

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA STROJNÍ**



ZÁKLADY AUTOMATIZACE TECHNOLOGICKÝCH PROCESŮ V TEORII

Identifikace systémů

Ing. Romana Garzinová, Ph.D.
prof. Ing. Zora Jančíková, CSc.
Ing. Ondřej Zimný, Ph.D.

Ostrava 2013

© Ing. Romana Garzinová, Ph.D., prof. Ing. Zora Jančíková, CSc., Ing. Ondřej Zimný, Ph.D.

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

ISBN 978-80-248-3044-5



Tento studijní materiál vznikl za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu: CZ.1.07/2.2.00/15.0463, MODERNIZACE VÝUKOVÝCH MATERIÁLŮ A DIDAKTICKÝCH METOD

OBSAH

1	IDENTIFIKACE SYSTÉMŮ	3
1.1	Identifikace	4
1.2	Identifikace v procesu řízení	4
1.2.1	Apriorní informace o soustavě	6
1.2.2	Aposteriorní informace	7
1.3	Klasifikace metod identifikace	8
1.3.1	Identifikace metodou matematicko-fyzikální analýzy	8
1.3.2	Experimentální metody identifikace	8
1.4	Proces linearizace	12
2	PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM	13
3	POUŽITÁ LITERATURA	14



1 IDENTIFIKACE SYSTÉMŮ



STRUČNÝ OBSAH PŘEDNÁŠKY:

Identifikace.

Identifikace v procesu řízení.

Klasifikace metod identifikace.

Proces linearizace.



MOTIVACE:

Podstatou automatizace je správně zvolený a zrealizovaný způsob řízení. Pokud chceme dobře řídit, musíme důkladně poznat systém, který chceme řídit a zjistit tak stav, vlastnosti a chování dané soustavy. Proces zjišťování matematického popisu soustavy označujeme jako identifikaci. Na základě získaného popisu (modelu) systému, provádíme modelování a následně simulaci systémů. To vše nám dá dobrý základ a představu o tom, jaký správný postup a algoritmus řízení navrhnout a zrealizovat.



CÍL:

Cílem kapitoly je pochopení procesu identifikace a vhodnost použití jednotlivých metod v praxi.



1.1 IDENTIFIKACE

Identifikace je proces určování matematického popisu modelu řízeného systému. Je to činnost, při které určujeme strukturu a parametry modelu. Je-li struktura známá, hovoříme o odhadu parametrů.



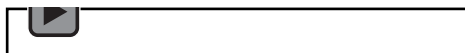
Audio 1.1



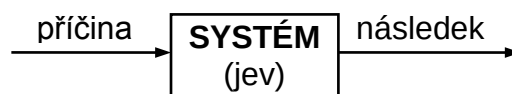
Model je pak zobrazení podstatných vlastností reálného (nebo konstruovaného) systému, které ve vhodné formě vyjadřuje informaci o systému. Musí vyjadřovat vztahy příčiny a následků. Příčina a následek jsou spolu prostřednictvím systému vázány operátorem F_o .



Audio 1.2



Schematicky se to dá vyjádřit:



Obr. 1. Vztahy v modelu systému

Popis tohoto uspořádání budeme nazývat modelem. Při tom je jedno, pomocí jakého výrazového prostředku je tento popis proveden. Může být proveden matematicky, formou grafů, tabulek, algoritmem, ale také jen slovně.

Popis lze formalizovat:



Obr. 2. Formalizace popisu systému

Zde jsme označili:

- příčinu U (vstup modelu),
- následek Y (výstup modelu).

Vazbu mezi nimi lze zapsat ve tvaru:

$$Y = F(U) \quad (1)$$

F je pravidlo, podle kterého přiřazujeme následek Y příčině U - přiřazujeme výstup modelu jeho vstupu. Toto pravidlo F nazveme operátorem modelu.

Úloha identifikace spočívá v určení (syntéze) operátoru modelu F , tj. v provedení vyhodnocení měření a určení odhadu operátoru F tak, aby byl v určitém předem definovaném smyslu blízký skutečnému operátoru F_o .

