívavost, ochotu a za to, že mi umožnil pracovat na této bakalářské práci a projektuálně tak završit mé bakalářské studium.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji,

že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně 1.6.2009

..……………………..
podpis diplomanta

# OBSAH

# ÚVOD

**Identifikace** a **modelování** jsou vědní disciplíny zabývající se mapováním vlastností řízených procesů. Základní myšlenkou a předpokladem pro skutečně efektivní řízení daného objektu je dobrá znalost jeho vlastností. Z toho důvodu je kladen velký důraz na tvorbu matematických modelů objektů řízení. Tyto modely jsou základním stavebním kamenem pro tvorbu řídicích systémů, při výběru algoritmů řízení apod.

**Matematické modely**, nebo i modelování obecně, mají základní význam nejen v oblasti řízení, kybernetiky, systémového inženýrství nebo v jiných technických vědách, ale dnes již také ve většině jiných vědních disciplín. A to hlavně z důvodu, že představují nejen vhodnou formu na vyjádření poznatků o zkoumaných objektech a jevech, ale spolu s prostředky výpočetní techniky představují také velmi efektivní a užitečný nástroj k jejich dalšímu a hlubšímu zkoumání.

Samotný proces tvorby modelů se nazývá **modelování**. Proces modelování lze též definovat jako popis vyšetřovaných objektů z kvantitativní a z kvalitativní stránky. Důležitou složkou při sestavování matematického modelu je zjednodušení a schematizace reálného objektu. Podstatné je aby utvořený matematický model pracoval se všemi charakteristickými vlastnostmi zkoumaného procesu. Snahou identifikace je co největší možné zjednodušení matematického modelu z hlediska ulehčení výpočtů a dále pak z důvodu eliminace nepodstatných vlastností druhořadého významu, které by dělaly model zbytečně složitým a analýzu toho modelu příliš těžkopádnou.

Obecným předmětem identifikace jsou metody ztotožnění modelu s vyšetřovaným objektem. Z toho poznatku vyplývá skutečnost, že identifikace a modelování jsou tedy navzájem prolínající se procesy. Konečným cílem identifikace a modelování je tedy vytvořit model systému (myšleno model definovaný přímo na objektu), aby jeho chování bylo stejné jako u daného systému za stejných provozních podmínek.

# I. TEORETICKÁ ČÁST

# 1 ZÁKLADNÍ POJMY A PROBLÉMY IDENTIFIKACE A MODELOVÁNÍ

## 1.1 Filosofie procesu identifikace a modelování

Základem k úspěšnému pochopení problematiky identifikace je uvědomit si, co je vlastně pod pojmem identifikace myšleno. **Identifikace** jako taková se v dnešní době definuje jako proces ztotožňování našich poznatků a vědomostí o zkoumaném objektu se skutečností většinou získanou na základě experimentů. Lze tedy říct, že identifikace je poznávací proces, který představuje interakci mezi poznávaným objektem a poznávacím subjektem, neboli mezi skutečností a pozorovatelem. Výsledkem samotného poznávacího procesu je určité relativní poznání sledovaného objektu. Toto poznání formuluje poznávající subjekt (pozorovatel) do jistých vět, pouček nebo matematických vztahů. Ideálním způsobem je formulace pomocí vhodných výrazových prostředků, kterými můžeme rozumět např. přirozenou řeč nebo soustavu znaků. Při hloubce dnešního poznávání jevů je již ovšem jazyk jako výrazový prostředek nedostatečný. Vhodný jazyk by měl být jednoduchý s přesnou syntaxí a lehce přizpůsobitelný současné experimentální a výpočetní technice. Systém, který je schopen tyto náročné požadavky splnit, nazýváme formální systém.

Dalším pojem souvisejícím s identifikací je **vnitřní konceptuální model** objektu. Tento model je jakýmsi odrazem poznávaného objektu ve vědomí pozorovatele. Na rozdíl od externího modelu, který je vytvořený jinde a z jiných prostředků, např. v počítači. Základními technologiemi analýzy procesu identifikace jsou **experiment** a známé způsoby odvozování, tj. **indukce** a **dedukc**e. Experimentem jsou myšleny přístroje na měření, převod naměřených fyzikálních veličin na příhodné signály a jejich převod na číslicové verze, nebo ukládání číslicových signálů na paměťová média. Indukce je proces, který spočívá v částečném pozorování, díky kterému lze dospět k určitým všeobecným závěrům. Naproti tomu dedukce je proces logického vyvozování závěrů z jisté množiny tvrzení a je tedy metodou logickou.

Důležitým poznatkem je, že identifikace obecně nezahrnuje přístup k vlastnímu předmětu identifikace. Skutečnost je taková, že identifikace v podstatě pouze poskytuje návod, jak proces zkoumání uskutečňovat a jak jej provádět.

## 1.2 Klasifikace modelů

V současnosti lze brát v úvahu několik různých hledisek klasifikace modelů. Z hlediska vazby mezi teoretickým a experimentálním poznáním daného modelu je můžeme dělit na:

- **interní** - tyto existují v mysli člověka jako abstraktní pojem (lze pojmenovat též jako **konceptuální modely**)
- **externí** - jsou konkretizací konceptuálních modelů a to s ohledem na vztah modelu k subjektu, který jej vytváří

Dalším hlediskem pro klasifikaci modelů je typ použitých výrazových prostředků. Proto můžeme modely rozdělit na:

- **materiální -** do této skupiny patří modely s fyzikální podstatou
- **abstraktní -** modely vytvořené opisem obsahu nebo formy

Dále je možno modely rozdělit na:

- **morfologické -** modely vytvořené z originálu projekcí, při které se zachovává forma, tedy geometrická stránka a sleduje se adekvátnost vnějších dimenzí
- **kybernetické -** u těchto modelů dominuje při zobrazení shoda nebo podobnost chování struktury

Obecně lze fyzikální modely rozdělit na:

- **makety** – modely, které zvýrazňují spíše formální stránku originálu
- **analogony** - modely zdůrazňující především obsahovou stránku originálního fyzikálního modelu

Naproti tomu matematické modely dělíme na:

- **statické** - modely, při kterých vazbu mezi vstupními a výstupními veličinami reprezentují algebraické rovnice (čas není závislou proměnnou)
- **dynamické** - u těchto modelů vazbu mezi vstupy a výstupy vyjadřují diferenciální resp. diferenční rovnice

V závislosti na čase je dělíme na:

- **časově nezávislé** (t – invariantní)
- **časově závislé** (t – variantní)

Z hlediska linearity můžeme provést dělení modelů na:

- **lineární** - skupina modelů s poměrně nízkou složitostí operací při analýze i syntéze
- **nelineární** - vysoká složitost při provádění matematických operací (z tohoto důvodu se často přistupuje k linearizaci nelineárních systémů)

Podle plynulosti průběhů matematických procesů dělíme modely na:

- **spojité -** uvažujeme pouze spojité změny veličin, mezi kterými popisujeme vzájemnou vazbu
- **diskrétní –** tyto modely se používají pro popis relace mezi veličinami, u nichž se uvažují jen změny v diskrétních časových okamžicích

Další kritériem, z hlediska kterého se modely dělí, se vztahuje na charakter vazby mezi vstupy a výstupy:

- **vnější modely -** popisují relace „**vstup – výstup**"
- **vnitřní modely -** reprezentovány relací „**vstup – stav – výstup**"

Mimo přenosů se jako vnější modely používají také frekvenční, případně přechodové a impulsní charakteristiky. Díky tomuto poznatku je umožněno následující dělení:

- **neparametrické modely -** jejich funkce mohou být vyjádřeny v tabelární, případně specifické formě a vyjadřují relaci mezi závisle a nezávisle proměnnou
- **parametrických modelů -** tyto mají charakteristiky vyjádřené analyticky, jako funkci nezávisle proměnné a konečného počtu parametrů

Vezmeme-li v úvahu rozložení sledovaného parametru ve vyšetřovaném objektu, potom dělíme modely na:

- se **soustředěnými parametry -** mají stejné hodnoty sledovaných parametrů v celém prostoru objektu

- s **rozloženými parametry -** mají různé hodnoty sledovaných parametrů podle polohy v objektu

Z hlediska způsobu identifikace obecně rozdělujeme modely na:

- **analytické** - při tvorbě modelu se uplatňuje přístup deduktivní
- **experimentální** – uplatňuje se přístup induktivní

Další způsob dělení modelů je s ohledem na chování procesu, který probíhá ve vyšetřovaném objektu:

- **deterministické modely -** je možno je získat, když na vstup vyšetřovaného objektu přivádíme přesně definované (časově determinované) testovací signály; používáme je při identifikaci objektů, na které nepůsobí žádné poruchové veličiny
- **stochastické** (náhodné) - pozorovaný výstup soustavy není zpravidla určován jen vstupními signály a jejich minulou historií, ale projevují se na něm náhodné vlivy, jejichž zdroj často ani neznáme

Poslední důležitý způsob dělení je na:

- **off-line model** - stanovený na základě fyzikálních zákonů, technologických a konstrukčních vlastností nebo izolovaně prováděných experimentů
- **on-line model** - neustále adaptivně zpřesňovaný po dobu činnosti zařízení a to na základě nepřetržitě prováděných experimentů na identifikovaném objektu

## 1.3 Základní přístupy k identifikaci

Jak již bylo uvedeno výše, můžeme k identifikaci přistupovat analytickým nebo experimentálním způsobem. Pokud bereme v úvahu analytické způsoby identifikace, sestavujeme matematický model na základě matematicko-fyzikální analýzy objektu. V tomto případě se vychází z konstrukčních, technologických a provozních údajů o daném objektu. Podle fyzikálních, chemických a dalších zákonů matematicky popisujeme jevy probíhající v objektu a tím získáváme vztahy mezi sledovanými veličinami. Tyto vztahy potom určují matematický model vyšetřovaného objektu. Čím hlubší provádíme analýzu, tím přesnější by měl být i matematický model. Nevítaným efektem je však to, že model bude složitější, nákladnější, jeho odvození pracnější a používání náročnější. Z těchto důvodů je třeba zvážit, do jakých podrobností je vhodné a rozumné objekt analyzovat, aby sestavený model byl dostatečně přesný, přitom však aby nebyl příliš složitý a nákladný. Analytickým způsobem získáme vztahy mezi všemi vybranými veličinami v objektu. Z těchto vztahů můžeme určit jak stavové rovnice dynamického systému definovaného na vyšetřovaném objektu, tak i vnější popisy systému.

Hlavní charakteristikou experimentálního přístupu k identifikaci je, že využívá údaje a informace o vyšetřovaném objektu v průběhu jeho pozorování, resp. experimentování s ním. Rozborem průběhů vstupních a výstupních veličin objektu získáváme matematický model vyjadřující vnější popis systému. Model vyjadřuje vstupně-výstupní chování objektu, avšak neumožňuje pohled do jeho vnitřní struktury. Nevýhodami je, že vyšetřovaný objekt musí být přístupný experimentu a sledované veličiny musí být měřitelné a také že z vyšetřovaného modelu nemůžeme získat informace o vnitřní struktuře objektu.

## 1.4 Úloha identifikace

Úloha identifikace a modelování je obecně složitý proces obsahující celou skupinu problémů a operací, které s touto problematikou souvisí. Tuto skupinu faktorů můžeme principiálně rozdělit do následujících etap:

**1)** Přesná formulace úlohy, pro kterou se model vytváří.

**2)** Dekompozice složitého systému na relativně samostatné podsystémy, jejichž identifikaci jsme schopni realizovat.

**3)** Tvorba modelů podsystémů získaných při dekompozici, což vyjadřuje:

   a) výběr vhodného technického zabezpečení experimentu a volba správných vstupů a výstupů jednotlivých podsystémů,

   b) měření vzájemně si odpovídajících vstupů a výstupů,

   c) vyhodnocením naměřených údajů vytvořit takový model, který dostatečně přesně dokáže ke zvoleným vstupním signálům přiřazovat správné odezvy na výstupech, tato položka lze zpravidla rozdělit na tři okruhy problémů

i) volba vhodné struktury modelu,

ii) volba kritéria na porovnání shody modelu s vyšetřovaným objektem,

iii) volba algoritmu, který při zadané struktuře modelu minimalizuje prostřednictvím parametru modelu hodnotu kriteriální funkce.

**4)** Sestavení celkového modelu systému z dílčích modelů jednotlivých podsystémů, vytvořených dekompozicí celku, a nakonec ověření (verifikace) celkového modelu.

Na základě apriorních informací a podle záměrů řízení zjišťujeme, zda vyšetřovaný objekt je vhodné charakterizovat jako model:

- statický anebo dynamický
- se soustředěnými anebo rozloženými parametry
- deterministický anebo stochastický
- *t*-invariantní anebo *t*-variantní
- spojitý anebo diskrétní
- jednorozměrový anebo mnoharozměrový

Tento způsob rozdělení modelů vyšetřovaného objektu je již podrobněji uveden ve výše umístěné podkapitole.

