

Kapitola 5

Póly a nuly prenosových funkcií systémov

Cieľom cvičenia je zoznámiť sa s vplyvom pólov a núl na dynamiku systémov.

5.1 Prehľad pojmov

Póly – korene menovateľa prenosu.

Nuly – korene čitateľa prenosu.

Rád dynamického systému – stupeň polynómu v menovateli prenosu.

Stabilita – dynamický systém je stabilný, ak všetky jeho póly majú zápornú reálnu časť.

Systém je na hranici stability, ak má alebo jeden reálny pól nulový alebo dvojicu komplexných pólov s nulovou reálnou časťou (a ostatné póly so zápornou reálnou časťou). Systém je nestabilný, ak má aspoň jeden pól s kladnou reálnou časťou.

Stabilná nula (pól) – nula (pól) so zápornou reálnou časťou.

Fázovosť – systém je minimálne fázový, ak všetky jeho nuly majú zápornú reálnu časť.

V opačnom prípade je neminimálne fázový. Ak je v čitateli prenosu len konštanta, potom je dynamický systém minimálne fázový.

Periodicita – systém je periodický (kmitavý), ak má komplexné póly. Ak má systém len reálne póly, potom je aperiodický (nekmitavý).

Prenos – všeobecný tvar prenosu systému s 1 vstupom a 1 výstupom je

$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b_ms^m + \dots + b_1s + b_0}{a_ns^n + \dots + a_1s + a_0} \quad (5.1)$$

Statické zosilnenie – je definované ako b_0/a_0 (počíta sa pre stabilné systémy).

Prenos v tvare pólov a núl – je opísaný nasledovne

$$G(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = k \frac{(s - s_{c1})(s - s_{c2}) \dots (s - s_{cm})}{(s - s_1)(s - s_2) \dots (s - s_n)} \quad (5.2)$$

kde s_1, \dots, s_n sú póly a s_{c1}, \dots, s_{cm} sú nuly.

Charakteristická rovnica – je to rovnica $A(s) = 0$.

Jednotkový impulz – impulz nekonečnej výšky a nulovej šírky s jednotkovou plochou.

Impulzná funkcia – odozva systému na jednotkový impulz. Impulzná funkcia je deriváciou prechodovej funkcie.

Impulzná charakteristika – graf impulznej funkcie. Impulzná charakteristika je deriváciou prechodovej charakteristiky.

5.2 Súvislosti medzi prechodovými charakteristikami a umiestnením pólov a núl

Na základe analýzy dynamických vlastností systémov môžeme vysloviť nasledovné tvrdenia:

- Ak sa prechodová charakteristika ušľahuje na nejakej nenulovej hodnote Z , systém je stabilný (všetky póly majú zápornú reálnu časť) a jeho zosilnenie je Z . V opačnom prípade je systém na hranici stability alebo nestabilný a niektoré póly majú nulovú alebo kladnú reálnu časť.
- Zosilnenie systému sa dá vypočítať z prenosu, ak dosadíme za argument Laplaceovej transformácie $s = 0$.
- Ak sa prechodová charakteristika ušľahuje na nulovej hodnote, systém obsahuje v čitateli aspoň jednu nulu $s_c = 0$, má derivačné vlastnosti.
- Ak prechodová charakteristika kmitá, systém obsahuje aj komplexne združené póly. Opačné tvrdenie však nemusí platiť.
- Ak sa prechodová charakteristika najprv vychýli na opačnú stranu, ako sa nakoniec ustáli, v čitateli prenosu systému sa vyskytuje nestabilná nula $s_c > 0$. V prípade, že prechodová charakteristika sa vychýli viackrát na opačnú stranu, počet vychýlení udáva počet nestabilných núl.
- Ak potrebujeme priradiť viacerým prechodovým charakteristikám prenosy, tak si všimame tieto vlastnosti: stabilná–nestabilná, minimálne–neminimálne fázová, aperiódická (nekmitavá)–periódická (kmitavá). To isté aplikujeme na prenosy. Takto sa nám výrazne zjednoduší ich následné priradenie.
- Polynóm prvého a druhého rádu má záporné korene (je stabilný), ak má iba kladné koeficienty. Ak má polynóm vyššieho rádu niektoré koeficienty záporné, potom má aj kladné korene (je nestabilný).
- Pre výpočet začiatočných alebo konečných hodnôt výstupu dynamického systému, prípadne jeho derivácií používame vety o začiatočnej a konečnej hodnote na základe obrazu výstupu $Y(s)$. Pri výpočte konečnej hodnoty musí byť dynamický systém stabilný.