1.2 IDENTIFIKACE V PROCESU ŘÍZENÍ

Identifikace má v oblasti řízení technologických procesů charakter pomocného oboru. Abychom mohli řídit, je třeba vědět, co máme řídit. Musíme znát model objektu řízení - řízené soustavy, pro který je pak možno navrhnout řízení, nastavit jeho parametry, případně vybrat způsob řízení v určitém smyslu co nejlepší.



Je třeba poznamenat, že model určený pro potřeby syntézy řízení nemusí nutně vyjadřovat vnitřní mechanismy dějů v soustavě. Postačí získat formální souvislost mezi vstupy a výstupy soustavy. Zde je však nutno si uvědomit, že model vyjadřující fyzikální podstatu soustavy má daleko širší platnost - v celém oboru provozních stavů. V případě, že jsme schopni tyto vnitřní děje v modelu respektovat, činíme tak. Je to však daleko obtížnější a klade to vysoké nároky na provozovatele (řešitele) neboť se vyžaduje hluboká znalost technologické podstaty problému.

K zabezpečení řízení je třeba:

- mít znalosti o stavu řízené soustavy získané na základě měření vstupních a výstupních veličin soustavy,
- definovat cíl řízení,
- vytvořit algoritmus řízení.

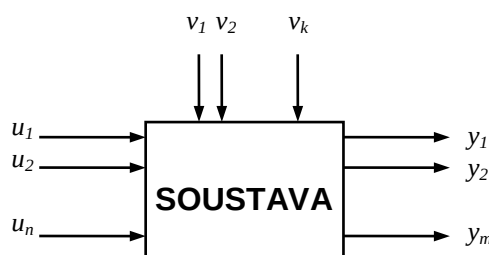
K zabezpečení těchto úkonů je třeba znát model soustavy. Pouze u řešení těch nejjednodušších případů není nutno znát model soustavy. Naopak stále častěji se u složitějších systémů řízení stává model soustavy přímo součástí řídicích obvodů - je zahrnut v algoritmech řízení.

Model soustavy zde slouží:

- k návrhu nejvhodnějšího způsobu řízení,
- k určení nastavení parametrů řízení,
- k zabezpečení nepřímého měření (lze získávat údaje o stavu řízené soustavy, které nelze přímo určit měřením),
- při změně parametrů soustavy s časem umožňuje často opakovanou identifikaci provádět opravu nastavení regulátorů.

Identifikované systémy (soustavy)

Objekt identifikace si lze znázornit takto:



Obr. 3. Objekt identifikace

kde veličiny:

$u_1, u_2, \dots, u_n$

jsou měřitelné vstupy soustavy,

$y_1, y_2, \dots, y_m$

měřitelné výstupy soustavy,

$v_1, v_2, \dots, v_k$

poruchové vstupy soustavy.



Abychom mohli skutečně přistoupit k procesu identifikace, je nutno mít informace o objektu, které lze rozdělit na *apriorní* (předem dané) a *aposteriorní* (získané měřením).

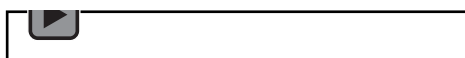
1.2.1 Apriorní informace o soustavě

Jedná se o informace, které máme o soustavě ještě před vytvářením platných zkušeností pozorováním a měřením. Podle těchto informací můžeme vytvářet model:

- dynamický nebo statický,
- deterministický nebo stochastický,
- lineární nebo nelineární,
- spojitý nebo nespojitý.



Audio 1.3



Model dynamický nebo statický

Dynamickým modelem nazýváme popis soustavy, který co nejdokonaleji vyjadřuje její chování v přechodovém stavu, čili její dynamické vlastnosti.

Výstup dynamické soustavy v určitém časovém okamžiku není dán pouze hodnotou vstupu, ale je určen rovněž i předcházejícími hodnotami vstupu. Soustava se chová jako setrvačná.

V případě, že hodnota výstupu je v každém časovém okamžiku dána okamžitou hodnotou vstupu, hovoříme o tom, že *soustava (model) je statická*.