# 2 ANALYTICKÉ METODY IDENTIFIKACE

## 2.1 Charakteristika jednotlivých fází matematicko-fyzikální analýzy

Jak již bylo dříve poznamenáno, odvození matematických modelů na základě matematicko-fyzikální analýzy je složitý proces a lze jej obecně jen těžko formalizovat. Je nutná hluboká znalost oboru, do kterého analyzovaný objekt spadá především co se týče jeho fyzikální podstaty. Dalšími důležitými faktory při procesu identifikace jsou vlastní intuice a zkušenosti. Nabízí se tři základní fáze při sestavování matematického modelu.

První fází rozumějme výběr souboru veličin a vztahů mezi nimi. Tyto vztahy umožňují dostatečně přesně popsat uvažovaný reálný proces. V případě výběru příliš velkého počtu veličin pro sestavení modelu často dochází k jeho přílišné složitosti a obtížnosti analýzy. To v praxi znamená, že i když jsme schopni daný pozorovaný objekt popsat velkým množstvím vlastností a jsme schopni vytvořit velký soubor veličin, výsledný proces modelování může být mimořádně složitý a mnohdy i nerealizovatelný. Z tohoto důvodu je nutné eliminovat nepodstatné veličiny, na které je daný proces jen málo citlivý. Ovšem na druhou stranu je třeba se vyvarovat jakéhokoliv zanedbání veličin podstatných. Z tohoto vyplývá, že otázka podstatnosti a nepodstatnosti veličin ovlivňujících daný proces není jednoduchá a vyžaduje dobré znalosti a zkušenosti. A toto je základní myšlenkou této první fáze sestavování matematického modelu.

Sestavení obecných závislostí (tzn. fyzikálních vztahů) mezi vybranými veličinami objektu, je předmětem druhé fáze postupu sestavování matematického modelu. Jedná se o fázi vlastního vytváření struktury matematického modelu objektu. Předpokládá dobrou teoretickou znalost oblasti, do které objekt svou fyzikální povahou spadá. Pozorovatel by měl být schopen správně posoudit, které závislosti jsou podstatné z hlediska chování procesu a řízení, a které nikoliv. Vychází se ze známých fyzikálních zákonů.

a) **Zákony typu zachování**. Tvar tohoto zákona lze obecně popsat následující rovnicí.

$$\sum přítoků + \sum zdrojů - \sum odtoků - \sum zániků = časová \;\; změna \;\; akumulace$$

Pojmy zdroj (vznik) a zánik chápejme jako přeměnu jedné formy (např. energie) na druhou. Pro ustálený proces je levá strana rovnice rovna nule.

b) **Zákony typu sdílení**. Bilanční rovnice není z hlediska popisu dostatečná u procesů probíhajících samovolně jen v určitém směru. Takovým procesům říkáme nevratné procesy. Proto se používají také zákony typu sdílení, jejichž obecný tvar je:

*tok = součinitel přenosu x gradient určujícího parametru*

Součinitel přenosu chápejme jako převrácenou hodnotu odporu sdílení. Jako klasické případy aplikace tohoto zákona si uveďme např. Newtonův zákon dynamické nebo kinematické viskozity tekutin, Fourierův zákon sdílení tepla vedením, Ohmův zákon atd.

c) **Stavové rovnice**. Tyto interpretují vazby mezi navzájem nezávislými stavovými veličinami působícími na dynamiku procesu.

d) **Bilance entropie**. Tyto bilance jsou pro popis dynamiky nevyhnutelné v případě, že vyšetřovaný proces obsahuje dva nebo více částečných nevratných dějů (např. difúze a vedení tepla).

## 2.2 Pravidla pro sestavování analytických modelů jednotlivých objektů

Pro sestavování analytických matematických modelů je užitečná metoda blokových schémat (blokové algebry), při níž využíváme následující pravidla a postupy:

1. První krok spočívá v sestavení skutečného funkčního a technického schématu modelovaného objektu.
2. Dále označíme všechny prvky a veličiny, které se vyskytují v obvodu a poté smysl působení veličin a signálů.
3. Matematicko-fyzikální analýzou sestavíme příslušné diferenciální rovnice s obecnými konstantami pro vztahy jednotlivých veličin mezi sebou.
4. Sestavíme blokové schéma na základě výše uvedených diferenciálních rovnic a vzájemných vazeb jednotlivých veličin. U příslušných bloků popíšeme a vyznačíme vstupní a výstupní veličiny.

5. V pátém kroku se nahrazují jednotlivé bloky operátorovými přenosy. Toto ovšem platí pouze v případě, že jsou statické vztahy jednotlivých veličin lineární nebo v okolí pracovních bodů alespoň linearizovatelné.

6. Máme-li označeny jednotlivé bloky přenosovými funkcemi, zjednodušíme celé schéma podle pravidel blokové algebry až na operátorový přenos.

# 3 ZÁKLADNÍ POJMY Z MATEMATICKÉ STATISTIKY A TEORIE NÁHODNÝCH ČÍSEL

K uskutečnění samotného procesu experimentální identifikace se využívají údaje o vyšetřovaném objektu ve formě hodnot vstupních a výstupních veličin. Tyto veličiny zpravidla nebývají časově determinované a vykazují stochastické (náhodné) chování. Chování takovýchto veličin lze z hlediska identifikace popsat pouze pomocí disciplín matematické statistiky a teorie pravděpodobnosti. Tyto dvě discipliny jsou východiskem základů teorie náhodných procesů, s kterými budeme pracovat jak při řešení úloh experimentální identifikace, tak i při návrhu adaptivního řízení procesů.

## 3.1 Základní pojmy z teorie pravděpodobnosti

Důležitým pojmem z oblasti teorie pravděpodobnosti je **jev**, který je definovaný jako každá skutečnost, která nastala či nenastala následkem nějakého pokusu. Proto můžeme pro každý možný pozorovaný jev určit jeho pravděpodobnost $P$ z intervalu $0 \le P \le 1$. Jev, který má pravděpodobnost 1 nazýváme jistým jevem, naproti tomu jev s pravděpodobností 0 se nazývá nemožný.

Další často uváděný pojem je **relativní četnost**. Je to hodnota, která vyjadřuje $m$ výskytů nějakého sledovaného jevu z $N$ možných případů z určitého souboru jevů. Tato veličina lze vyjádřit ve tvaru

$$P(A) = \frac{m}{N} \tag{3.1}$$

kde $m$ vyjadřuje absolutní četnost. Z tohoto je zřejmé, že vzorec pro dílčí relativní četnost, která udává relativní četnosti pro jednotlivé rozdělené menší soubory jevů $N_i$ je ve tvaru

$$P_i(A) = \frac{m_i}{N_i} \tag{3.2}$$

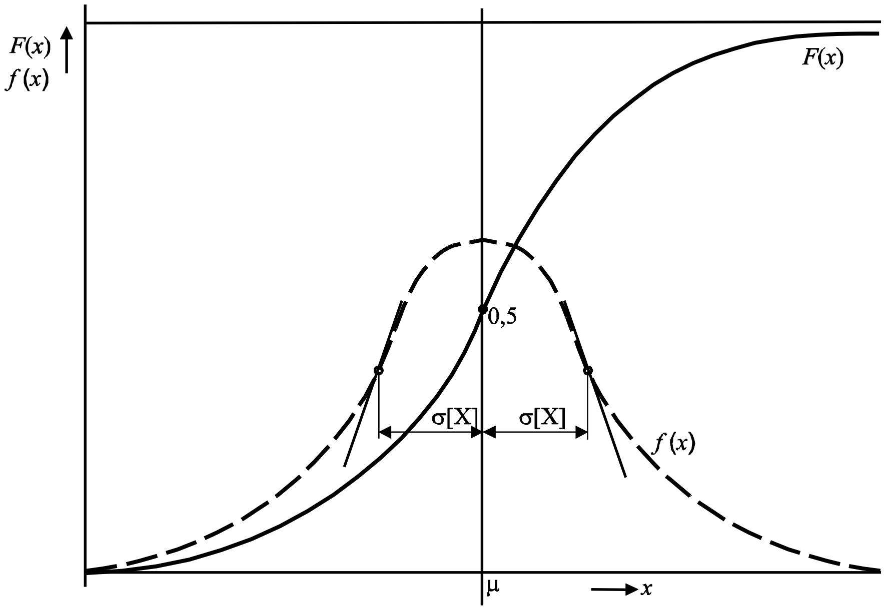
Vezměme nyní v úvahu dva jevy a označme je $A$, $B$. Jev $A$ nazvěme nezávislým od jevu $B$, když $P(A)$ nezávisí od toho, zda nastal či nenastal jev $B$. Naproti tomu závislým jevem $A$ na jevu $B$ nazýváme takový, kdy $P(A)$ se mění v závislosti na tom, zda nastal či nenastal jev $B$. Pravděpodobnost jevu $A$, vyčíslená při podmínce, že už nastal jev $B$, se nazývá podmíněná pravděpodobnost a značíme ji $P(A|B)$. Součinem dvou jevů $A$ a $B$ nazýváme jev $C$, který je charakterizován realizací obou jevů $A$ i $B$. Tuto operaci značíme $P(A \cap B)$ a z klasické matematiky si jej můžeme představit jako průnik dvou množin.

## 3.2 Jednorozměrové náhodné veličiny

Většina veličin, které působí na reálný proces má náhodný charakter, čili účinné složky těchto veličin jsou rušeny náhodnými poruchami - šumem. Náhodnými časově proměnnými veličinami rozumíme takové, které nemůžeme vyjádřit analyticky, tzn. neznáme jejich matematický vzorec. U mnoha náhodných veličin můžeme určovat jejich tzv. statistické charakteristiky. Tyto statické charakteristiky jsou při dostatečně dlouhé době pozorování pro realizace téže náhodné veličiny stejné a lze pomocí nich náhodnou veličinu blíže určit. Statistické vlastnosti spojité náhodné veličiny náhodné veličiny popisují následující statistické veličiny.

- **střední hodnota** $E[X]$ náhodné veličiny $X$, která je rovna tzv. obecnému momentu prvního stupně $\mu$, tzn. že $\mu = E[X]$
- **rozptyl** $D[X]$ náhodné veličiny $X$, který je roven tzv. centrálnímu momentu druhého stupně, tzn. že $\sigma^2 = D[X]$, směrodatná odchylka $\sigma$ je odmocnina z rozptylu
- **distribuční funkce** $F(x)$, resp. hustota pravděpodobnosti $f(x)$, které popisují náhodné veličiny ve tvaru funkčních závislostí
- **odhad střední hodnoty** $\hat{\mu}$,
- **odhad rozptylu** $\hat{\sigma}^2$, resp. směrodatné odchylky $\sigma$

Vzájemná závislost distribuční funkce a hustoty pravděpodobnosti je uvedena na obr. 3.1.




Obr. 3.1 Průběh distribuční funkce a hustoty pravděpodobnosti pro normální Gaussovo rozdělení

## 3.3 Mnoharozměrové náhodné veličiny

Mnoharozměrové náhodné veličiny mají obecně větší význam než jednorozměrové a to z důvodu, že v technické praxi pracujeme často se dvěma nebo více náhodnými veličinami. Např. vyskytují-li se v dynamickém systému dvě náhodné veličiny - vstup $u$ a výstup $y$, jedná se o systém dvou náhodných veličin, neboli dvourozměrovou náhodnou veličinu. Závislost, respektive nezávislost těchto proměnných je vzájemná. Těsnost vazby, kterou chápejme jako stupeň lineární závislosti, mezi dvěma náhodnými veličinami udává tzv. kovariance neboli korelační moment

$$C(U,Y)=\left\{\left[U-E[U]\right]\left[Y-E[Y]\right]\right\} \tag{3.3}$$

definovaný jako střední hodnota součinu odchylek. Její odhad tedy můžeme určit ze vztahu

$$\hat{C}_{uy}=\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}\left(u(k)-\hat{\mu}_u\right)\left(y(k)-\hat{\mu}_y\right) \tag{3.4}$$

Autokovariance je kovariance těchto náhodných veličin a je rovna rozptylu

$$C(U,U)=\left\{\left[U-E[U]\right]^2\right\}=\sigma_u^2 \tag{3.5}$$

a její odhad můžeme určit ze vztahu

$$\hat{C}_{uu} = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}[u(k) - \hat{\mu}_u]^2 = \hat{\sigma}_u^2 \,. \tag{3.6}$$

Vnitřní strukturu náhodné veličiny lze hodnotit na základě průběhu autokorelační funkce. Ta udává těsnosti vazby či vzájemné souvislosti mezi pořadnicemi realizace náhodné veličiny $u(t)$ v okamžiku $t$ a tou samou realizací posunutou o časový úsek $\tau$. Autokorelační funkci proto můžeme vyjádřit ve tvaru

$$R_{uu}(\tau) = \lim_{T\to\infty}\frac{1}{2T}\int_{-T}^{T} u(t)u(t+\tau)\,dt \,. \tag{3.7}$$

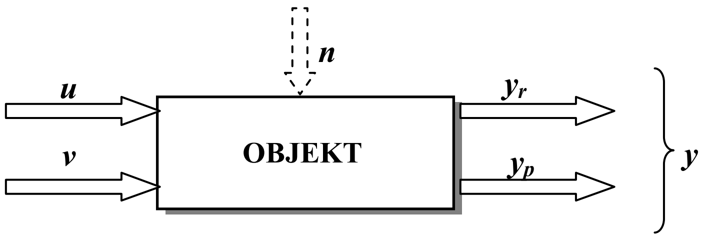
Dále se uvádí veličina výkonová spektrální hustota $S_{uu}(\omega)$ náhodného procesu $U(t)$, která je definována vztahem

$$S_{uu}(\omega) = \lim_{T\to\infty} E\left[\frac{1}{2T}\left|U_T(j\omega)\right|^2\right] \tag{3.8}$$

kde $U_T(j\omega)$ je Fourierova transformace náhodného procesu $U(t)$ v konečném intervalu $\langle -T, T\rangle$.

