

Experimentální identifikace regulovaných soustav

Cílem je zhotovení matematického modelu na základě informací získaných měření. Používá se množství metod. Výběr metody je důležitý, protože na něm závisí přesnost náhradního modelu. Základními metodami jsou:

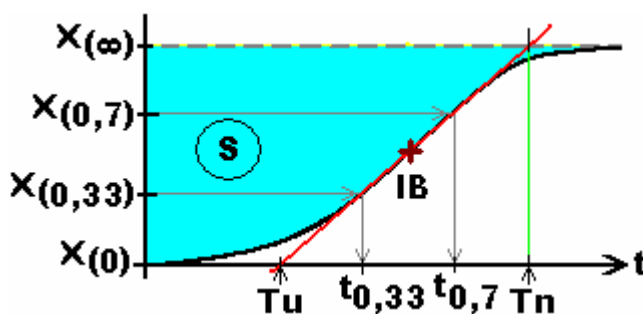
1. fyzikálně–matematická analýza na základě konstrukčních a fyzikálních dat soustavy,
2. vyhodnocování přechodových charakteristik,
3. vyhodnocování signálů obecných tvarů,
4. vyhodnocování frekvenčních charakteristik v komplexní rovině,
5. vyhodnocování frekvenčních charakteristik v log. souřadnicích
6. vyhodnocování náhodných signálů,
7. identifikace s adaptivním modelem.

Vyhodnocování přechodových charakteristik proporcionálních nekmitavých soustav

Na přechodové charakteristice se nalezne inflexní bod (bod zvratu, bod největší strmosti křivky, lokální maximum derivace funkce). V inflexním bodě se sestrojí tečna, která se protáhne tak, aby protínala hodnotu ustálené veličiny a hodnotu výchozí úrovně. Tím se určí časové konstanty T_u (doba průtahu) a T_n (doba náběhu). Součet obou dob dává dobu přechodu T_p .

$$T_p = T_u + T_n \quad (1)$$

Odečet dalších údajů, které vyžadují některé výpočty, jsou patrné na obr. 1.



Obr. 1. Přechodová charakteristika proporcionální soustavy

1. Velmi zhruba lze určit náhradní přenos ve formě setrvačného členu se zpožděním.

$$F_{(p)} = \frac{K}{T_n \cdot p + 1} \cdot e^{-T_u \cdot p} \quad (2)$$

Koeficient přenosu K pro jednotkovou skokovou změnu akční veličiny je dán ustálenou hodnotou na přechodové charakteristice.

$$K = X_{(\infty)} \quad (3)$$

Pokud vstupní skok akční veličiny U není jednotkový, pak je koeficient přenosu dán poměrem změny regulované veličiny X ke změně akční veličiny U v ustáleném stavu:

$$K = \frac{\Delta X}{\Delta U} = \frac{X_{(\infty)} - X_{(0)}}{U_{(100\%)} - U_{(0\%)}} \quad (4)$$

2. Trochu přesnější je náhradní přenos ve tvaru:

$$F_{(p)} = \frac{K}{T_1 \cdot p + 1} \cdot e^{-T_{d1} \cdot p} \quad (5)$$

pro který se časové konstanty vypočítají pomocí analytických vztahů:

$$T_1 = 1,245 \cdot (t_{(0,7)} - t_{(0,33)}) \quad (6)$$

$$T_{d1} = 1,498 \cdot t_{(0,33)} - 0,498 \cdot t_{(0,7)} \quad (7)$$

kde doby $t_{(0,7)}$ a $t_{(0,33)}$ jsou odečteny z přechodové charakteristiky pro 70 % a 33 % ustálené hodnoty $X_{(\infty)}$.

3. Ještě přesnější je náhradní přenos ve tvaru:

$$F_{(p)} = \frac{K}{(T_2 \cdot p + 1)^2} \cdot e^{-T_{d2} \cdot p} \quad (8)$$

pro který se časové konstanty vypočítají pomocí vztahů určených numerickými aproximacemi:

$$T_2 = 0,794 \cdot (t_{(0,7)} - t_{(0,33)}) \quad (9)$$

$$T_{d2} = 1,937 \cdot t_{(0,33)} - 0,937 \cdot t_{(0,7)} \quad (10)$$

4. Další metoda dávající přesnější výsledky má náhradní přenos ve tvaru:

$$F_{(p)} = \frac{K}{(T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1)} \cdot e^{-T_{d2} \cdot p} \quad (11)$$

pro který se časové konstanty vypočítají pomocí vztahů:

$$D_1 = 0,794(t_{(0,7)} - t_{(0,33)}) \quad (12)$$

$$T_{d2} = 1,937 \cdot t_{(0,33)} - 0,937 \cdot t_{(0,7)} \quad (13)$$

$$D_2 = \frac{S}{X_{(\infty)}} - T_{d2} \text{ kde } S \text{ je plocha nad křivkou} \quad (14)$$

$$T_1 = \frac{1}{2} \cdot (D_2 + \sqrt{D_2^2 - 4 \cdot D_1^2}) \quad (15)$$

$$T_2 = \frac{1}{2} \cdot (D_2 - \sqrt{D_2^2 - 4 \cdot D_1^2}) \quad (16)$$

musí ovšem platit:

$$D_2 \geq 2 \cdot D_1 \quad (17)$$

5. Strejcova metoda dává náhradní tvar i-tého řádu:

$$F_{(p)} = \frac{K}{(T_i \cdot p + 1)^i} \cdot e^{-T_{di} \cdot p} \quad (18)$$

Pomocí poměru s odhadnutým dopravním zpožděním T'_d dle vzorce:

$$\frac{T_u - T'_d}{T_n} \quad (19)$$

se určí nejbližší hodnota v tabulce 1., která určí řád setrvačnosti soustavy a opraví se odhad dopravního zpoždění.

$$A = \frac{T_u - T_{di}}{T_n} = \frac{T_u - T' - \Delta T'_d}{T_n} \quad (20)$$

$$T_{di} = T'_d + \Delta T'_d \quad (21)$$

a z dalších řádků tabulky (3. nebo 4.) se určí odpovídající konstanta T_i .

i	1	2	3	4	5	6
$A = \frac{T_u - T_{di}}{T_n}$	0	0,104	0,218	0,319	0,410	0,493
$B = \frac{T_u - T_{di}}{T_i}$	0	0,282	0,805	1,425	2,1	2,811
$C = \frac{T_n}{T_i}$	1	2,718	3,695	4,463	5,119	5,699

Tab. 1. Tabulka pro Strejcovu metodu identifikace soustav

6. Metoda aproximace přechodové charakteristiky vychází z odhadu polohy inflexního bodu, který leží na téměř přímkovém úseku charakteristiky. Je uvedena v [2] na straně 375. Svislá osa charakteristiky se musí procentuálně přecejchovat. Odhadne se poloha inflexního bodu a zhotoví se tečna. Tím se získá průsečík se svislou osou a hodnota τ_u . Podle velikosti τ_u se metoda dělí na dva postupy:

a) Pro $\tau_u \geq 0,1$ nebo $\frac{T_u}{T_n} \geq 0,1$ je náhradní přenos ve tvaru členu n-tého řádu se stejnými časovými

konstantami:

$$F_{(p)} = \frac{X_{(\infty)}}{\Delta U \cdot (T \cdot p + 1)^n} \quad (22)$$

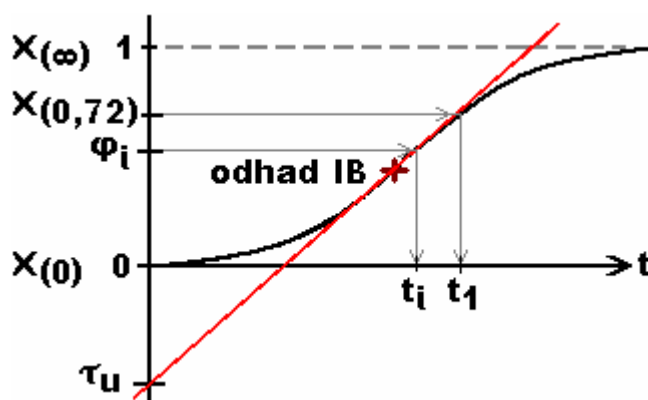
Kde ΔU je změna akční veličiny na vstupu soustavy. Z tabulky 2. se pro nejbližší hodnotu τ_u určí řád přenosu n. Pro určení řádu od 2 do 7 také platí přibližný výraz:

$$n \cong 10 \cdot \tau_u + 1 \quad n \in \langle 2; 7 \rangle \quad (23)$$

Hodnota φ_i odečtená z tabulky 2. pro určený řád udává skutečnou polohu inflexního bodu.