Model deterministický nebo stochastický

Jestliže vstupní a výstupní funkce jsou *determinované funkce* (funkce známé, které můžeme analyticky vyjádřit) a jsou si navzájem jednoznačně přiřazeny, hovoříme o *modelu deterministickém*.



Obr. 4. Deterministický model

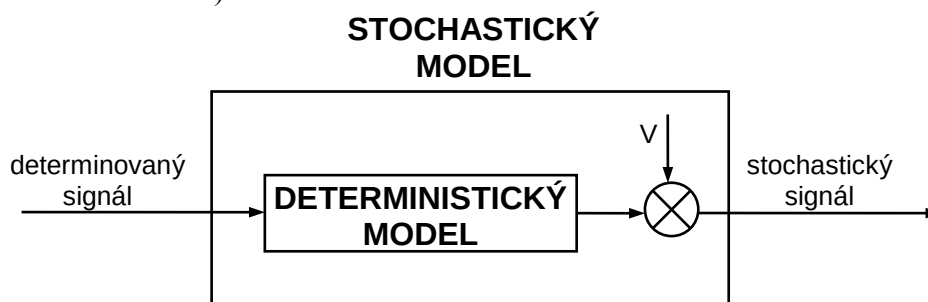
Obecně však jsou vstupní, výstupní i poruchové funkce náhodnými funkcemi času. Pak hovoříme o *stochastickém modelu*.

Podobně hovoříme o stochastickém modelu tehdy, jsou-li vstupy determinované funkce času a výstupy jsou náhodné funkce času. Tuto skutečnost lze znázornit na obrázku 5.

To je nejčastější případ se kterým pracujeme. Na tento stochastický model lze pohlížet jako na deterministický model s odezvou ve tvaru determinovaného signálu, která je pozorována s odchylkou v , mající charakter náhodné funkce času. Veličinou v respektujeme existenci náhodných chyb vznikajících při měření a existenci šumového signálu působícího na výstupu a majícího původ v identifikované soustavě. Často budeme tuto náhodnou funkci v označovat jako aditivní šum. Lze proto v dalším považovat deterministický model za zvláštní případ



modelu stochastického pro $v \rightarrow 0$ (případně v souvislosti se stochastickým modelem hovořit o jeho deterministické části).



Obr. 5. Stochastický model

Model lineární nebo nelineární

Soustavu nazýváme *lineární*, platí-li u ní princip superpozice, tj. je-li její odezva na součet dvou signálů ekvivalentní součtu odezev na každou změnu vstupu zvlášť.

Někdy se zavádí pojem *nepodstatně nelineární soustava* a to v případech, kdy nelineární soustavy se pro malé signály superponované na ustálený stav chovají jako lineární.

Pomocí terminologie, kterou jsme už zavedli, lze princip superpozice vyjádřit:

$$F(u_1 + u_2) = F(u_1) + F(u_2) \quad (2)$$

kde F je operátor modelu,
 u_1, u_2 jsou vstupní veličiny soustavy (modelu).

Soustavy spojitě a nespojitě

Soustava bude *nespojité*, jestli se její vstupy a výstupy mění jen v určitých časových okamžicích $t = (1, 2, \dots, n)$. Budou-li se vstupy a výstupy měnit spojitě, jedná se o *soustavu spojitou*. Někdy se mění nespojitým způsobem pouze vstup soustavy a výstupní veličina se mění spojitě. I takovou soustavu budeme zahrnovat mezi nespojitě.

1.2.2 Aposteriorní informace

Aposteriovní informace je ta, která vzniká na základě zkušeností. V daném případě jako výsledek pozorování a měření vstupů soustavy. Zatímco apriorní informace dává přehled zejména o kvalitativních aspektech objektu, aposteriorní informace dává přehled o kvantitativních stránkách objektu.



Audio 1.4



Identifikace struktury a parametrů soustavy

Při praktickém provádění identifikace je nutno nejprve určit strukturu operátoru a pak teprve parametry této struktury.