# 4 EXPERIMENTÁLNÍ METODY IDENTIFIKACE

Tyto metody jsou založeny na aplikaci údajů a informací získaných z pozorování objektu v jeho normálním provozu nebo též z vhodně zvoleného experimentu. K určení matematického modelu daného objektu, jeho parametrů a případně i struktury využíváme soubor vstupních a výstupních dat naměřených na tomto objektu. Někdy je třeba využít informace o vnitřních vlastnostech a charakteristikách objektu, v praxi je ovšem často vhodné nebo i nutné využít jen informace o vlastnostech nebo charakteristikách vnějších.




Obr. 4.1 Schématické znázornění objektu

## 4.1 Přehled identifikačních metod

V průběhu vývoje teorie identifikace a modelování byla navržena řada metod experimentální identifikace. Původní snahou bylo vytvořit co nejjednodušší postupy metod experimentální identifikace, ovšem široký rozvoj výpočetní techniky způsobil přechod na stále složitější metodiku výpočtu parametrů modelu. Uveďme si proto pouze stručné rozdělení jednotlivých identifikačních metod.

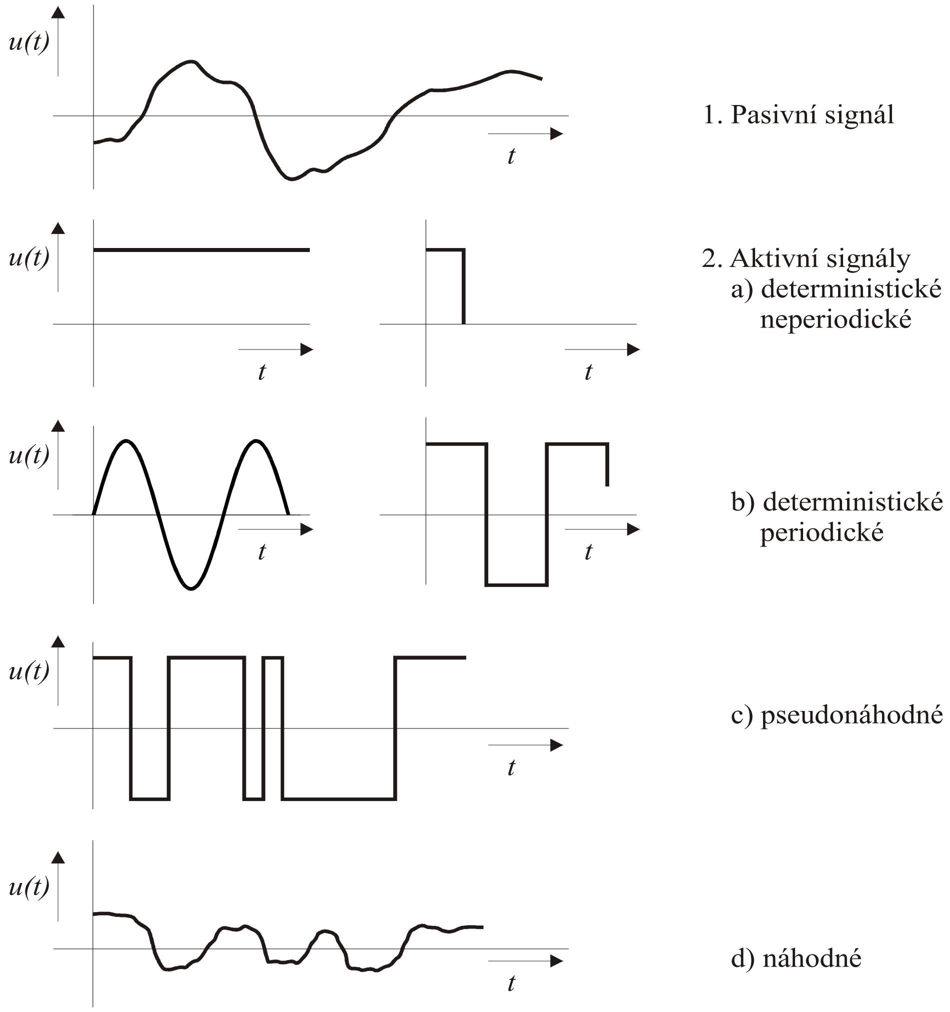
### 4.1.1 Klasifikace metod podle druhu testovacího signálu

Budící vstupní testovací signály sehrávají důležitou roli v identifikačním procesu. Proto je vhodné provést rozdělení metod identifikace právě podle typu těchto signálů. Princip je takový, že na námi identifikovaný objekt aplikujeme budící vstupní signál a pozorujeme reakci tohoto objektu. Ze zjištěné reakce, nebo jinak řečeno odezvy se snažíme co nejpřesněji analyzovat vlastnosti objektu. Míra přesnosti určení těchto vlastností je závislá na způsobu buzení objektu a také na vhodném výběru testovacího signálu.

V podstatě lze druhy testovacích signálů obecně rozdělit do dvou základních skupin. Jsou jimi signály přirozené a signály uměle vytvořené. Za signály přirozené považujme vstupní signály pozorované po dobu provozu vyšetřovaného objektu. Naproti tomu signály uměle vytvořené jsou signály s určitými vlastnostmi, které uměle zavádíme na vstup objektu. Dále si uvedeme podrobnější způsob dělení vstupních signálů.

- **deterministické signály -** jejich průběhy v čase jsou známými funkcemi času, tzn. pro každý časový úsek průběhu lze určit hodnotu signálu; dále dělíme na:
  - **aperiodické** - např. jednotkový impuls, pravoúhlý impuls, lichoběžníkový impuls, skoková funkce, atd.
  - **periodické** - např. harmonický průběh, pravoúhlý průběh, lichoběžníkový průběh, atd.
- **náhodné signály -** jejich průběhy v čase jsou neznámé nebo náhodné funkce času, tzn. lze u nich určit pouze statistické nebo pravděpodobnostní charakteristiky; dále dělíme tyto signály na:
  - **stacionární**
    - **ergodické**
    - **neergodické**
  - **nestacionární**
- **pseudonáhodné signály** - jejich průběhy v čase jsou známé a v rámci jedné periody mají charakter známé periodicky se opakující realizace náhodného procesu; dále dělíme na:
  - **dvouhladinové**
  - **vícehladinové**

Důležitým faktorem při výběru testovacích signálů je hledisko praktické realizovatelnosti. Existují totiž testovací signály, které mají spíše jen teoretický význam a prakticky jsou jen těžko realizovatelné. Jako představitele takovýchto signálu si uveďme např. Diracův impuls, jednotková skoková funkce nebo bílý šum. Kvalitu testovacího vstupního signálu posuzujeme podle velikosti rozsahu zkoumání vlastností identifikovaného objektu. Jako vhodný můžeme označit takový signál, jehož spektrální vlastnosti překrývají celý rozsah frekvenčního spektra identifikovaného objektu, čili je schopný vypovědět o objektu přesné a veškeré informace. Na následující straně jsou na obr. 4.2 uvedeny obecné průběhy zmíněných testovacích signálů.




Obr. 4.2 Příklady časových průběhů testovacích signálů

### 4.1.2 Klasifikace metod podle způsobu zpracování výsledků experimentu

Výsledky experimentálního měření mohou být zpravidla spojité záznamy vstupních signálů a jim odpovídajících odezev, nebo diskrétní hodnoty signálů, měřené v časových intervalech. Z tohoto faktu logicky vyplývá z hlediska způsobu zpracování výsledků experimentu dělíme metody podle toho, zda je při nich zpracováván signál spojitý či diskrétní. U jednodušších metod, kterou je např. analýza přechodových charakteristik se zpravidla vyhodnocují spojité signály. Naproti tomu pro zpracování dat na číslicový počítačích je naopak nutné zadávat data v diskrétním tvaru.

Další možnost dělení je na metody explicitní a implicitní. U explicitních metod se zpracovávají všechna data najednou po ukončeném měření. Tyto výsledky je nutno uchovávat až do konečného vyhodnocení např. v paměti počítače nebo na paměťových médiích. Opakem jsou implicitní metody. Tyto zpracovávají data postupně tak, jak byly v daném časovém sledu naměřeny a tato data není potřeba dlouze uchovávat.

### 4.1.3 Klasifikace metod podle druhu modelů

Toto odvětví je z hlediska problematiky identifikace velmi důležité. Od volby druhu modelu se totiž odvíjí i určitý vhodný druh vstupního signálu a kritérium kvality identifikace. Pokud je model vhodně zvolený vzhledem k vlastnostem pozorovaného objektu, měl by splňovat následující požadavky:

- dokonale popisovat dynamické vlastnosti objektu
- umožňovat relativně jednoduché matematické řešení při vyhodnocování naměřených dat
- odpovídat tvaru požadovanému pro další využití
- popisovat nebo vylučovat vliv rušivých signálů, které působí na identifikovaný objekt

Vyjmenujme si nyní několik nejčastěji používaných druhů modelu:

a) **Modely ve tvaru diferenciální rovnice nebo spojitého přenosu -** popisují závislost mezi spojitými vstupními a výstupními signály objektu

b) **Modely ve tvaru diferenční rovnice nebo diskrétního přenosu -** diferenční rovnice popisují závislost mezi diskrétními hodnotami vstupních a výstupních veličin objektu

c) **Modely ve tvaru frekvenční charakteristiky -** popisují chování objektu při různých frekvencích a sice pomocí absolutní hodnoty poměru výstupního a vstupního harmonického signálu a pomocí jejich fázového posuvu

d) **Modely ve tvaru impulsní charakteristiky -** impulsní charakteristiky lze získat buď přesným měřením odezvy na vstupní signál ve tvaru impulsu, nebo vyhodnocením vstupního a výstupního signálu objektu korelační analýzou

### 4.1.4 Klasifikace metod podle kritéria kvality identifikace

Známe-li strukturu samotného modelu, potom shodu (ekvivalenci) modelu charakterizujeme **účelovým funkcionálem** (kritériem) $J\left[s\left(O,O_m\right)\right]$. Účelový funkcionál musí splňovat tyto podmínky:

- musí být vhodnou mírou pro posouzení nesouladu v chování objektu a modelu
- musí být dostatečně citlivý na náhodné vlivy a poruchy
- musí být lehce výpočtově zvládnutelný

Ve smyslu tohoto funkcionálu můžeme hovořit o **kvalitě identifikace**, o její „**přesnosti**“ a můžeme jeho pomocí porovnávat různé struktury modelů. Uvádějí se v zásadě tři způsoby výpočtu odchylky mezi chováním modelu a objektu.