5.3 Riešené príklady

Príklad 5.3.1:

Majme dynamický systém opísaný prenosom

$$G(s) = \frac{s-1}{s^2+3s+2}$$

1. Určte jeho póly a nuly a posúďte stabilitu, periodicitu a fázovosť.
2. Vypočítajte limitné hodnoty výstupu zo systému $y(0)$, $y'(0)$, $y(\infty)$, $y'(\infty)$, ak je na jeho vstupe jednotkový skok.
3. Vykreslite na počítači prechodovú charakteristiku a porovnajte jej limitné hodnoty s vypočítanými.

Riešenie:

1. Póly: $s_1 = -2$, $s_2 = -1$, nuly $s_{c1} = 1$. Systém je stabilný, aperiodický (nekmitavý) a neminimálne fázový.
2. Limitné hodnoty pri jednotkovom skoku vstupnej veličiny $U(s) = 1/s$:

$$Y(s) = G(s)U(s) = \frac{s-1}{s^2+3s+2} \frac{1}{s}$$

$$\begin{aligned}\lim_{t \rightarrow 0} y(t) &= \lim_{s \rightarrow \infty} sY(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} G(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{s-1}{s^2+3s+2} \\ &= \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{1/s - 1/s^2}{1 + 3/s + 2/s^2} = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lim_{t \rightarrow 0} y'(t) &= \lim_{s \rightarrow \infty} s^2 Y(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} sG(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{s^2 - s}{s^2 + 3s + 2} \\ &= \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{1 - 1/s}{1 + 3/s + 2/s^2} = 1\end{aligned}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sY(s) = \lim_{s \rightarrow 0} G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s-1}{s^2+3s+2} = -0,5$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y'(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s^2 Y(s) = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = 0$$

Z vypočítaných hodnôt môžeme dedukovať, že PCH začína v nule stúpajúc (hodnota derivácie v nule je kladná) a končí na hodnote $-0,5$. V nekonečne je ustálená, pretože hodnota derivácie výstupu je nulová.

3. Overenie správnosti riešenia na počítači:

Póly: `roots([1 3 2])`,

Graf pólov a núl: `pzmap([1 -1], [1 3 2])`,

Prechodová charakteristika: `step([1 -1], [1 3 2])`.

Výsledky získané pomocou MATLABu sú znázornené na obr. 5.1.

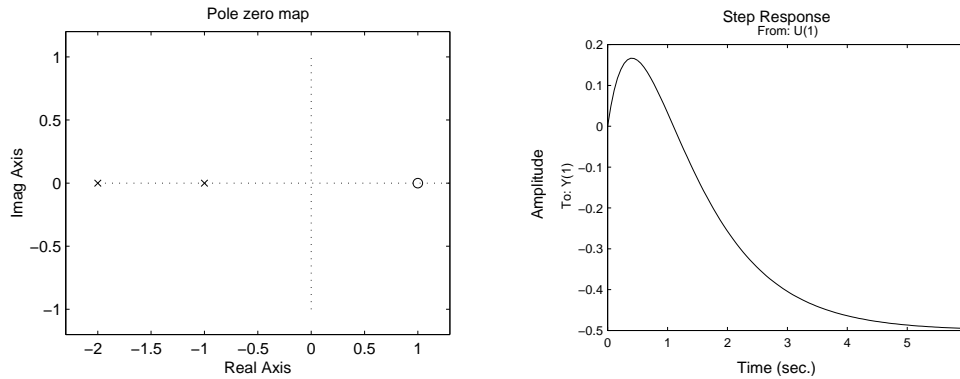
Príklad 5.3.2:

Majme dynamický systém opísaný prenosom

$$G(s) = \frac{1}{s+1}$$

1. Určte póly a nuly.
2. Určte stabilitu, fázovosť a kmitavosť systému.

KAPITOLA 5. PÓLY A NULY PRENOSOVÝCH FUNKCIÍ SYSTÉMOV



Obr. 5.1 Poloha pólov a núl (vľavo), prechodová charakteristika (vpravo) pre príklad 5.3.1. Póly sú označené x a nuly o.

3. Nakreslite približnú prechodovú charakteristiku. Na počítači ju skontrolujte a zároveň vykreslite aj impulznú charakteristiku.

Riešenie:

1. Póly: $s_1 = -1$, nuly nie sú.
2. Systém je stabilný, pretože má pól so zápornou reálnou časťou. Je nekmitavý, pretože pól je reálny a je minimálne fázový, pretože nemá žiadne nuly.
3. Keďže je systém stabilný, na približné určenie jeho PCH použijeme vetu o počiatkovej a koncovkej hodnote výstupu $Y(s)$, ak do systému vchádza vstup $U(s) = 1/s$. Platí:

$$\begin{aligned}
 Y(s) &= G(s)U(s) = \frac{1}{s(s+1)} \\
 \lim_{t \rightarrow 0} y(t) &= \lim_{s \rightarrow \infty} sY(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} G(s) = 0 \\
 \lim_{t \rightarrow 0} y'(t) &= \lim_{s \rightarrow \infty} s^2 Y(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} sG(s) = 1 \\
 \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) &= \lim_{s \rightarrow 0} sY(s) = \lim_{s \rightarrow 0} G(s) = 1 \\
 \lim_{t \rightarrow \infty} y'(t) &= \lim_{s \rightarrow 0} s^2 Y(s) = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = 0
 \end{aligned}$$

Z vypočítaných hodnôt môžeme dedukovať, že PCH začína v nule so stúpaním (smernicou 1) a v čase $t \rightarrow \infty$ sa ušľahuje (je konštantná) na hodnote 1. Keďže systém má iba záporný reálny pól, je PCH aperiodická. Keďže je systém prvého rádu, nemá PCH inflexný bod.