V případě určování struktury hovoříme o *strukturální identifikaci* (někdy také o identifikaci v širším smyslu) a při určování parametrů modelu o parametrické identifikaci neboli o *odhadu parametrů* (identifikaci v užším smyslu).



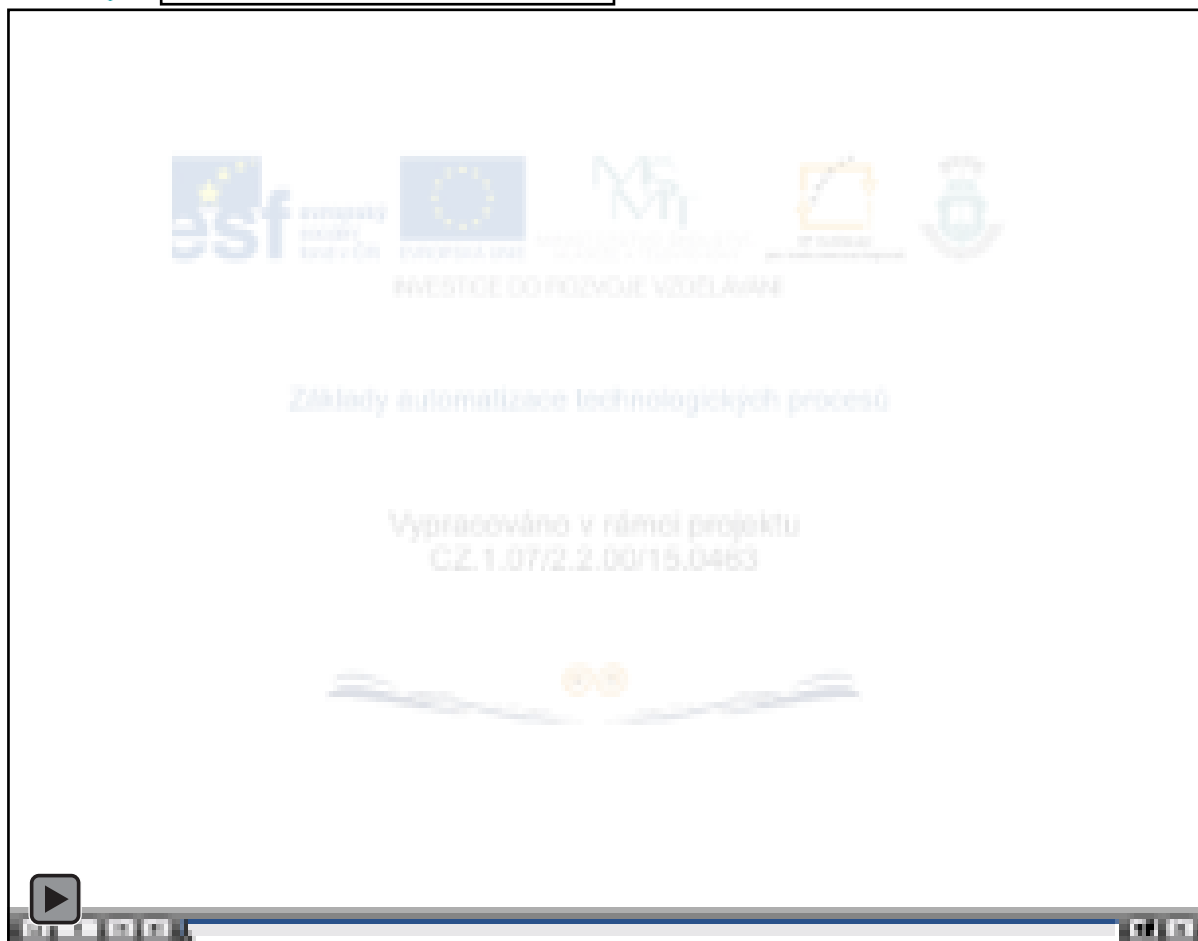
1.3 KLASIFIKACE METOD IDENTIFIKACE

1.3.1 Identifikace metodou matematicko-fyzikální analýzy

Identifikace metodou matematicko-fyzikální analýzy vychází ze známých přírodních zákonů, které umožňují popsat vztah mezi vstupní a výstupní veličinou soustavy. Výhodou této metody je to, že umožňuje určit matematický model v případech, kdy se soustava teprve projektuje. Výsledků takového rozboru lze užít pro volbu optimální koncepce a detailní konstrukce celého zařízení z hlediska jeho automatické regulace. Je třeba konstatovat, že metoda není jednoduchá - klade vysoké nároky na matematické a fyzikální znalosti.