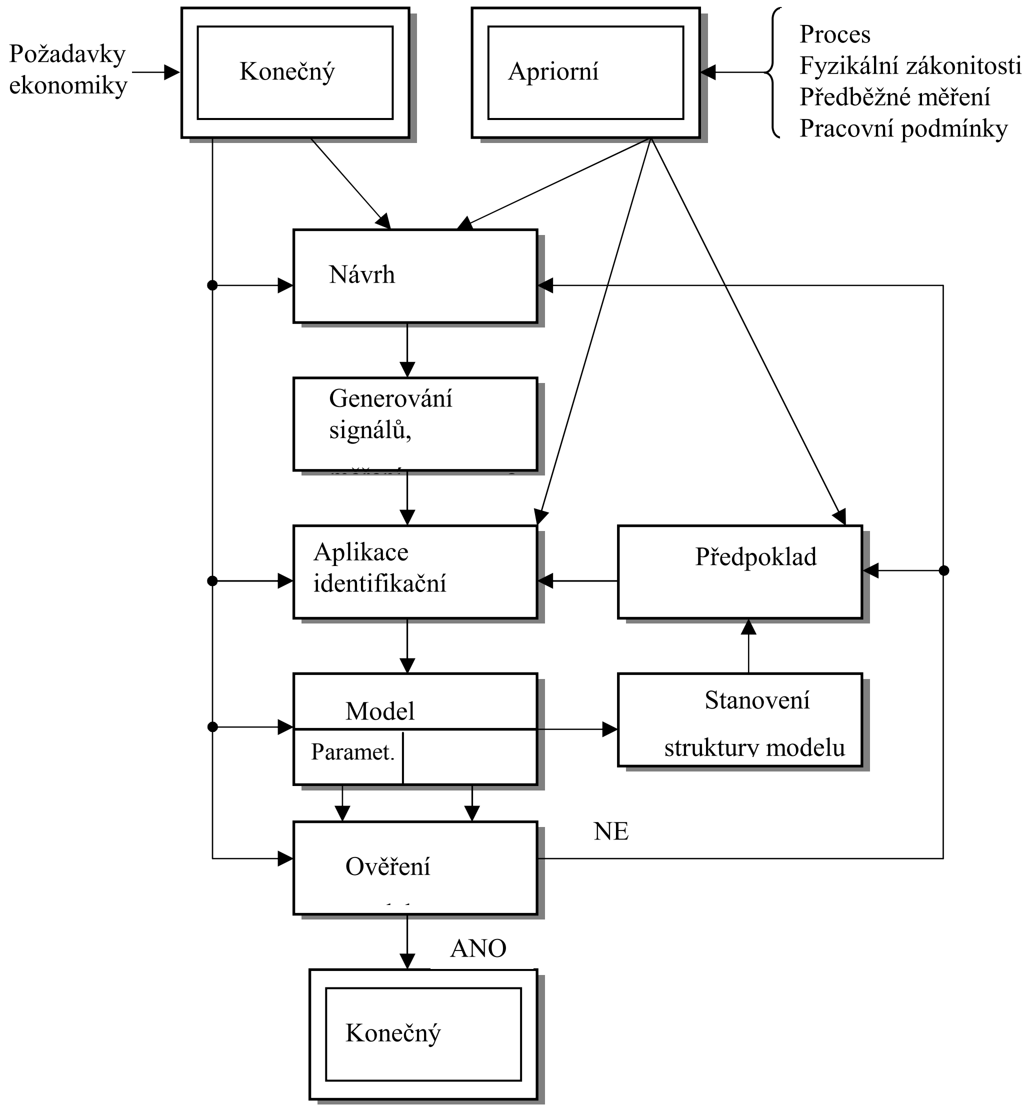
a) **Chybu výstupu** $e = y - y_m = y - O_m\left(u\right)$

b) **Chyba vstupu** $e = u - u_m = u - O_m^{-1}\left(y\right)$

c) **Chyba rovnice** $e = O_{m2}^{-1}\left(y\right) - O_{m1}\left(u\right)$

## 4.2 Realizace experimentální identifikace

Zde si uvedeme obecný postup řešení experimentální identifikace a to od přípravy experimentu až po samé vyhodnocení výsledků. Před zahájením vlastního experimentu se snažíme získat o identifikovaném objektu co nejvíce apriorních informací např. z matematicko-fyzikální analýzy nebo i z předběžného měření, pod kterým si můžeme představit třeba průběh statické charakteristiky. Na následujícím obrázku je přehledně uveden celkový postup experimentální identifikace.

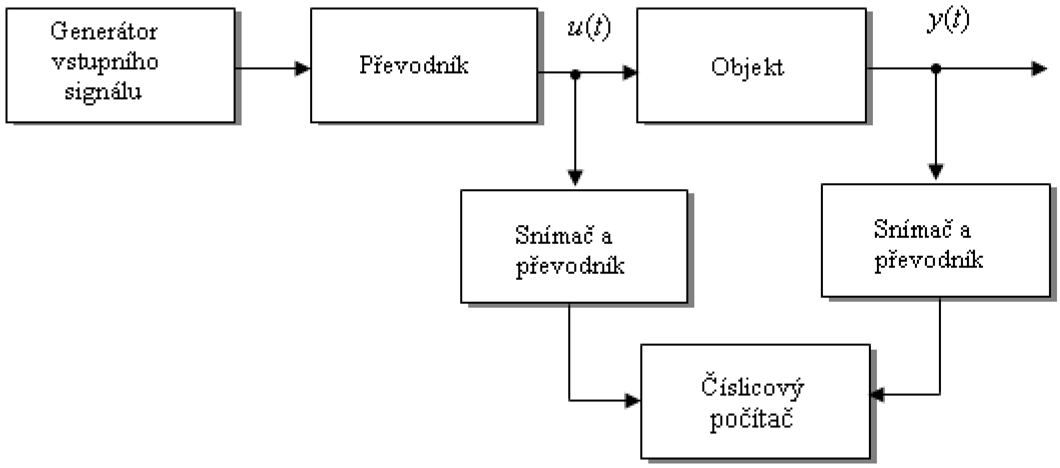



Obr. 4.3 Postup při experimentální identifikaci

### 4.2.1 Přípravná fáze experimentu

Příprava experimentu začíná studiem konstrukce a funkce objektu, který má být identifikován. Výsledkem studia daného objektu by mělo být blokové schéma se všemi vstupními veličinami a s přenosovými funkcemi, které mají být experimentálním způsobem určeny. K měření zvolených veličin se dají využít měřicí přístroje, které jsou již součástí identifikovaného zařízení nebo je třeba další přídavné měřicí prostředky k zařízení instalovat. U použitých měřidel je třeba provést rozbor statických a dynamických vlastností, a to z důvodu eliminace co největšího množství chyb měření. Vhodná měřidla by měla mít tyto vlastnosti:

- v předpokládané pracovní oblasti lineární statickou charakteristiku
- vhodnou citlivost, která zaručí zpracování signálů pokud možno bez přepínání rozsahů měřidla
- přesnost větší než je požadovaná přesnost modelu
- co nejmenší závislost na vnějších vlivech prostředí




Obr. 4.4 Blokové schéma identifikovaného objektu s měřicí aparaturou

### 4.2.2 Volba vstupního signálu, periody vzorkování a doby měření

Druhy vstupních signálů jsou již uvedeny ve výše uvedené podkapitole a proto není třeba se o nich dlouze rozepisovat. Ovšem uvedeme si okolnosti, ke kterým je třeba při jejich volbě přihlížet. Tyto jsou následující:

- signál musí být fyzikálně realizovatelný
- spektrální vlastnosti signálu musí být v relaci s frekvenční charakteristikou vyšetřovaného objektu
- signál musí odpovídat typu identifikovaného objektu z hlediska determinismu nebo stochastičnosti

- nesmí být korelovaný s ostatními signály (působícími na objekt) a se šumem
- signál nesmí narušit normální provoz identifikovaného zařízení
- reprodukovatelnost měření je možná jen u signálů deterministických a pseudonáhodných

Pro praktické využití jsou vhodné tzv. binární, neboli dvouhladinové signály. Z tohoto důvodu se pro technickou aplikaci vyrábějí různé generátory binárních signálů. Mezi signály, které jsou považovány za vhodné k buzení identifikovaných systémů jsou bílý šum, telegrafní a pseudotelegrafní signál a pseudonáhodný binární signál.

S otázkou volby vstupního signálu souvisí i volba periody vzorkování. Ve většině optimalizačních úloh se vychází z požadavku minimálně dvou vzorků z jedné periody nejvyšší vyhodnocené frekvence. Volba periody vzorkování je důležitým článkem procesu identifikace z toho důvodu, že výrazně ovlivňuje kvalitu průběhu pozorovaných procesů. Doba měření je závislá na dynamickém chování objektu. U objektů s velkými časovými konstantami může být délka doby měření v rámci i několika dní. Dobu měření může ovlivňovat i druh použitého vstupního signálu.

## 4.3 Volba modelu

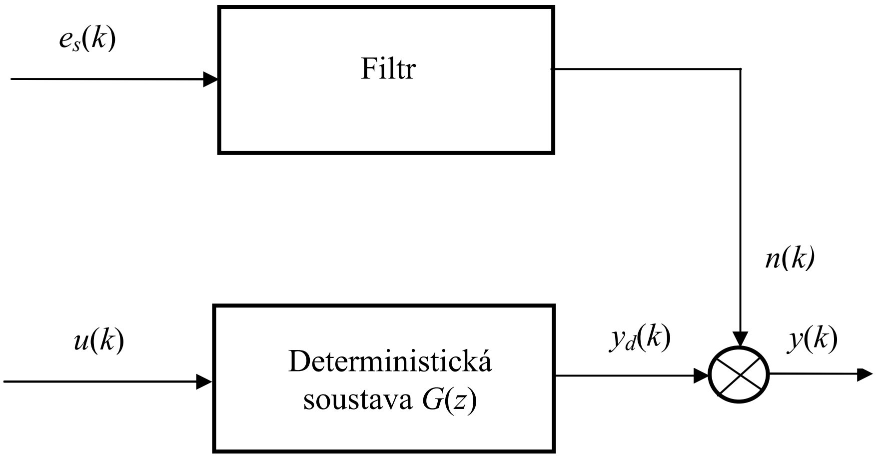
S ohledem na chování procesu, který probíhá ve vyšetřovaném objektu, můžeme experimentální modely rozdělit na deterministické a stochastické (náhodné). Deterministické modely uvažujeme pouze za speciální limitní případy modelů stochastických. Při odvozování základních typů modelů se vychází z těchto předpokladů:

- objekt je lineární
- všechny signály (vstupní, výstupní i poruchový) jsou stacionární
- výstupní signály jsou měřeny se zanedbatelnou chybou

Uveďme si obecnou rovnici obecného stochastického modelu, ze které se vychází při odvozování konkrétních typů modelů, které jsou uvedeny v tabulce na následující straně.

Tato rovnice je ve tvaru

$$y(k)=\frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})F(z^{-1})}u(k)+\frac{C(z^{-1})}{A(z^{-1})D(z^{-1})}e_s(k) \tag{4.1}$$




Obr. 4.5 Blokové schéma modelu obecného stochastického procesu

Tab. 4.1 Typy stochastických diskrétních modelů

| ***Zkratka*** | ***Název*** | ***Podmínky*** |
|---|---|---|
| ARX | **A**uto**R**egressive with e**X**ogenous input | $C = D = F = 1$ |
| AR | **A**uto**R**egressive | $B = 0$, $C = D = 1$ |
| ARMA | **A**uto**R**egressive **M**oving **A**verage | $B = 0$, $D = 1$ |
| ARMAX | **A**uto**R**egressive **M**oving **A**verage with e**X**ogenous input | $D = F = 1$ |
| OE | **O**utput **E**rror | $A = C = D = 1$ |
| BJ | **B**ox-**J**enkins | $A = 1$ |
| ARIMAX | **A**uto**R**egressive **M**oving **A**verage with **I**ntegrator | $D = 1 - z^{-1}$, $F = 1$ |
| FIR | **F**inite **I**mpulse **R**esponse | $A = F = C = D = 1$ |

# 5 DETERMINISTICÉ METODY IDENTIFIKACE

Metody identifikace, které jsou aplikovatelné na lineární a linearizovatelné časově neproměnlivé objekty, nazýváme deterministické.

Postup při těchto metodách můžeme rozdělit do tří etap:

- měření vstupně-výstupních závislostí
- určení neparametrického modelu vyhodnocením měření
- parametrizace získaného neparametrického modelu

Mnohé z těchto metod zřejmě neztrácí nikdy na svém významu díky tomu, že s minimální námahou a ztrátou času dávají velmi užitečné orientační výsledky.

## 5.1 Vyhodnocování přechodových charakteristik

Poměrně jednoduchou a často používanou deterministickou metodou je vyhodnocování přechodových charakteristik a to z důvodu, že v mnoha případech je jednoduše realizovatelným vstupním testovacím signálem skok. Přechodová charakteristika lze změřit tak, že se objekt nejprve uvede do ustáleného stavu a po té se vstupní veličina změní skokem na jinou hodnotu. Pro stanovení pořadnic výsledné přechodové charakteristiky je možné použít vztah

$$f_k = \frac{\sum_{i=1}^{N} sign(\Delta u_i) y_{ik}}{\sum_{i=1}^{N} |\Delta u_i|} \tag{5.1}$$

kde $N$ je počet opakovaných měření přechodové charakteristiky při obecně nestejně velkých skokových změnách vstupní veličiny objektu,

$\Delta u_i$ je skoková změna vstupní veličiny při $i$-tém měření přechodové charakteristiky,

$f_k$ je pořadnice výsledné přechodové charakteristiky v čase $t = kT_0$, kde $T_0$ je perioda vzorkování,

$y_{ik}$ je hodnota odezvy výstupní veličiny soustavy při $i$-tém měření, v $k$-tém intervalu vzorkování ($k$ je pořadí vzorkovaných bodů přechodové charakteristiky pro $k=0, 1, 2, \ldots m$),

$i$ je pořadové číslo měření, $i = 1, 2, \ldots, N$.

Použití vyhodnocovacího vzorce je omezeno pro změny vstupní veličiny jen v rozsahu přibližně do 1:2. Jestliže jsou rozsahy změn větší, pak je třeba použít následujícího složitějšího vyhodnocovacího vzorce

$$f_k = \frac{\sum_{k=1}^{N} \Delta u_i y_{ik}}{\sum_{k=1}^{N} \left( \Delta u_i \right)^2} . \tag{5.2}$$

Tento vzorec je odvozen z podmínky minima kvadratických chyb

$$J_k = \sum_{i=1}^{N} \left( \Delta u_i f_k - y_{ik} \right)^2 \to \min; \quad k = 0,1,\cdots,m \tag{5.3}$$

pro které platí

$$\frac{\partial J_k}{\partial f_k} = \sum_{i=1}^{N} 2\Delta u_i \left( \Delta u_i f_k - y_{ik} \right) = 0 \tag{5.4}$$

V technické praxi nelze z průběhů přechodových charakteristik naprosto přesně určit dynamické vlastnosti řízeného objektu. Z tohoto důvodu bereme výsledný přenos pouze jako přibližný neboli aproximační.