Ak by ani tieto údaje nestačili na konštrukciu PCH, potom je potrebné spätnou Laplaceovou transformáciou $Y(s)$ získať časový priebeh $y(t)$. Pre náš prípad by výsledok bol

$$y(t) = 1 - e^{-t}$$

Do tohto vzťahu môžeme dosadiť rôzne hodnoty t a získať tak hodnoty výstupu v príslušných časoch.

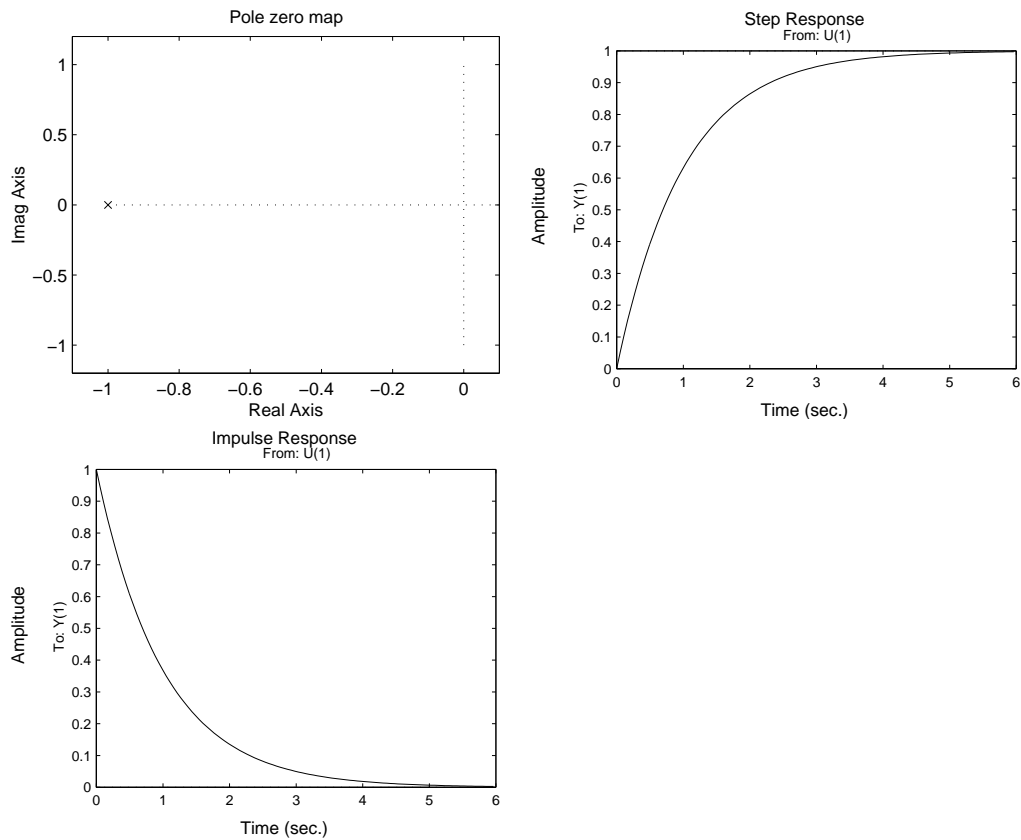
Overenie správnosti na počítači:

Póly: `roots([1 1])`,

5.3. RIEŠENÉ PRÍKLADY

Graf pólov a núl: `pzmap([1], [1 1])`,
Prechodová charakteristika: `step([1], [1 1])`,
Impulzná charakteristika: `impulse([1], [1 1])`.

Výsledky sú znázornené na obr. 5.2.



Obr. 5.2 Poloha pólov a núl (vľavo hore), prechodová charakteristika (vpravo hore) a impulzná charakteristika (dole) pre príklad 5.3.2. Póly sú označené x a nuly o.

Príklad 5.3.3:

Majme systém s prenosom

$$G(s) = \frac{s-1}{s+2}$$

1. Určte póly a nuly.
2. Určte limitné hodnoty výstupu zo systému $y(0)$, $y'(0)$, $y(\infty)$, $y'(\infty)$, ak je na vstupe jednotkový skok.
3. Vykreslite na počítači prechodovú a impulznú charakteristiku a porovnajte limitné hodnoty s vypočítanými.