Audio 1.5



Animce 1.1 Příklad tvorby matematického modelu ohřevu kovu metodou matematicko-fyzikální analýzy

1.3.2 Experimentální metody identifikace

Při tomto způsobu identifikace postupujeme obvykle tak, že pro vhodně zvolenou *strukturu modelu* (tím rozumíme způsob matematického vyjádření závislosti výstupního signálu na signálu vstupním např. ve tvaru diferenciální rovnice, diferenční rovnice, přenosu, impulsní charakteristiky) *provedeme odhad jeho parametrů* tj. řádů a velikostí koeficientů rovnic resp. přenosů. Provádíme to obvykle aplikací různých metod pro vyhodnocení záznamů odezvy systému na definovaný vstupní signál.

Výsledky experimentu lze však využít a zpracovat i jinými způsoby:



- lze jich využít k praktickému ověření závěrů, vyplývajících z matematicko fyzikálního rozboru soustavy, případně k zpřesnění matematického modelu nalezeného cestou matematicko-fyzikální analýzy,
- v některých případech umožňují identifikaci konstant vyjadřujících kvantitativně průběh procesu - jako jsou součinitelé přestupu tepla při ohřevu apod.

Naopak výsledků matematicko-fyzikální analýzy lze využít k odhadu řádu rovnice či přenosu identifikované soustavy při experimentální identifikaci.

Z uvedeného vyplývá, že obě metody se vhodně doplňují. Lze říci, že především vhodnou kombinací těchto metod je možno vytvořit předpoklady pro zajištění úspěchu identifikace.

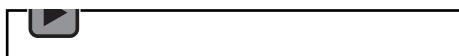
Z hlediska využití vhodných vstupních signálů pro experimentální identifikaci, můžeme dále metody rozdělit na klasické (deterministické) metody identifikace a na statistické (stochastické) metody identifikace.

Klasické experimentální metody

Vycházejí z měření odezev na klasické determinované zkušební signály jak neperiodické (např. jednotkový skok, jednotkový impuls), tak i periodické (sinusový, obdélníkový a lichoběžníkový průběh), a z jejich vyhodnocení klasickými vyhodnocovacími metodami (např. aproximace tečnou v inflexním bodě, metoda postupné integrace apod.). Metody obvykle nevyžadují použití výpočetní techniky. Tyto metody jsou vhodné pro soustavy, které lze popsat deterministickými modely.



Audio 1.6





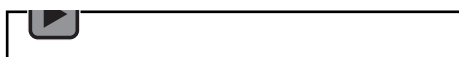
Animce 1.2 Příklad tvorby matematického modelu metodou experimentální identifikace

Statistické experimentální metody

Vycházejí z měření odezev na náhodné resp. pseudonáhodné zkušební signály a z jejich vyhodnocení metodami zpravidla využívajícími možností současné výpočetní techniky. Tyto metody jsou složitější. Jsou vhodné pro identifikaci soustav deterministických i soustav charakterizovaných složkou šumového signálu, působícího na jejich výstupu.



Audio 1.7

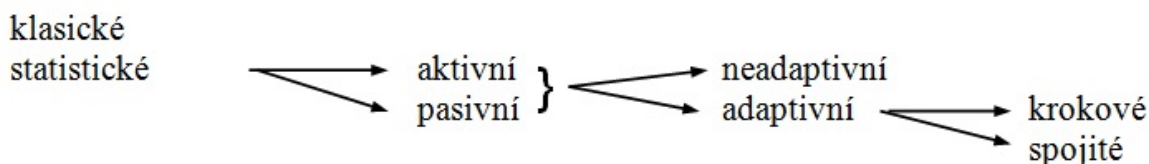


Jejich matematický popis vede na formulaci stochastických modelů. Zde je vhodné připomenout již dříve uvedenou skutečnost, že model deterministický je zvláštním případem modelu stochastického.