### 5.1.1 Aproximace soustavou prvního řádu bez dopravního zpoždění

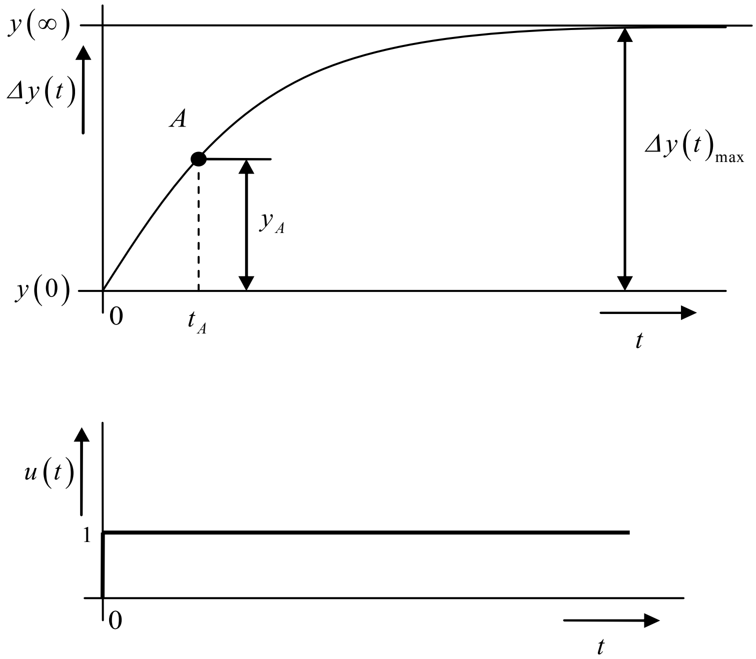
Soustavou prvního řádu bez dopravního zpoždění lze s dostatečnou přesností aproximovat jen přechodové charakteristiky, u kterých je tzv. „prodleva“ v okolí $t = 0$ velmi malá (viz obr. 5.1). Takové soustavy lze popsat diferenciální rovnicí

$$a_1 y'(t) + a_0 y(t) = b_0 u(t) \tag{5.5}$$

kterou lze upravit na tvar

$$T\ y'(t) + y(t) = K\, u(t) \tag{5.6}$$

kde $T = \dfrac{a_1}{a_0}$ je časová konstanta soustavy a $K = \dfrac{b_0}{a_0}$ je zesílení soustavy.




Obr. 5.1 Přechodová charakteristika soustavy prvního řádu

Základními vztahy, kterými lze popsat soustavu prvního řádu bez dopravního zpoždění jsou její operátorový přenos

$$G(s) = \frac{K}{Ts+1} \tag{5.7}$$

a přechodová funkce

$$h(t) = K\left(1 - e^{-\frac{t}{T}}\right) \tag{5.8}$$

Je třeba specifikovat neznámé konstanty $K$ a $T$. Zesílení soustavy $K$ určíme z dané charakteristiky jako poměr změny výstupního signálu $\Delta y(t)_{\max} = y(\infty) - y(0)$ ke změně vstupního signálu $\Delta u(t)$.

Čili platí vztah

$$K = \frac{y(\infty) - y(0)}{\Delta u(t)} = \frac{\Delta y(t)_{\max}}{\Delta u(t)} \tag{5.9}$$

Naproti tomu vztah pro výpočet časové konstanty $T$ označíme jako

$$T = -\frac{t_A}{ln\left(1 - \frac{y_A}{\Delta y(t)_{\max}}\right)} \tag{5.10}$$

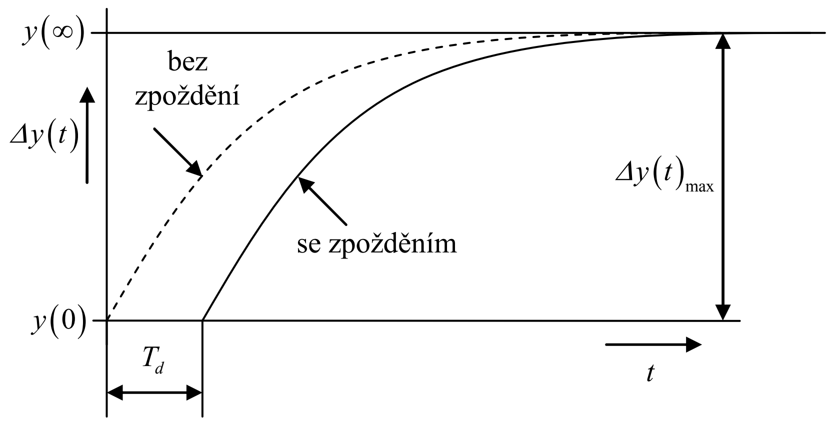
### 5.1.2 Aproximace soustavou prvního řádu s dopravním zpožděním

Stejně jako u výše uvedené aproximace bez dopravního zpoždění si i zde uvedeme pro danou aproximaci diferenciální rovnici tentokrát ve tvaru

$$Ty'(t) + y(t) = Ku(t - T_d) \tag{5.11}$$

a její operátorový přenos

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1} e^{-T_d s} \tag{5.12}$$



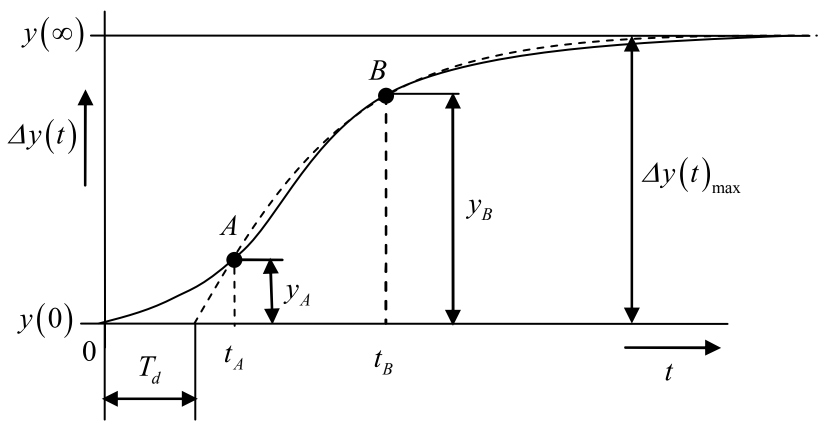

Obr. 5.2 Přechodová charakteristika soustavy prvního řádu s dopravním zpožděním

Uveďme si dále přechodovou funkci, které má tvar

$$h(t) = \begin{cases} 0 & \text{pro } t < T_d \\ K\left(1 - e^{-\frac{t - T_d}{T}}\right) & \text{pro } t \geq T_d \end{cases} \tag{5.13}$$

jejíž průběh je uveden na obrázku 5.2.

Zaveďme poučku pro aproximaci soustav vyšších řádů s dopravním zpožděním. Je-li jeden kořen charakteristické rovnice soustavy vyššího řádu podstatně menší než ostatní kořeny, je tvar příslušné přechodové charakteristiky podobný tvaru přechodové charakteristiky soustavy prvního řádu s dopravním zpožděním. Toto je znázorněno na následujícím obrázku.




Obr. 5.3 Aproximace přechodové charakteristiky vyššího řádu charakteristikou prvního řadu s dopravním zpožděním

Nyní je potřeba opět uvést vztahy pro určení neznámých konstant $T$ a $T_d$, které vyjadřují časovou konstantu soustavy, respektive hodnotu dopravního zpoždění. Vztah pro určení časové konstanty $T$ je tedy ve tvaru

$$T = \frac{T_d - t_A}{ln\left(1 - \frac{y_A}{\Delta y(t)_{\max}}\right)} \tag{5.14}$$

a pro výpočet dopravního zpoždění $T_d$

$$T_d = \frac{t_B \ln\left(1 - \frac{y_A}{\Delta y(t)_{\max}}\right) - t_A \ln\left(1 - \frac{y_B}{\Delta y(t)_{\max}}\right)}{\ln\left(1 - \frac{y_A}{\Delta y(t)_{\max}}\right) - \ln\left(1 - \frac{y_B}{\Delta y(t)_{\max}}\right)} \tag{5.15}$$

### 5.1.3 Aproximace nekmitavých soustav vyšších řádů

V případě soustav vyšších řádů je aproximace jejich přechodových charakteristik poměrně náročnou disciplínou. Pokud se tato charakteristika ustálí na konečné hodnotě, jedná se o statickou soustavu. Přechodová charakteristika nekmitavé soustavy vyššího (rozumějme soustavu které nemá komplexně sdružené kořeny), je znázorněna dále na obr. 5.4. Nevýhodou je, že z tvaru této charakteristiky nelze přesně určit řád ani parametry soustavy. Proto se používají přibližné metody, pomocí nichž se určují pouze aproximační přenosy soustavy.

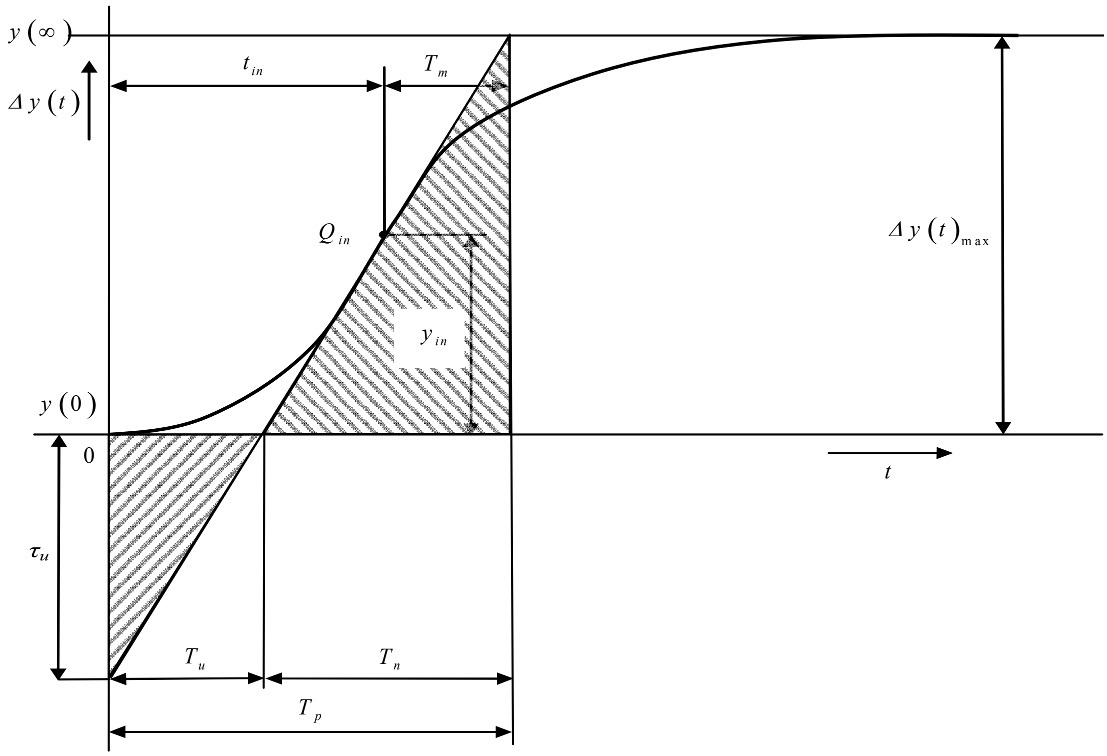
Jednu z nejjednodušších a prakticky snadno použitelných metod aproximace přechodových charakteristik pro statické soustavy navrhl V. Strejc. Je vhodná pro objekty, které můžeme považovat za nekmitavé statické soustavy. Vychází se zde ze skutečnosti, že přechodová charakteristika statických soustav vyššího řádu je v okolí inflexního bodu takřka přímková, takže směrnice tečny v inflexním bodě přechodové charakteristiky je poměrně přesně určena. Toto je dobře viditelné na obr. 5.4. Průsečík tečny sestrojené v inflexním bodě s časovou osou určuje dobu průtahu $T_u$ a průsečík pro $t \to \infty$ určuje dobu náběhu $T_n$, $T_m$ se nazývá doplňková doba.