Riešenie:

1. Póly: $s_1 = -2$, nuly $s_{c1} = 1$. Systém je stabilný, aperiodický (nekmitavý) a neminimálne fázový.

KAPITOLA 5. PÓLY A NULY PRENOSOVÝCH FUNKCIÍ SYSTÉMOV

2. Limitné hodnoty pri jednotkovom skoku $U(s) = 1/s$:

$$\begin{aligned} Y(s) &= G(s)U(s) = \frac{s-1}{s+2} \frac{1}{s} \\ \lim_{t \rightarrow 0} y(t) &= \lim_{s \rightarrow \infty} sY(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} G(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{s-1}{s+2} = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{1-1/s}{1+2/s} = 1 \\ \lim_{t \rightarrow 0} y'(t) &= \lim_{s \rightarrow \infty} s^2 Y(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} sG(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{s^2-s}{s+2} = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{1-1/s}{1/s+2/s^2} = \infty \\ \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) &= \lim_{s \rightarrow 0} sY(s) = \lim_{s \rightarrow 0} G(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{s-1}{s+2} = -0,5 \\ \lim_{t \rightarrow \infty} y'(t) &= \lim_{s \rightarrow 0} s^2 Y(s) = \lim_{s \rightarrow 0} sG(s) = 0 \end{aligned}$$

Z vypočítaných hodnôt môžeme dedukovať, že PCH začína v jednotke a končí na hodnote $-0,5$. V nekonečne je ustálená, pretože hodnota derivácie výstupu je nulová. Hodnoty derivované charakterizujú impulznú charakteristiku, ktorá by mala začínať v nekonečne a ustalať sa na nule.

3. Overenie správnosti na počítači:

Póly: `roots([1 2])`,
 Graf pólov a núl: `pzmap([1 -1], [1 2])`,
 Prechodová charakteristika: `step([1 -1], [1 2])`.
 Impulzná charakteristika: `impulse([1 -1], [1 2])`.

Výsledky sú znázornené na obr. 5.3. Z impulznej charakteristiky vidíme, že je určitý rozpor medzi vypočítanou a simulovanou hodnotou derivácie v čase nula. Dôvodom je skutočnosť, že výstupná veličina $y(t)$ v čase $t = 0$ nie je spojitá. Do času nula bola jej hodnota na základe definície Laplaceovej transformácie nulová a v čase nula sa skokovo zmenila na hodnotu 1. Preto je derivácia nespojitá, t.j. iná zľava a iná sprava. Hodnotu derivácie zľava $y'(0_-)$ vypočítame z vety o počiatočnej hodnote $y'(0)$. Hodnotu derivácie sprava $y'(0_+)$ získame tak, že vypočítame prechodovú funkciu, zderivujeme ju a dosadíme $t = 0$.

To, že graf prechodovej charakteristiky bude nespojitý v čase nula, zistíme na základe tvaru prenosu, v ktorom je *stupeň čitateľa rovný stupňu menovateľa*.

Príklad 5.3.4:

Majme systém s prenosom $G(s)$ so vstupom $U(s)$ a výstupom $Y(s)$ u ktorého poznáme umiestnenie pólov a núl (obr. 5.4 vľavo) a jeho prechodovú charakteristiku (obr. 5.4 vpravo). Na základe týchto informácií určite:

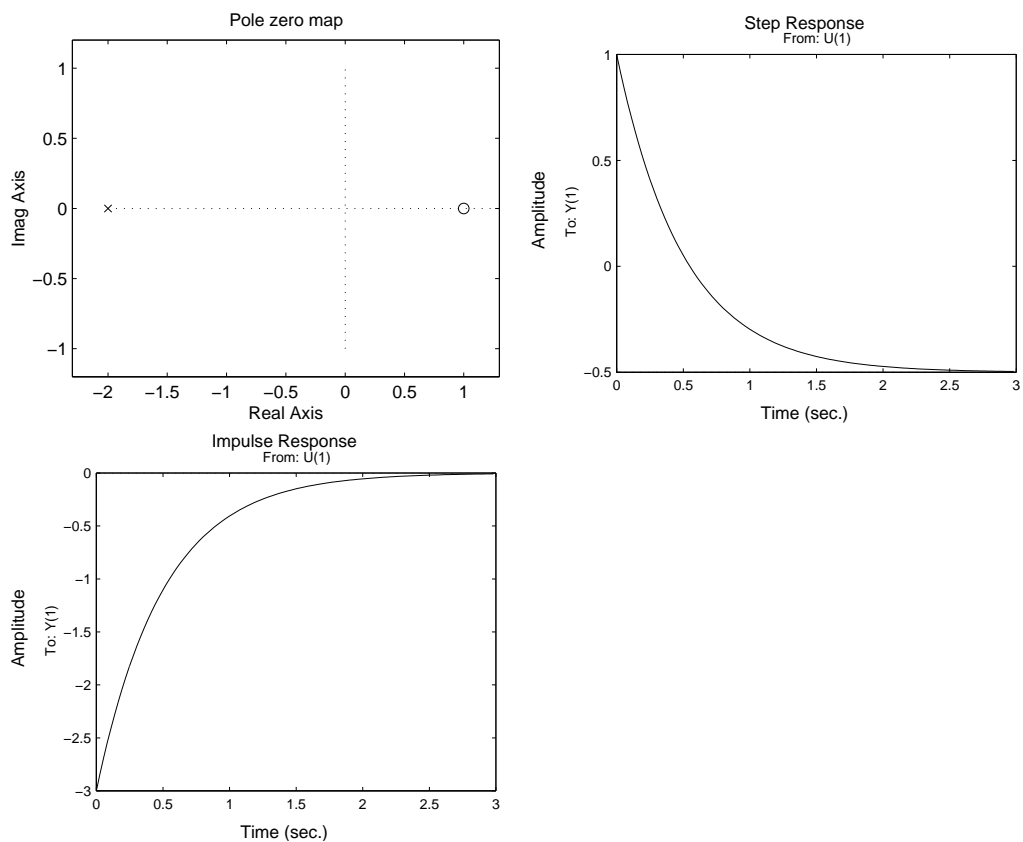
1. stabilitu systému, fázovosť,
2. prenos $G(s)$,
3. hodnotu $y'(0)$ na prechodovej charakteristike.

Riešenie:

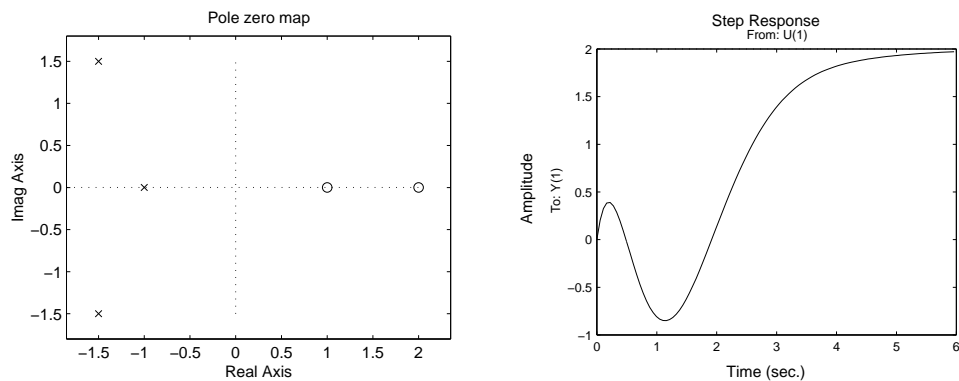
Z grafu pólov a núl zistíme póly $s_1 = -1$, $s_{2,3} = -1,5 \pm 1,5i$ a nuly $s_{c1} = 1$, $s_{c2} = 2$.

1. Keďže všetky póly majú zápornú reálnu časť, systém je stabilný. Tomu nasvedčovala aj prechodová charakteristika, ktorá sa ustáľuje na hodnote $\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = 2$. Keďže má systém dve nestabilné nuly, je neminimálne fázový, čo vidíme aj z prechodovej charakteristiky. Táto sa prvýkrát vychýli do kladných hodnôt a druhýkrát do záporných, aby sa nakoniec ustálila na kladnej hodnote 2.

5.3. RIEŠENÉ PRÍKLADY



Obr. 5.3 Poloha pólov a núl (vľavo hore), prechodová charakteristika (vpravo hore) a impulzná charakteristika (dole) pre príklad 5.3.3.



Obr. 5.4 Systém opísaný polohou pólov a núl (vľavo) a prechodovou charakteristikou (vpravo)

KAPITOLA 5. PÓLY A NULY PRENOSOVÝCH FUNKCIÍ SYSTÉMOV

2. Prenos zapísaný pomocou pólov a núl je podľa rovnice (5.2):

$$G(s) = k \frac{(s-1)(s-2)}{(s+1)(s+1,5+1,5i)(s+1,5-1,5i)} = k \frac{(s-1)(s-2)}{(s+1)(s^2+3s+4,5)}$$

pre výpočet k použijeme graf prechodovej charakteristiky a $\lim_{t \rightarrow \infty} y(t)$. Platí

$$Y(s) = G(s)U(s) = G(s)\frac{1}{s}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sY(s) = \lim_{s \rightarrow 0} G(s) = k \frac{(-1)(-2)}{4,5} = 2 \Rightarrow k = 4,5$$