Skutečná poloha inflexního bodu určí jeho časovou souřadnici t_i , takže je možné určit hodnotu

časové konstanty:

$$T = \frac{t_i}{(n-1)} \quad (24)$$


Obr. 2. Způsob odečtení konstant τ_u a t_i

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
τ_u	0	0,104	0,218	0,319	0,410	0,493	0,570	0,642	0,709	0,773
φ_i	0	0,264	0,323	0,353	0,371	0,384	0,394	0,401	0,407	0,413

Tab. 2. Tabulka pro určení řádu a polohy IB

b) Pro $\tau_u \leq 0,1$ nebo $\frac{T_u}{T_n} \leq 0,1$ je náhradní přenos ve tvaru členu 2. řádu s různými časovými

konstantami:

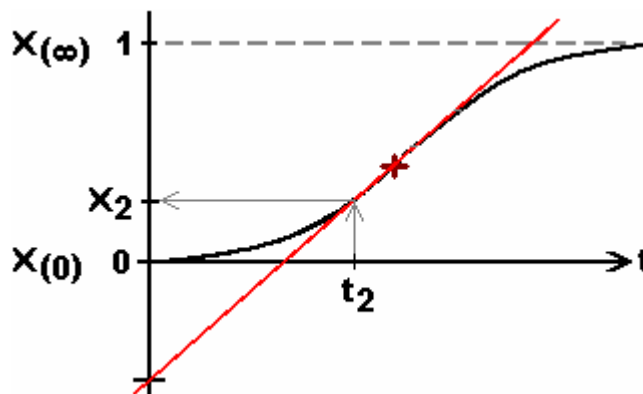
$$F_{(p)} = \frac{X_{(\infty)}}{\Delta U \cdot (T_1 \cdot p + 1) \cdot (T_2 \cdot p + 1)} \quad (25)$$

Z charakteristiky se dále odečte hodnota t_1 která je určená polohou bodu při 72 % ustálené hodnoty ($x_{(0,72)}$). Konstanty se vypočítají následujícím postupem:

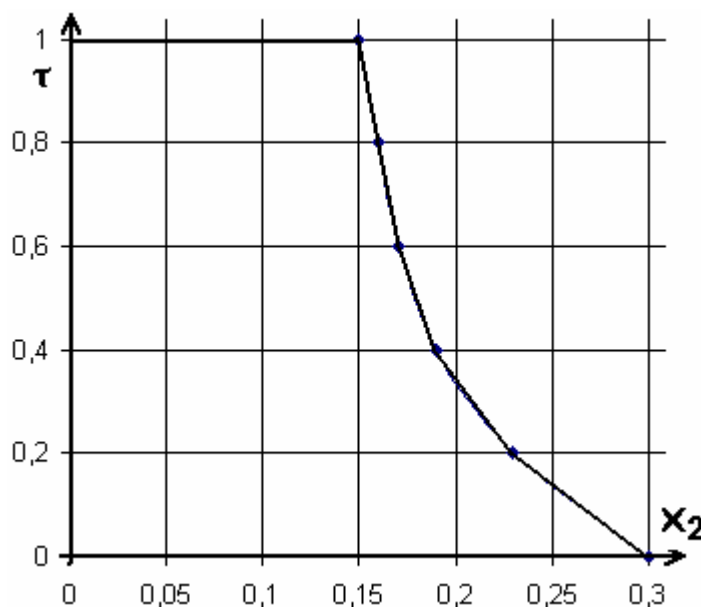
dosazením t_1 se vypočítá t_2 :

$$t_2 = 0,3574 \cdot \frac{t_1}{1,2564} \quad (26)$$

pro t_2 se odečte podle obr. 3 z přechodové charakteristiky X_2 a pomocí nomogramu na obr. 4 se odečte hodnota τ , což je poměr časových konstant přenosu.



Obr. 3. Způsob odečtení konstanty X_2



Obr. 4. Nomogram pro určení τ

Pomocí údajů t_1 a τ se časové konstanty přenosu vypočítají:

$$T_2 = \frac{t_1}{1,2564 \cdot (1 + \tau)} \quad (27)$$

$$T_1 = \tau \cdot T_2 \quad (28)$$

7. Metoda aproximace několika články se stejnými časovými konstantami.

Je použitelná pokud je poměr: $\frac{T_u}{T_n} \geq 0,1$ (29)

Náhradní přenos má tvar: $F_{(p)} = \frac{X_{(\infty)}}{\Delta U \cdot (T \cdot p + 1)^n}$ (30)

Metoda vychází z konstant T_u a T_n odečtených na přechodové charakteristice a jejich poměru.

n	2	3	4	5
$A = \frac{T_n}{T}$	2,718	3,695	4,463	5,119
$B = \frac{T_u}{T}$	0,282	0,805	1,425	2,1
$C = \frac{T_u}{T_n}$	0,104	0,218	0,319	0,41
$D = \frac{t_i}{T}$	1	2	3	4
X_i	0,264	0,323	0,353	0,371