Soustavu $n$-tého řádu s násobnými časovými konstantami můžeme popsat přenosovou funkcí

$$G(s) = \frac{K}{(Ts+1)^n} \tag{5.16}$$

Dalším důležitým vztahem je hodnota charakteristiky v inflexním bodě $y_{in}$

$$y_{in} = 1 - e^{1-n} \sum_{j=0}^{n-1} \left( \frac{n-1}{j} \right) \tag{5.17}$$




Obr. 5.4 Přechodová charakteristika nekmitavé soustavy vyššího řádu

Strejc dokázal, že podíl doby průtahu k době náběhu je funkcí pouze řádu soustavy *n* a je ve tvaru

$$\frac{T_u}{T_n} = \frac{(n-1)^{n-1} - (n-2)!\left[e^{n-1} - \sum_{j=0}^{n-1} \frac{(n-1)^j}{j!}\right]}{(n-2)!e^{n-1}} \tag{5.18}$$

a nezávisí na velikosti násobné časové konstanty *T*. Na základě podobnosti vyšrafovaných trojúhelníků na obr. 5.4 platí

$$\frac{T_u}{T_n} = \frac{\tau_u}{1} \tag{5.19}$$

Jestliže $\tau_u$ je v intervalu (0; 0.104), potom je vhodné aproximovat soustavu přenosem druhého řádu s různými časovými konstantami

$$G(s) = \frac{K}{(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)} \tag{5.20}$$

Tab. 5.1 Hodnoty pro vyhodnocování nekmitavých soustav $n$-tého řádu se stejnými časovými konstantami

| n | $\frac{T_u}{T_n}$ | $\frac{y_{in}}{y_\infty}$ | $\frac{T_m}{T_n}$ | $\frac{T_n}{T}$ | $\frac{T_u}{T}$ | $\frac{t_{in}}{T}$ | $\frac{T_m}{T}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0.104 | 0.264 | 0.736 | 2.187 | 0.282 | 1 | 2.000 |
| 3 | 0.218 | 0.323 | 0.677 | 3.695 | 0.805 | 2 | 2.500 |
| 4 | 0.139 | 0.353 | 0.647 | 4.463 | 1.425 | 3 | 2.888 |
| 5 | 0.41 | 0.371 | 0.629 | 5.119 | 2.100 | 4 | 3.219 |
| 6 | 0.493 | 0.384 | 0.616 | 5.699 | 2.811 | 5 | 3.510 |
| 7 | 0.57 | 0.394 | 0.606 | 6.226 | 3.549 | 6 | 3.775 |
| 8 | 0.642 | 0.401 | 0.599 | 6.711 | 4.307 | 7 | 4.018 |
| 9 | 0.709 | 0.407 | 0.593 | 7.164 | 5.081 | 8 | 4.245 |
| 10 | 0.773 | 0.413 | 0.587 | 7.59 | 5.869 | 9 | 4.458 |

Uveďme si nyní přehledný postup pro určení aproximační funkce vyšetřované soustavy.

1) Sestrojíme tečnu v inflexním bodě přechodové charakteristiky a určíme hodnotu $\tau = \frac{T_u}{T_n}$.

2) Je-li $\tau_u \geq 0.104 \Delta y(t)_{\max}$, zvolíme pro aproximaci soustavu $n$-tého řádu se stejnými časovými konstantami.

- Z charakteristiky odečteme hodnoty $\Delta y(t)_{\max}$, $t_{in}$, $y_{in}$, $T_u$, $T_n$, $T_m$.
- Utvoříme podíly $\frac{T_u}{T_n}, \frac{y_{in}}{\Delta y(t)_{\max}}, \frac{T_m}{T_n}$ a z tabulky pro ně určíme řád diferenciální rovnice $n$.
- Ze zbývajících sloupců tabulky 6.1 stanovíme pro určený řád diferenciální rovnice hodnoty $\frac{T_n}{T}, \frac{T_u}{T}, \frac{t_{in}}{T}, \frac{T_m}{T}$, ze kterých pak určíme neznámou časovou konstantu $T$.
- Diferenciální rovnice aproximační soustavy má tvar

$$\binom{n}{0} T^n y^{(n)}(t) + \binom{n}{1} T^{n-1} y^{(n-1)}(t) + \ldots + \binom{n}{n-1} T y' + \binom{n}{n} y(t) = K u(t) \tag{5.21}$$

3) Je-li $\tau_u \leq 0.104 \Delta y(t)_{\max}$ zvolíme pro aproximaci soustavu druhého řádu s různě velkými časovými konstantami.

- Pro pořadnici $y(t_1) = 0.720 \Delta y_{max}$ odečteme z přechodové charakteristiky časový úsek $t_1$ a vypočítáme součet časových konstant

$$T_1 + T_2 = \frac{t_1}{1.2564} \tag{5.22}$$

- Vypočítáme časový úsek

$$t_2 = 0.3574(T_1 + T_2) \tag{5.23}$$

  a z naměřené přechodové charakteristiky odečteme příslušnou pořadnici $y(t_2)$.

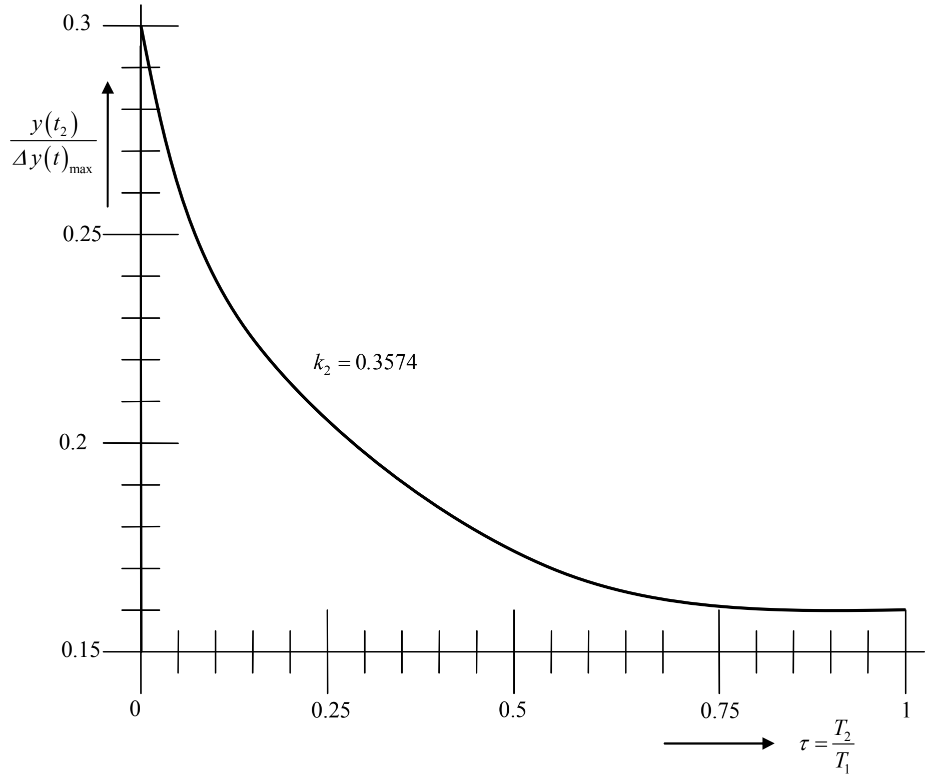
- Z grafu závislosti $\frac{y(t_2)}{\Delta y(t)_{max}} = f(\tau)$ na obr. 5.5 určíme poměr časových konstant

$$\tau = \frac{T_2}{T_1} \tag{5.24}$$

- Z rovnice (5.22) a (5.24) určíme hledané časové konstanty.
- Diferenciální rovnice aproximační soustavy má tvar

$$T_1 T_2 y''(t) + (T_1 + T_2) y'(t) + y(t) = K u(t) \tag{5.25}$$

4) Zesílení $K$ v obou případech určíme podle vztahu (5.9).




Obr. 5.5 Graf pro určení poměru časových konstant $\tau = \frac{T_2}{T_1}$

### 5.1.4 Použití numerických metod pro aproximaci nekmitavých statických přechodových charakteristik

Rozvoj výpočetní techniky umožnil nahrazení analytických, případně grafických aproximačních metod metodami numerickými a úplnou automatizací identifikačního experimentu Většina numerických metod konverguje tím rychleji, čím blíže zadáme počáteční odhady hledaných parametrů odhadům konečným. Pro informaci si uveďme pouze některé používané typy těchto metod. Jsou jimi:

- **Gradientní metoda**
- **Nelineární regrese - Gaussova-Newtonova metoda**
- **Newtonova metoda**

### 5.1.5 Aproximace kmitavého členu druhého řádu

Má-li soustava dva akumulátory energie, jsou její dynamické vlastnosti popsány systémem druhého řádu. Nastává-li v této soustavě přelévání energie z jednoho akumulátoru energie do druhého (jako např. v elektrickém RLC obvodu), potom je její přechodová charakteristika kmitavá. Diferenciální rovnice popisující soustavu druhého řádu je

$$a_2 y'' + a_1 y' + a_0 y = b_0 u \tag{5.26}$$

kterou můžeme upravit na tvar

$$T^2 y'' + 2\xi T y' + y = Ku \tag{5.27}$$

kde

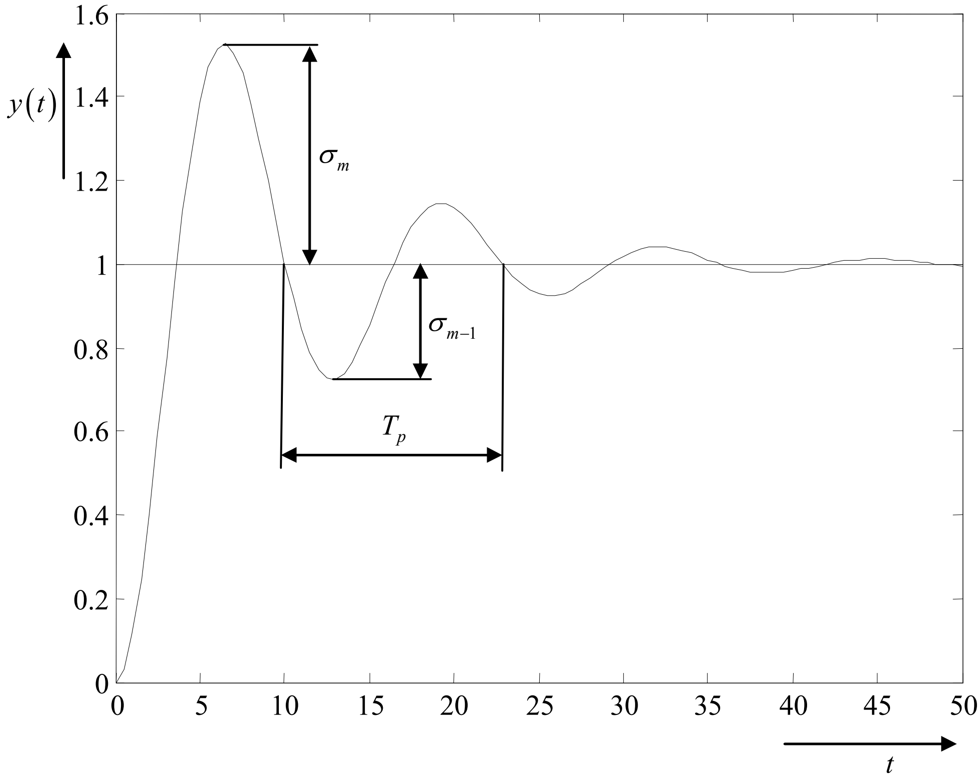
$$T^2 = \frac{a_2}{a_0}; \quad 2\xi T = \frac{a_1}{a_0}; \quad K = \frac{b_0}{a_0} \tag{5.28}$$

U tohoto typu soustav musíme vzít v úvahu koeficient tlumení $\xi$, který pro kmitavou soustavu musí být v intervalu $0 < \xi < 1$. V tomto případě je přechodová funkce dána rovnicí

$$y(t) = K\left[1 - \frac{1}{\sqrt{1-\xi^2}} e^{-\frac{\xi}{T}t} \sin\left(\frac{\sqrt{1-\xi^2}}{T} t + arctg \frac{\sqrt{1-\xi^2}}{\xi}\right)\right] \tag{5.29}$$

a obrazový přenos kmitavé soustavy je

$$G(s) = \frac{K}{T^2 s^2 + 2\xi T s + 1} \tag{5.30}$$




Obr. 5.6 Přechodová charakteristika kmitavého členu

Koeficient tlumení potom určíme ze vztahu

$$\xi = \frac{\ln \dfrac{\sigma_m}{\sigma_{m-1}}}{\sqrt{\pi^2 + \left( \ln \dfrac{\sigma_m}{\sigma_{m-1}} \right)^2}} \tag{5.31}$$

a časovou konstantu

$$T = \frac{T_p \sqrt{1-\xi^2}}{2\pi} . \tag{5.32}$$

Jelikož překmit $\sigma_m$ pro $0 \le \xi \le 1$ lze vypočítat podle rovnice

$$\sigma_m = e^{-\frac{\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}} \tag{5.33}$$

můžeme koeficient tlumení $\xi$ přímo určit pomocí následující tabulky vyčíslené ze vztahu (5.33).