Hľadaný prenos má tvar

$$G(s) = \frac{4,5s^2 - 13,5s + 9}{s^3 + 4s^2 + 7,5s + 4,5}$$

Výsledok si môžeme overiť na počítači príkazmi:

```
cit=[4.5 -13.5 9]
men=[1 4 7.5 4.5]
pzmap(cit, men)
step(cit, men)
```

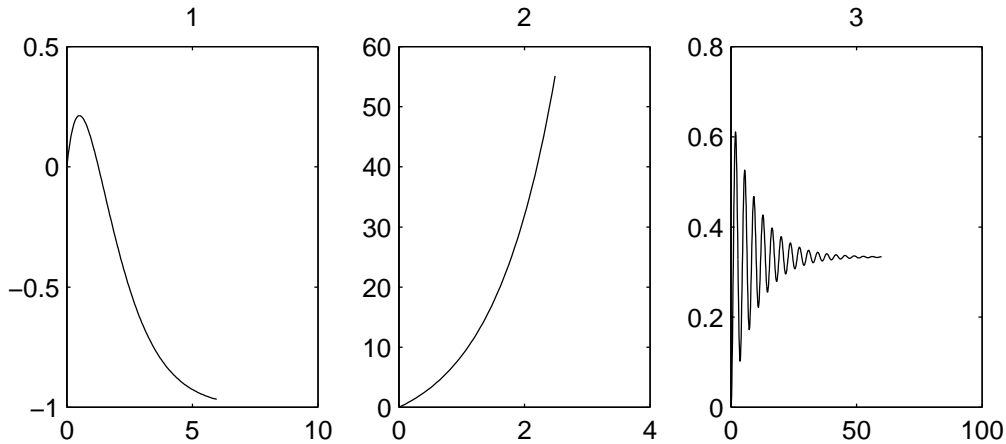
3. Hodnotu derivácie prechodovej charakteristiky v počiatku vypočítame na základe vety o počiatočnej hodnote

$$\lim_{t \rightarrow 0} y'(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} s^2 Y(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} sG(s) = 4,5$$

Z tejto hodnoty môžeme aj bez znalosti tvaru PCH určiť, že v čase $t = 0$ PCH stúpa.

Príklad 5.3.5:

Priradte prechodovým charakteristikám na obr. 5.5 prenosy. Vysvetlite svoje závery.



Obr. 5.5 Prechodové charakteristiky pre príklad 5.3.5.

Návod: Pre každú PCH posúďte, či je stabilná, na hranici stability alebo nestabilná; či je minimálne alebo neminimálne fázová; či je kmitavá alebo nie. Potom

5.4. ÚLOHY

odhadnite limitné hodnoty $y(\infty)$ z grafu a porovnajete s limitnými hodnotami vypočítanými pomocou prenosov.

$$\begin{array}{lll} \text{a)} & G(s) = \frac{1}{s+1}, & \text{b)} & G(s) = \frac{s-1}{s^2+2s+1}, & \text{c)} & G(s) = \frac{10}{s^2+6s+4}, \\ \text{d)} & G(s) = \frac{s}{s^2+1}, & \text{e)} & G(s) = \frac{5}{s-1}, & \text{f)} & G(s) = \frac{1}{s^2+1}, \\ \text{g)} & G(s) = \frac{1}{s(s^2+1)}, & \text{h)} & G(s) = \frac{1}{s^2+0,2s+3}. \end{array}$$

Riešenie:

Na základe PCH môžeme o dynamických systémoch tvrdiť nasledovné:

	vlastnosti	$y(\infty)$
1	stabilný, aperiodický, neminimálne fázový	-1
2	nestabilný, aperiodický	∞
3	stabilný, kmitavý	$\approx 0,33$

Z prenosov určíme nasledovné vlastnosti. Komplexné korene majú prenosy d), f), g) a h), ale d), f), g) sú na hranici stability, pretože reálne časti koreňov sú nulové. To by viedlo k nestabilným PCH. Z toho vyplýva, že prenosu h) patrí PCH v grafe 3. Neminimálne fázový je prenos b) a d). Výstup $y(\infty)$ prenosu d) sa ale ustáľuje na nule, takže prenosu b) patrí PCH v grafe 1. Nestabilné, alebo na hranici stability sú prenosy d), e), f) a g). Keďže d), f), g) majú komplexné korene, mali by kmitavý priebeh. Prenosu e) teda patrí PCH v grafe 2.

Výpočet limitných hodnôt $y(\infty)$ u nájdených prenosov iba potvrdí naše zistenia.

5.4 Úlohy

Oboznámte sa so vzťahom medzi pólmi a nulami, prenosmi a prechodovými charakteristikami základných typov dynamických systémov:

- systém prvého rádu:

$$G(s) = \frac{Z}{Ts+1} \quad (5.3)$$

- systém druhého rádu:

$$G(s) = \frac{Z}{T^2s^2 + 2\zeta Ts + 1} \quad (5.4)$$

pre prípady: $\zeta = 1,5$; $\zeta = 1$; $\zeta = 0,4$; $\zeta = 0$; $\zeta = -0,4$; $\zeta = -1,5$.