Tab. 3. Tabulka pro metodu aproximace několika články

Pro poměr $C = \frac{T_u}{T_n}$ se určí řád n aproximační náhradní funkce. Po určení řádu se určí poloha X_i

skutečného inflexního bodu na svislé ose. Pro skutečný inflexní bod se odečte jeho časová souřadnice t_i . Nyní se vypočítá časová konstanta T třemi vzorci:

$$T_1 = \frac{t_i}{D} \quad (31)$$

$$T_2 = \frac{T_u}{B} \quad (32)$$

$$T_3 = \frac{T_n}{A} \quad (33)$$

a z těchto tří výsledků se vypočítá aritmetický průměr:

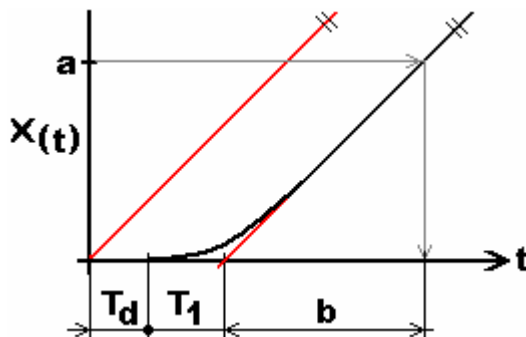
$$T = \frac{1}{3} \cdot (T_1 + T_2 + T_3) \quad (34)$$

Vyhodnocování přechodových charakteristik proporcionálních kmitavých soustav

Identifikace těchto soustav je náročnější. Vychází z přenosu kmitavého členu doplněného o dopravní zpoždění. Z přechodové charakteristiky se kromě ustálené hodnoty odečítají i amplitudy překmitů, jejich úhlová frekvence a pomocí nich vypočítává několik konstant, ze kterých se určuje průměrná hodnota dopravního zpoždění, časového zpoždění a poměrného tlumení.

Vyhodnocování přechodových charakteristik integračních nekaitavých soustav

8. Metoda aproximace integračního členu s dopravním zpožděním. Na přechodové charakteristice se odečtou hodnoty dopravního zpoždění, průsečík směrnice s časovou osou a nárůst za určitý čas podle vyobrazení na obr. 4.



Obr. 4. Přechodová charakteristika integrační soustavy

Náhradní přenos pro integrační soustavu s dopravním zpožděním a setrvačností má tvar:

$$F_{(p)} = \frac{K}{p \cdot (T_1 \cdot p + 1)} \cdot e^{-T_d \cdot p} \quad (35)$$

kde se konstanty a , b , T_1 a T_d odečtou z charakteristiky a konstanta K se vypočítá pomocí vztahu:

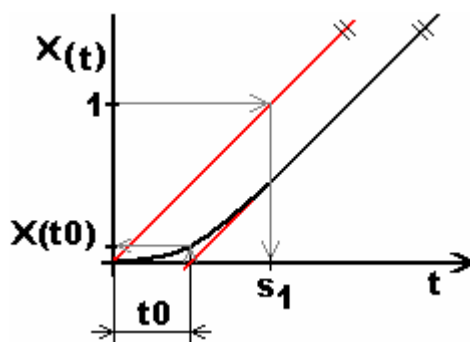
$$K = \frac{a}{b} \quad (36)$$

9. Metoda aproximace integračního členu vyššího řádu z [2] na straně 378.

Náhradní přenos má tvar:

$$F_{(p)} = \frac{1}{s_1 \cdot p \cdot (T \cdot p + 1)^n} \quad (37)$$

Z přechodové charakteristiky se odečtou t_0 , $X_{(t_0)}$ a s_1 podle obr. 5. (případně a , b podle obr. 4.)



Obr. 5. Odečtení konstant t_0 a $X_{(t_0)}$

Z konstant t_0 , $X_{(t_0)}$, směrnice asymptoty K a tabulky 4. se určí řád přenosu.

$$K = \frac{1}{s_1} = \frac{a}{b} \quad (38)$$

$$A = \frac{X_{(t_0)}}{K \cdot t_0} \quad (39)$$

n	1	2	3	4	5	6
A	0,368	0,271	0,224	0,195	0,175	0,161

Tab. 4. Tabulka pro určení řádu

Časová konstanta se vypočítá:
$$T = \frac{t_0}{n} \quad (40)$$

Vyhodnocování přechodových charakteristik integračních kmitavých soustav

Stejně jako u proporcionálních kmitavých soustav je identifikace těchto soustav náročnější.

Literatura:

- [1] Balátě, Jaroslav: Automatické řízení, BEN, Praha 2003, ISBN 80-7300-020-2
- [2] Švec, Jan; Kotek Zdeněk: Teorie automatického řízení, SNTL, Praha 1969, ISBN 04-007-69