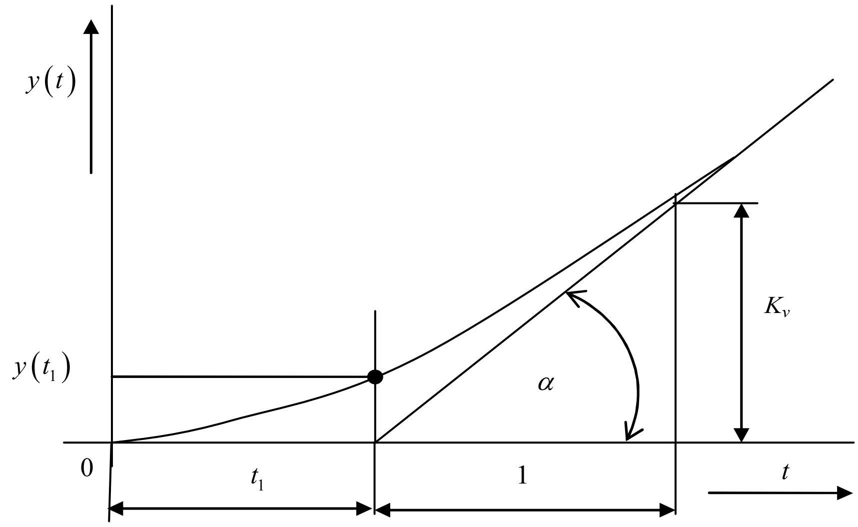
Tab. 5.2 Hodnoty maximálního překmitu $\sigma_m$ v závislosti na koeficientu tlumení $\xi$

| $\xi$ | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $\sigma_m[\%]$ | 100 | 72,92 | 52,66 | 37,23 | 25,38 | 16,30 | 9,48 | 4,60 | 1,52 | 0,15 | 0 |

### 5.1.6 Aproximace nekmitavých soustav s integračním členem

Nekmitavé soustavy s integračním členem se aproximují přenosovou funkcí

$$G(s) = \frac{K_v}{s(Ts+1)^n}. \tag{5.34}$$




Obr. 5.7 Přechodová charakteristika soustavy s integračním členem

Určeme směrnici asymptoty $K_v = tg\,\alpha$ k přechodové charakteristice, bod kde asymptota protíná časovou osu je

$$t_1 = nT \tag{5.35}$$

a poměr

$$f(n) = \frac{y(t_1)}{K_v t_1} \tag{5.36}$$

Postup pro aproximaci tohoto typu soustav je následující:

1. Sestrojíme asymptotu k přechodové charakteristice pro $t \to \infty$.
2. Určíme směrnici asymptoty $K_v = tg\,\alpha$.
3. Z přechodové charakteristiky odečteme souřadnici $t_1$ a její pořadnici $y(t_1)$.
4. Určíme hodnotu $f(n)$ ze vztahu (5.36).
5. Z tabulky 6.4 určíme příslušný řád soustavy $n$.
6. Vypočítáme časovou konstantu úpravou vztahu (5.35) $T = \frac{t_1}{n}$.

## 5.2 Vyhodnocování frekvenčních charakteristik

Amplitudově-fázovou frekvenční charakteristiku (AFFCH) soustavy získáme tak, že na vstup soustavy připojíme zdroj harmonických kmitů. Pro různé frekvence $\omega$ vstupního signálu $u(t)$ měříme po ustálení poměr amplitud ustálených kmitů na výstupu $A_y(\omega)$ a vstupu $A_u(\omega)$ a fázové posunutí $\varphi(\omega)$ výstupního harmonického signálu $y(t)$ proti vstupnímu signálu $u(t)$. . Chceme-li sestrojit frekvenční charakteristiku pomocí pravoúhlých souřadnic v komplexní rovině, určíme reálné a imaginární složky pomocí vztahů

$$P(\omega_i) = A(\omega_i)\cos\varphi(\omega_i); \qquad Q(\omega_i) = A(\omega_i)\sin\varphi(\omega_i) \tag{5.37}$$

Spojením všech naměřených bodů určujeme tu část frekvenční charakteristiky, která přísluší zvolenému rozsahu frekvencí. K vyhodnocování přechodových charakteristik se používá několik různých metod. Mezi tyto patří:

- Metoda nejmenších čtverců
- tzv. Jednoduchá metoda vyhodnocování frekvenčních charakteristik
- Určení frekvenčního přenosu z logaritmických amplitudo-fázových charakteristik

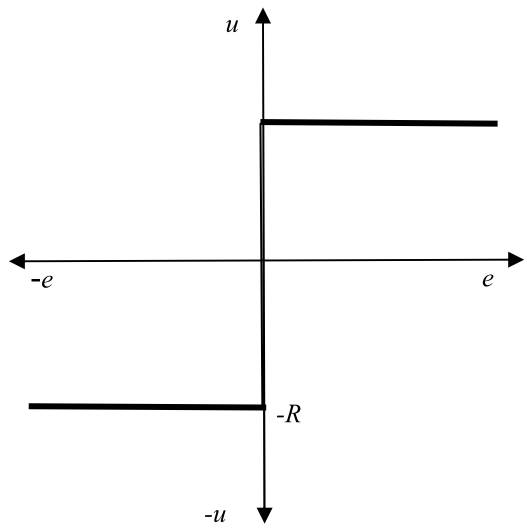
## 5.3 Vyhodnocování odezvy na obecný vstupní signál

V případě, že uskutečnění aktivního experimentu je obtížné nebo nerealizovatelné, můžeme použít pro identifikaci metody využívající nenormovaný obecný vstupní budící signál a analyzovat odpovídající odezvu na výstupu. Při experimentu vycházíme z předpokladu, že účinky šumu jsou vzhledem k užitečnému signálu zanedbatelné a dále předpokládáme, že na začátku měření, tj. v čase $t = 0$ a na jeho konci v čase $t = t_n$ byl objekt ustálený v rovnovážném stavu. Jednou z metod je výpočet impulsní charakteristiky pomocí konvolutorního integrálu, který má tvar

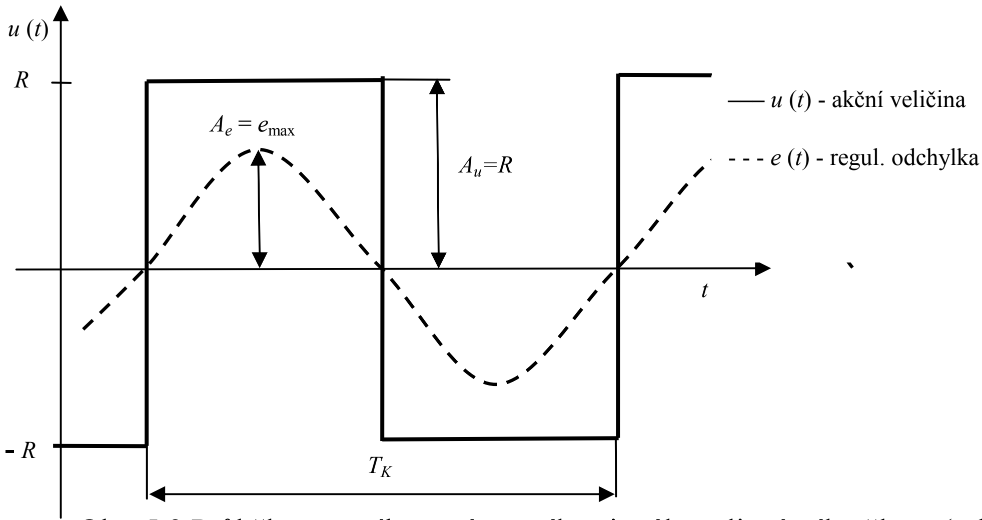
$$y(t) = \int_{0}^{+\infty} g(\tau)\, u(t-\tau)\, d\tau \qquad (5.38)$$

Úkolem této metody je získat průběh impulsní charakteristiky $g(t)$ z dostupných signálů $u(t)$ a $y(t)$ při zanedbání účinků šumu.

Další metodou, kterou zmíníme je metoda identifikace v uzavřené regulační smyčče (autotuning). Pánové Åström a Hägglund navrhli metodu odhadování kritického zesílení $K_{PK}$ a kritické frekvence $\omega_K$ pomocí identifikace neznámého procesu v uzavřené smyčce a nazvali ji ATV (autotune variation). Jako regulátor je použitý nelineární člen - relé, jehož statická charakteristika je znázorněna na obr. 5.8.




Obr. 5.8 Reléová statická charakteristika




Obr. 5.9 Průběh vstupního a výstupního signálu nelineárního členu (relé)

Tato metoda má několik výhod oproti identifikačním metodám v otevřeném regulačním obvodě:

1. Není potřebná žádná znalost o časových konstantách systému. Jediný parametr, který je třeba zadat je hodnota *R*, která se obyčejně volí 2 – 10% rozsahu akční veličiny.

2. ATV je test v uzavřeném regulačním obvodě a tedy průběh procesu bude stále v blízkosti žádané hodnoty. To způsobí, že proces se bude přibližně nacházet v lineární oblasti.

3. Získají se přesné informace o frekvenční oblasti, které jsou pro identifikaci a následný návrh regulátoru důležité.

# 6 STOCHASTICKÉ METODY IDENTIFIKACE

Deterministické metody uvedené v předchozí kapitole mají více nedostatků a pouze omezené možnosti praktického použití. Jedná se zejména o skutečnost, že u těchto metod se používají testovací vstupní signály, jejichž vlastnosti se obvykle podstatně liší od vlastností vstupních signálů, které ovlivňují chování reálného objektu při normálním provozu. Mnohé z těchto nedostatků odstraňují stochastické metody identifikace, a to hlavně ty, které nevyžadují aktivní buzení objektu, ale využívají pouze údaje získané z provozního měření. Případně pro buzení objektu používají speciální náhodné testovací signály přidávané k provozním signálům. Použití náhodných signálů pro identifikaci má následující výhody:

- Pro identifikaci můžeme přímo využít náhodné vlivy a poruchy (šumy), které ovlivňují vstupy a výstupy každého provozního zařízení. Proto není třeba použít žádný generátor testovacího signálu.
- Na výsledek měření nemá vliv šum vznikající v měřeném objektu ani jiné poruchy vstupující do objektu, které se přímo nevyužívají pro identifikační experiment.
- Měření je možné provádět na objektu bez požadavku vyřazení z normální provozní činnosti.
- Jsou vhodné pro identifikaci lineárních i nelineárních dynamických objektů a to jednorozměrových i mnoharozměrových.

Naopak nevýhodou těchto metod je větší objem náročnějších výpočtů, vyžadujících použití výpočetní techniky.

## 6.1 Korelační metody

Tyto jsou zaměřeny na studium dynamických vlastností lineárních a nelineárních objektů na základě vyhodnocování měření vstupních a výstupních náhodných signálů. Jsou vhodné pro časově invariantní objekty a poskytují především neparametrické modely dynamického chování objektu (impulsní funkce, frekvenční přenos apod.). K jejich záporným vlastnostem patří náročnost technického experimentálního zabezpečení, ať už speciálními přístroji nebo výpočetní technikou a dlouho trvající identifikační experiment.

## 6.2 Regresní metody

Metody regresní analýzy jsou vhodné pro vyšetřování statických i dynamických vztahů mezi veličinami v analyzovaném objektu. Současné možnosti moderní výpočetní techniky umožnily překlenout výpočetní problémy spojené s využíváním těchto metod a proto našly velké uplatnění v experimentální identifikaci procesů. Význam regresních metod pro použití v experimentální identifikaci vzrostl zejména používáním stochastických diskrétních modelů.

# II. PRAKTICKÁ ČÁST

# 7 POSTUP PŘI VYTVÁŘENÍ APLIKACÍ POWERPOINT A OBECNÉ POZNATKY

## 7.1 Počátek

Prvním krokem před zahájením vypracovávání přednáškových podkladů bylo vytvořit zestručněný výtah z dostupných materiálů v elektronické podobě v aplikaci MicroSoft Word. Pro každou jednotlivou kapitolu jsem se snažil vyzdvihnout ty nejdůležitější a užitečné informace a nějakým způsobem zjednodušit a rozumově přiblížit posluchačům uvedené výklady jednotlivých problematik.

## 7.2 Požadavky

Po té jsem mohl přejít k samotnému vytváření přednáškových snímků. Podle požadavků vedoucího mé bakalářské práce prof., Ing. Vladimíra Bobála, Csc. jsem navrhnul grafickou úpravu těchto snímků. V tomto návrhu jsem měl v podstatě volné pole působnosti a kompletní grafický vzhled jsem navrhnul v závislosti na užitečnost a zpestření přednáškových hodin.

## 7.3 Efekty a vlastnosti textu

U každé jednotlivé přednášky jsem zvolil přechod snímku s názvem „Obdélník ven, kdy se z bodu ve středu snímku rozvine obraz v obdélníkovém tvaru až k okrajům. Dále jednotnou záležitostí u všech přednášek je zvolené zelené barevné schéma, které co nejméně unavuje oči. Základní text tohoto schématu je bílou barvou, která na zeleném podkladu dobře vynikne a jeho základní velikost je 24 bodů. Důležité pojmy a poznámky jsou podle situace zvýrazněny buď oranžovou nebo černou barvou s využitím kurzívy nebo tučného písma. U všech přednášek je také stejně zvolen efekt příletu nadpisu, který je přilétá automaticky po předchozím snímku zprava rychlostí „Rychle“ a zarovnává se vlevo. Jednotlivé základní body výkladu (myšleno text velikosti 24) přilétají zdola a to až po kliknutí. To je vhodné zejména pro to, že se posluchači mohou soustředit pouze na daný bod výkladu. Podbody výkladu sloužící např. pro další dělení textu přilétají zprava a rovněž po klepnutí. Rovnice se zjevují efektem „oslnění“, kdy se postupně mlžením zjevují. Podle dané situace mají nastavenou akci buď po klepnutí nebo po předchozí akci se zpožděním. V následující tabulce jsou přehledně uvedeny vlastnosti základních prvků použitých v prezentacích.