- systém s integračnými vlastnosťami:

$$G(s) = \frac{1}{Ts} \quad (5.5)$$

- neminimálne fázový systém (nestabilná nula):

$$G(s) = \frac{-b_1s+1}{T^2s^2+2Ts+1}, \quad b_1 > 0 \quad (5.6)$$

KAPITOLA 5. PÓLY A NULY PRENOSOVÝCH FUNKCIÍ SYSTÉMOV

Pre všetky všeobecne uvedené prenosy a pre zadané hodnoty parametrov: Z , T , b_1 zostavte tabuľku obsahujúcu:

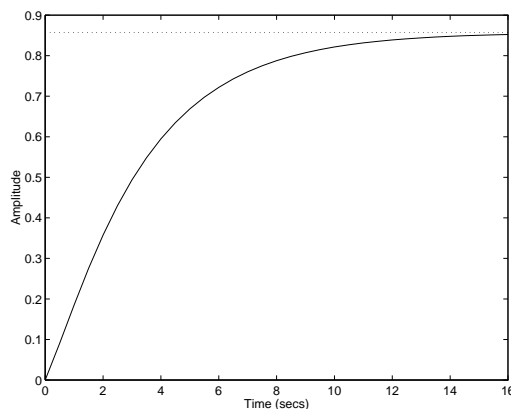
1. konkrétne prenosy,
2. číselné hodnoty pólov a núl pre dané prenosy,
3. určenie stability, periodicity a fázovosti dynamických systémov opísaných danými prenosmi,
4. limitné hodnoty výstupov $y(\infty)$ za predpokladu jednotkových skokových funkcií na vstupoch dynamických systémov,
5. približný tvar prechodovej charakteristiky každého dynamického systému.

5.5 Neriešené príklady

Príklad 5.5.1:

Prenos systému s prechodovou charakteristikou na obrázku 5.6 je

1. $G(s) = \frac{3s + 6}{18s^2 + 27s + 7}$
2. $G(s) = \frac{3s - 6}{18s^2 + 27s + 7}$
3. $G(s) = \frac{3s + 7}{18s^2 + 27s + 6}$
4. $G(s) = \frac{3s - 7}{18s^2 + 27s + 6}$
5. žiadna z predošlých odpovedí nie je správna



Obr. 5.6 Prechodová charakteristika pre príklad 5.5.1.

Riešenie:

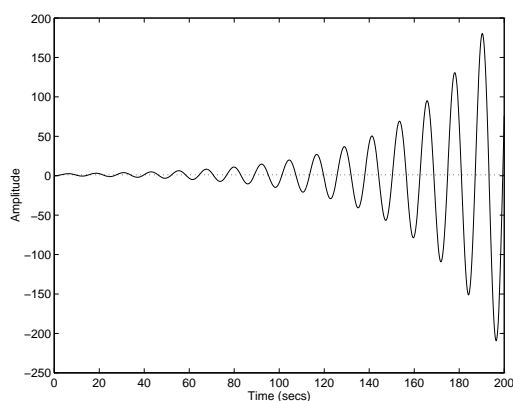
1

Príklad 5.5.2:

Prenos systému s prechodovou charakteristikou na obrázku 5.7 je

5.5. NERIEŠENÉ PRÍKLADY

1. $G(s) = \frac{3s + 5}{18s^2 + 27s + 7}$
2. $G(s) = \frac{3s - 5}{18s^2 + 27s + 7}$
3. $G(s) = \frac{3s + 7}{18s^2 + 27s + 17}$
4. $G(s) = \frac{3s - 7}{18s^2 + 27s + 17}$
5. žiadna z predošlých odpovedí nie je správna



Obr. 5.7 Prechodová charakteristika pre príklad 5.5.2.

Riešenie:

5

Príklad 5.5.3:

Priradte prenosom zodpovedajúce prechodové charakteristiky z obr. 5.8.

a) $G(s) = \frac{1}{s(s+1)}$, b) $G(s) = \frac{s}{s^2 + 0,5s + 1}$.

Riešenie:

a-1, b-2

Príklad 5.5.4:

Priradte prechodovým charakteristikám na obr. 5.9 prenosy.