Pojmem *statistické identifikační metody* označujeme metody, kdy parametry jsou odhadovány z podmínky, aby vhodné kritérium hodnotící vztah průběhů výstupu reálné soustavy a výstupu modelu nabývalo extrému. Z matematického hlediska vede proces experimentální identifikace na řešení úlohy optimalizace parametrů. Hlavním matematickým aparátem potřebným k řešení této úlohy je teorie pravděpodobnosti, matematická statistika a teorie náhodných procesů. Patří sem metoda korelační analýzy, metoda nejmenších čtverců, zobecněná metoda nejmenších čtverců, metoda maximální věrohodnosti atd.

Rozdělení identifikačních metod může být znázorněno tímto schématem (obr. 6):





Obr. 6. Rozdělení metod identifikace

Aktivní a pasivní

Aktivní metody – při kterých přivádíme na vstup soustavy předem definované signály - šum, pseudonáhodný signál.

Pasivní metody – při kterých využíváme k identifikaci vstupní signál existující v provozních podmínkách soustavy.

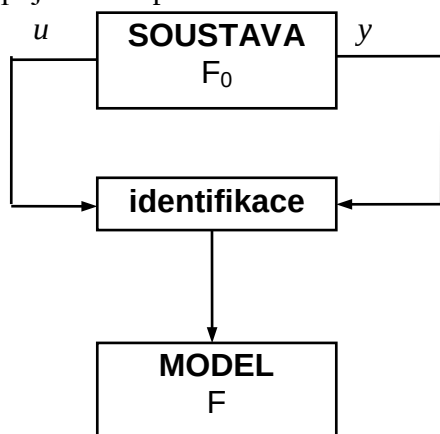
Neadaptivní a adaptivní

Neadaptivní metody explicitní (též metody otevřené smyčky vzhledem ke zjišťovaným parametrům nebo off-line metody). Ty umožňují odhad parametrů provedením dvou kroků:

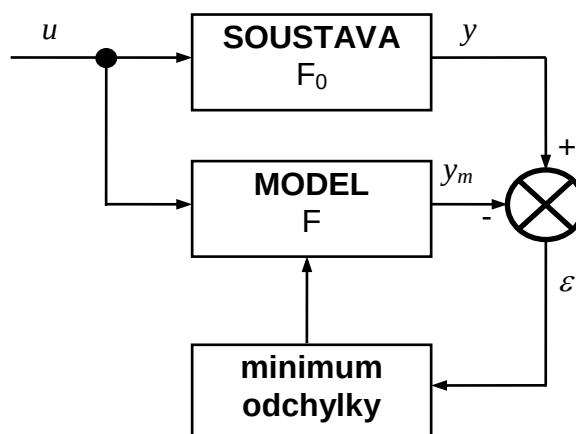
- provedení měření na soustavě,
- odhad hledané hodnoty parametrů $p_i(N)$ z celkového počtu N dat vyhodnocených záznamů vstupního signálu a odpovídající odezvy (obr. 7), kde je schematicky uvedeno spojení soustavy, identifikačního systému a modelu v případě aktivní, neadaptivní metody identifikace.

Metody adaptivní – *implicitní* (též metody uzavřené smyčky vzhledem k parametrům nebo on-line metody) umožňují odhad hledaných parametrů již v průběhu experimentu tak, že hodnoty parametrů $p_i(N)$ z dosud vyhodnocených N dat jsou určeny jako součet předcházejících hodnot $p_i(N-1)$ a korekci vypočtených z dvojice hodnot odpovídajících N -té pořadnici vstupního zkušební signálu a odezvy. Tyto metody umožňují identifikaci soustav v reálném čase. Na obr. 8 je uveden princip adaptivní identifikace. Výstup ze soustavy y a výstup z modelu y_m jsou porovnávány a je určován jejich rozdíl ε . Dále je vyhodnocováno kritérium vytvořené jako kvadrát tohoto rozdílu a automaticky nastavovány parametry modelu p_i tak, aby toto kritérium bylo minimalizováno.