Tab. 7.1 Vlastnosti základních prvků prezentací

| Prvek snímku: | Velikost textu: | Efekt: | Rychlost: | Akce: | Zpoždění (s): |
|---|---|---|---|---|---|
| Nadpis | 44, 40, 36, 32 * | "zprava" | rychle | po předchozím | 0 |
| Hlavní bod výkladu | 24 | "zdola" | rychle | při klepnutí | 0 |
| Podúroveň textu | 20 | "zprava" | rychle | při klepnutí | 0 |
| Podpodúroveň textu | 18 | "zprava" | rychle | při klepnutí | 0 |
| Rovnice | automatická | "oslnění" | rychle | při klepnutí / po předchozím | 0 / 0.5; 1; 1.5 * |
| Obrázek | automatická | "odraz" | středně | při klepnutí | 0 |
| Tabulka | automatická | "odraz" | středně | při klepnutí | 0 |
| Popisek obr. nebo tab. | 16 | "barevný psací stroj" | rychle | po předchozím | 0.5 |

Pozn.: * - Úrovně velikosti nadpisů se mění v závislosti na délku nadpisu

** - Zpoždění u některých rovnic vyžadovalo různé hodnoty podle situace

Stručné vysvětlení uvedených efektů:

- „zprava“ - daný prvek přiletí zprava
- „zdola“ - daný prvek přiletí zdola
- „oslnění“ - daný prvek se zjeví rozmlžením
- „odraz“ - daný prvek přiletí zleva a několikrát se od své cílové pozice odrazí a po té se na ní usadí
- „barevný psací stroj“ - daný prvek se zjevuje po jednotlivých písmenech zleva doprava

### 7.3.1 1. Kapitola

Tato první kapitola je věnována seznámení posluchačů s myšlenkami procesu identifikace a modelování a dále s jejich základními postupy a cíli.

Tab. 7.2 Popis první kapitoly

| | |
|---|---|
| **Předmět:** | Identifikace systémů |
| **Číslo kapitoly:** | 1 |
| **Název kapitoly:** | Úvod |
| **Počet stran:** | 7 |
| **Velikost:** | 112 kB |

### 7.3.2 2. Kapitola

Obsahová forma druhé kapitoly spočívá v seznámení posluchačů se základními pojmy, filosofií a problémy spojenými s procesy identifikace a modelování.

Tab. 7.3 Popis druhé kapitoly

| | |
|---|---|
| **Předmět:** | Identifikace systémů |
| **Číslo kapitoly:** | 2 |
| **Název kapitoly:** | Základní pojmy a problémy identifikace a modelování |
| **Počet stran:** | 40 |
| **Velikost:** | 524 kB |

### 7.3.3 3. Kapitola

Tato kapitola se zabývá především problematikou analytických metod identifikace, jejich dělením a pravidly pro sestavování analytickým modelů.

Tab. 7.4 Popis třetí kapitoly

| | |
|---|---|
| **Předmět:** | Identifikace systémů |
| **Číslo kapitoly:** | 2 |
| **Název kapitoly:** | Analytické metody identifikace |
| **Počet stran:** | 16 |
| **Velikost:** | 200 kB |

### 7.3.4 4. Kapitola

Zde se posluchači dozvědí o principech teorie náhodných procesů a také základní pojmy z matematické statistiky.

Tab. 7.5 Popis čtvrté kapitoly

| | |
|---|---|
| **Předmět:** | Identifikace systémů |
| **Číslo kapitoly:** | 4 |
| **Název kapitoly:** | Základní pojmy z matematické statistiky a teorie náhodných procesů |
| **Počet stran:** | 39 |
| **Velikost:** | 480 kB |

### 7.3.5 5. Kapitola

Cílem páté kapitoly je seznámit posluchače ze základními metodami experimentální identifikace a jejich principy.

Tab. 7.6 Popis páté kapitoly

| | |
|---|---|
| **Předmět:** | Identifikace systémů |
| **Číslo kapitoly:** | 5 |
| **Název kapitoly:** | Experimentální metody identifikace |
| **Počet stran:** | 97 |
| **Velikost:** | 1,12 MB |

### 7.3.6 6. Kapitola

Šestá kapitola je zaměřena na deterministické metody identifikace a jejich druhy a postupy.

Tab. 7.7 Popis šesté kapitoly

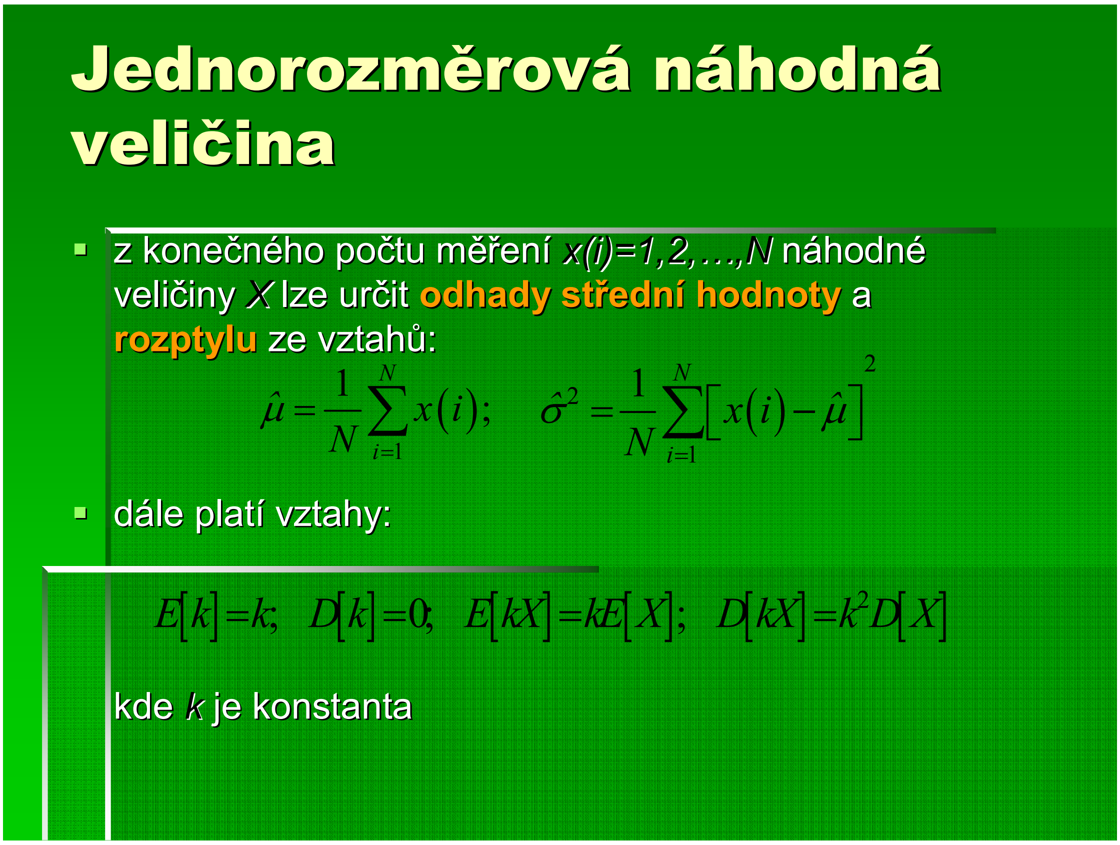
| | |
|---|---|
| **Předmět:** | Identifikace systémů |
| **Číslo kapitoly:** | 6 |
| **Název kapitoly:** | Deterministické metody identifikace |
| **Počet stran:** | 100 |
| **Velikost:** | 1,49 MB |

### 7.3.7 7. Kapitola

V poslední závěrečné kapitole jsou obsaženy poznatky o stochastických metodách identifikace a jejich dělení.

Tab. 7.8 Popis sedmé kapitoly

| | |
|---|---|
| **Předmět:** | Identifikace systémů |
| **Číslo kapitoly:** | 7 |
| **Název kapitoly:** | Stochastické metody identifikace |
| **Počet stran:** | 54 |
| **Velikost:** | 828 kB |




Obr. 7.1 Ukázka vybraného snímku vytvořeného v aplikaci PowerPoint

# ZÁVĚR

Tato bakalářská práce mi poskytla nové informace z oblasti identifikace systémů a připomněla některé znalosti nabyté v předmětech Teorie automatického řízení I a II, které s předmětem Identifikace systémů částečně souvisí. Během této práce jsem se seznámil se základními pojmy s metodami identifikace a modelování spojitých a diskrétních systémů. Tato skutečnost se může prokázat jako užitečná v budoucnu při případném studiu navazujícího magisterského studia se zaměřením na problematiku automatizace nebo problematiku jí podobnou.

Rád bych podotknul, že obtížnost zadaného úkolu nebyla velká ve smyslu nároků na znalosti nebo vědomosti diplomanta. Nicméně jistou obtížnost tato práce měla. Vytvoření výtahu důležitých informací, pouček, poznatků, rovnic a tabulek a následné uvedení těchto dat do aplikace Microsoft PowerPoint z více než 100 stran interních učebních textů, které jsem měl k dispozici, bylo náročné především z časového hlediska.

Dále pak bylo nutné pro jisté zpestření a zatraktivnění těchto snímků vybrat vhodné barevné schéma standardně dostupné v aplikaci PowerPoint, zvolit uživatelsky zajímavé přechody jednotlivých snímků a v neposlední řadě také vytvořit pro každý jednotlivý snímek animace prvků, které dané snímky obsahují. Mezi tyto prvky patří konkrétně v rámci této práce nadpisy, jednotlivé body osnovy (tímto je myšlen základní text) pro uvedené kapitoly, dále pak „podbody“ (texty nižší úrovně), tabulky, obrázky, na kterých jsou zpravidla průběhy měřených objektů nebo testovacích signálů a jejich popisky a konečně také matematické rovnice.

Hlavní snahou bylo dodržet v co největší možné míře předem dohodnutou osnovu postupu práce a vyhovět tak požadavkům vedoucího své bakalářské práce .

Konečný produkt ve formě 7 vypracovaných kapitol v aplikaci Microsoft PowerPoint je obsažen, stejně jako tato práce, na přiloženém CD.

# ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

This bachelor thesis gives me a new information of system identification and remind me some knowledge gained in courses of Theory of automatics control I and II which relates with System Identificatiou course. During this work I meet with basic conceptions and methods identification and simulation of continuous and discrete systems. This fact could be useful in the future for studying of automatizations questions.

I'd like to note the work weren't hard to knowledge of writer. The making of abstract of important informations, principles, findings, formulas and tables was difficult by time-consuming.

It was necessary to make this pictures more attractive to choose acceptable grafic scheme of application of PowerPoint. The next was choose interesting animations of pictures. The animations was created for titles, points of tissue, tables, images and formulas.

The main endeavour was keep of agreed procedure of the work and satisfy to requierements to leader of my bachelor work.

The finally product is in form of 7 elaborated chapters in application of Microsoft PowerPoint and this factual work is putting in the enclosed CD-ROM.

# SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

[1] DRÁBEK, O., MACHÁČEK, J. *Experimentální identifikace a řízení procesů.* Pardubice, VŠCHT, 1983.

[2] BOBÁL, V. *Identifikace systémů*. Brno, VUT, 1990.

[3] SOUKUP, J. *Identifikace soustav.* Praha SNLT, 1990.

[4] NOSKIEVIČ, P. *Modelování a identifikace systémů*. Ostrava, Montanex a.s., 1999.

[5] WILSON, D. I. *Identification for control-type model.* Karlstad University (Educational Textbooks), 2001.

[6] KUBALČÍK, M. *Cvičení z předmětu Identifikace systémů*. Zlín, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, 2006.

[7] BOBÁL, V. *Interní učební texty.*

# SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|---|---|
| AF | Autokorelační funkce |
| AFFCH | Amplitudově-fázová frekvenční charakteristika |
| AR | AutoRegressive |
| ARIMAX | AutoRegressive Moving Average with Integrator |
| ARMA | AutoRegressive Average |
| ARMAX | AutoRegressive Average with eXogenous input |
| ARX | AutoRegressive with eXogenous input |
| ATV | Autotune variation |
| BJ | Box-Jenkins |
| FIR | Finite impulse response |
| GM | Gradientní metoda |
| GNM | Gaussova-Newtonova metoda |
| KM | Korelační moment |
| MM | Matematický model |
| MNČ | Metoda nejmenších čtverců |
| OE | Output error |
| RČ | Relativní četnost |
| ÚF | Účelový funkcionál |
| VKM | Vnitřní konceptuální model |

# SEZNAM OBRÁZKŮ

# SEZNAM TABULEK