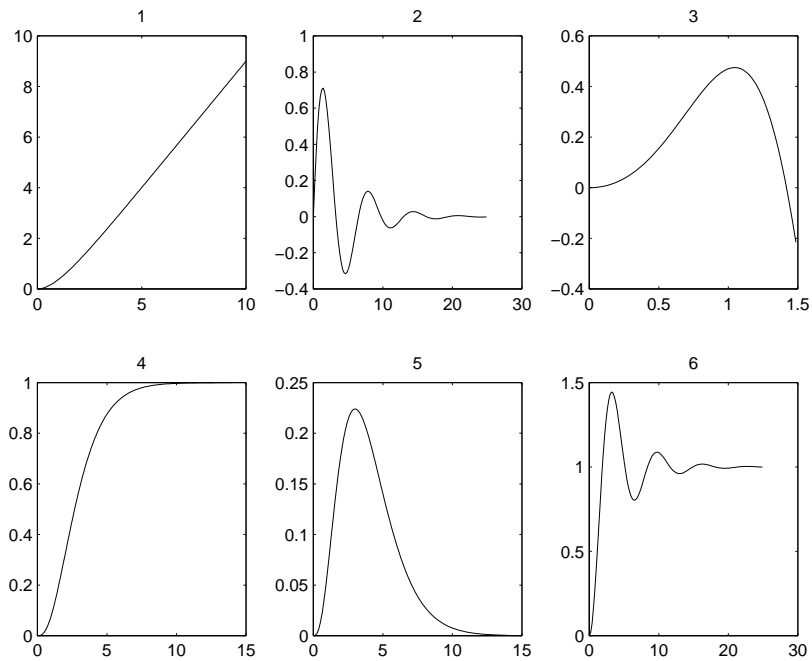
a) $G(s) = s$, b) $G(s) = 1$, c) $G(s) = \frac{s}{s^2 + 1}$,

d) $G(s) = \frac{1}{s^2 + s + 1}$, e) $G(s) = \frac{1}{s + 1}$.

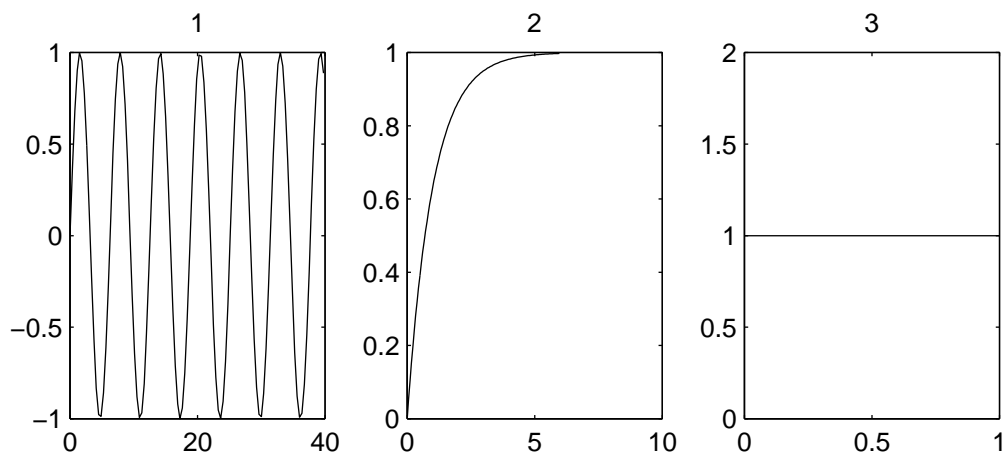
Riešenie:

1-c, 2-e, 3-b.

KAPITOLA 5. PÓLY A NULY PRENOSOVÝCH FUNKCIÍ SYSTÉMOV



Obr. 5.8 Prechodové charakteristiky pre príklad 5.5.3.



Obr. 5.9 Prechodové charakteristiky pre príklad 5.5.4.

5.6 MATLAB: príkazy k problematike

Označenie: premenné *nula*, *pol* sú vektory, premenné *p*, *citatel*, *menovatel* sú polynómy.

korene polynómu `roots(p)`,

graf pólov a núl - `pzmap(citatel, menovatel)`, póly v grafe sú označené *x* a nuly *o*,

prechodová charakteristika `step(citatel, menovatel)`,

impulzná charakteristika `impulse(citatel, menovatel)`,

transformácia prenosu `[cit,men]=zp2tf(nula,pol,k)` - z tvaru pólov a núl do polynómov $B(s)$, $A(s)$ (viď (5.2)), `[nula,pol,k]=tf2zp(cit,men)` - naopak.

V MATLABe 5 sa na základe vytvorenia systému (prenosu) konštrukciami `tf`, `zpk` zjednodušujú ostatné príkazy.

vytvorenie systému (prenosu) `sys=tf(num,den)` – pomocou čitateľa a menovateľa,
`sys=zpk(nula,pol,k)` – pomocou pólov a núl,

graf pólov a núl `pzmap(sys)`,

prechodová charakteristika `step(sys)`,

impulzná charakteristika `impulse(sys)`.

5.7 MILAB: príkazy k problematike

Operácie MILABu k problematike tejto kapitoly sú súčasťou základných operácií (viď kapitola A.3):

- výpočet koreňov polynómov,
- prechodové a impulzné charakteristiky,
- graf pólov a núl,
- transformácia prenosu ZP2TF a TF2ZP.