Metody spojité nebo krokové – vlastní proces adaptivní identifikace může probíhat buď spojitě nebo po krocích.



Obr. 7. Neadaptivní metoda identifikace



Obr. 8. Adaptivní metoda identifikace



1.4 PROCES LINEARIZACE

Při matematickém popisu reálných zařízení zpravidla obdržíme nelineární matematické vztahy, které značně komplikují další využití výsledků.

Pro malé změny vstupních a výstupních signálů můžeme předpokládat, že vztah mezi nimi je lineární, tj. vyjádřitelný lineárními diferenciálními rovnicemi.

Je několik metod linearizace matematického popisu soustav:

- rozvoj nelineárního vztahu v řadu a využití pouze lineárních členů,
- linearizace popisu prvků, z kterých se soustava skládá,
- linearizace pomocí aproximace metodou nejmenších čtverců.

Na tomto místě vysvětlíme linearizaci dle bodu 1.

K rozvoji v řadu zpravidla využíváme Taylorova vzorce.

Za předpokladu, že $f(x)$ má v bodě x_0 derivaci n -tého řádu, lze pro funkci jedné proměnné psát:

$$f(x_0 + \Delta x) = f(x_0) + \frac{1}{1!} [f'(x)]_{x=x_0} \Delta x + \sum_{k=2}^{n-1} \frac{1}{k!} f^{(k)}(x) \cdot \Delta x^k + R_n \quad (3)$$

R_n je zbytek řady,
 Δx malá odchylka od rovnovážného stavu.

Obdobný rozvoj lze vytvořit i pro funkci více proměnných.

Při popisu soustavy se uplatňují pouze první dva členy na pravé straně rovnice, které tvoří lineární funkci.

Geometrickou interpretací této linearizace je pro jednu proměnnou aproximace tečnou v uvažovaném bodě, pro dvě proměnné aproximace zakřivené plochy tečnou rovinou.

Pro malé odchylky od pracovního bodu pro funkci $y = f(x)$ přibližně platí:

$$\Delta y = \left(\frac{df}{dx} \right)_{x=x_0} \Delta x = k \cdot x \quad (4)$$



2 PŘEDNÁŠKOVÝ TEXT SE VZTAHUJE K TĚMTO OTÁZKÁM

- Identifikace - je proces získávání matematického popisu různými metodami.
- Modely soustav dělíme a popisujeme z různých hledisek.
- Rozdělení identifikace na metody analytické a experimentální.
- Práce s modelem (popisem) vyžaduje jistá zjednodušení pro nelineární systémy je to proces – linearizace.



3 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] JANČÍKOVÁ, Z. *Teorie systémů*. Studijní opory. VŠB-TU Ostrava, 2012.
- [2] <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TS/index.htm>
- [3] BALÁTĚ, J. *Automatické řízení*. 2. přeprac. vyd., Praha: BEN, 2004. ISBN 80-7300-148-9.
- [4] HANUŠ, B., BALDA, M. *Základy technické kybernetiky*. 1. vyd., Liberec: Vysoká škola strojní a textilní, 1980.
- [5] KOTEK, Z., VYSOKÝ, P., ZDRÁHAL, Z. *Kybernetika*. Praha: SNTL, 1990.
- [6] TOMIS, L., HEGER, M., BALCOVÁ, J., KADLČÍK, I. *ASŘ TP v hutích - výpočetní a laboratorní cvičení*. 1. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská, 1991. ISBN 80-7078-079-7.
- [7] VÍTEČKOVÁ, M., VÍTEČEK, A. *Základy automatické regulace*. 1. vyd., Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2006. ISBN 80-248-1068-9.
- [8] VORÁČEK, R. *Automatizace a automatizační technika*. 2, Automatické řízení. 1. vyd., Brno: CP Books, 2005. ISBN 80-251-0796-5.

