

Розрахункова робота

Богдан Іванюк

18 грудня 2019 р.

1. Умова

Матриця А:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 2 & -9 & 0 & 0 & 9 \\ 10 & -1 & 8 & 6 & -2 \\ -8 & -3 & 0 & 9 & -8 \\ -8 & -4 & 3 & -2 & 5 \\ 3 & 10 & -8 & 8 & 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Матриця В:

$$\mathbf{B} = \begin{pmatrix} -6 & 3 & 2 \\ 7 & 2 & 4 \\ -1 & 0 & 6 \\ -5 & 2 & 8 \\ -2 & 1 & 10 \end{pmatrix} \quad (2)$$

Матриця С:

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} -6 & -7 & 9 & 2 & -5 \\ 5 & 6 & -7 & -10 & 3 \\ 6 & -5 & -4 & -3 & -8 \\ -9 & 8 & 10 & -5 & -4 \end{pmatrix} \quad (3)$$

2. Власні числа і власні вектори матриці А

Власні числа

$$\lambda = \begin{pmatrix} -13.21452515 \\ -2.78068886 + 13.41283043j \\ -2.78068886 - 13.41283043j \\ 10.70184642 \\ 8.07405645 \end{pmatrix} \quad (4)$$

Власні вектори

$$\lambda = \begin{pmatrix} 0.2368568 & -0.00849907 + 0.47851195j & -0.00849907 - 0.47851195j & 0.50100541 & -0.43281057 \\ -0.15779643 & 0.6773297 & 0.6773297 & -0.26898548 & 0.38922455 \\ -0.58279003 & 0.07886138 + 0.31434703j & 0.07886138 - 0.31434703j & -0.72746156 & 0.67744772 \\ 0.51745894 & -0.30243197 + 0.20855347j & -0.30243197 - 0.20855347j & -0.3178572 & 0.43910251 \\ -0.55820351 & -0.03128899 - 0.26684592j & -0.03128899 + 0.26684592j & 0.21542254 & 0.09712279 \end{pmatrix} \quad (5)$$

3. Стійкість системи

Оскільки не всі власні числа матриці A додатні, то система нестійка.

4. Полюси стійкості і нестійкості

Полюси стійкості:

$$-13.21452515, -2.78068886 + 13.41283043j, -2.78068886 - 13.41283043j$$

Полюси нестійкості:

$$10.70184642, 8.07405645$$

5. Підпростір стійких і нестійких станів

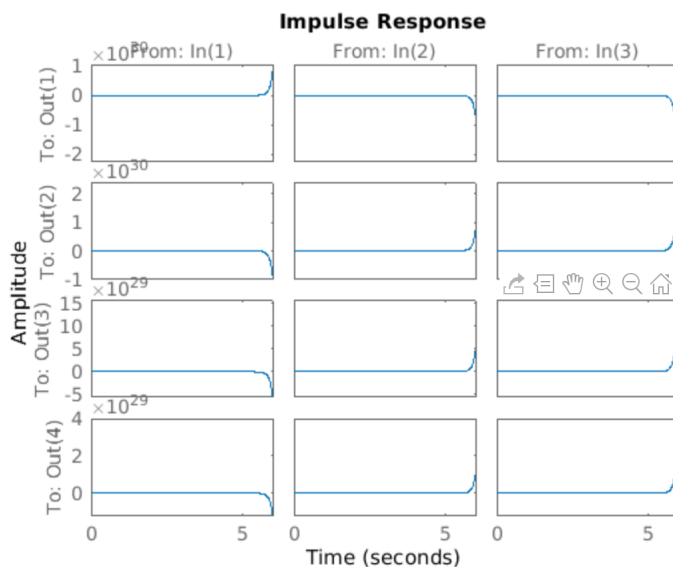
Підпростір стійких станів

$$\begin{pmatrix} 0.2368568 & -0.00849907 + 0.47851195j & -0.00849907 - 0.47851195j \\ -0.15779643 & 0.6773297 & 0.6773297 \\ -0.58279003 & 0.07886138 + 0.31434703j & 0.07886138 - 0.31434703j \\ 0.51745894 & -0.30243197 + 0.20855347j & -0.30243197 - 0.20855347j \\ -0.55820351 & -0.03128899 - 0.26684592j & -0.03128899 + 0.26684592j \end{pmatrix} \quad (6)$$

Підпростір нестійких станів

$$\lambda = \begin{pmatrix} 0.50100541 & -0.43281057 \\ -0.26898548 & 0.38922455 \\ -0.72746156 & 0.67744772 \\ -0.3178572 & 0.43910251 \\ 0.21542254 & 0.09712279 \end{pmatrix} \quad (7)$$

6. Графік імпульсних характеристик.



7. Матрична передаточна функція

$$H(s) = C(sI - A)^{-1}B$$

$$H(s) =$$

$$\frac{378 \sigma_{19}}{\sigma_1} - \frac{35 \sigma_{16}}{\sigma_1} - \frac{18 \sigma_8}{\sigma_1} + \frac{10 \sigma_{23}}{\sigma_1} - \frac{14 \sigma_{22}}{\sigma_1} - \frac{12 \sigma_{18}}{\sigma_1} + \frac{30 \sigma_{15}}{\sigma_1} + \frac{70 \sigma_{14}}{\sigma_1} + \frac{84 \sigma_7}{\sigma_1} + \frac{14 \sigma_{13}}{\sigma_1} - \frac{50 \sigma_{12}}{\sigma_1} + \frac{4 \sigma_{17}}{\sigma_1} + \frac{2 \sigma_{21}}{\sigma_1} - \frac{54 \sigma_6}{\sigma_1} + \frac{63 \sigma_{11}}{\sigma_1} + \frac{45 \sigma_{10}}{\sigma_1} - \frac{10 \sigma_2}{\sigma_1} - \frac{540 \sigma_{25}}{\sigma_1} - \frac{10 \sigma_4}{\sigma_1} - \frac{108 \sigma_{20}}{\sigma_1} + \frac{28 \sigma_5}{\sigma_1} + \frac{9 \sigma_{24}}{\sigma_1} - \frac{108 \sigma_{26}}{\sigma_1} - \frac{\sigma_1}{49 \sigma_3} - \frac{36 \sigma_9}{\sigma_1}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{108\sigma_{19}}{\sigma_1} - \frac{10\sigma_{16}}{\sigma_1} + \frac{9\sigma_8}{\sigma_1} + \frac{6\sigma_{18}}{\sigma_1} - \frac{15\sigma_{15}}{\sigma_1} - \frac{28\sigma_{14}}{\sigma_1} - \frac{42\sigma_7}{\sigma_1} + \frac{4\sigma_{13}}{\sigma_1} + \frac{20\sigma_{12}}{\sigma_1} - \frac{2\sigma_{17}}{\sigma_1} + \frac{27\sigma_6}{\sigma_1} + \frac{18\sigma_{11}}{\sigma_1} - \frac{18\sigma_{10}}{\sigma_1} + \frac{4\sigma_2}{\sigma_1} + \\
& \frac{216\sigma_{25}}{\sigma_1} + \frac{5\sigma_4}{\sigma_1} + \frac{54\sigma_{20}}{\sigma_1} - \frac{14\sigma_5}{\sigma_1} - \frac{14\sigma_3}{\sigma_1} + \frac{18\sigma_9}{\sigma_1} \\
& \frac{216\sigma_{19}}{\sigma_1} - \frac{20\sigma_{16}}{\sigma_1} + \frac{90\sigma_8}{\sigma_1} - \frac{60\sigma_{23}}{\sigma_1} + \frac{84\sigma_{22}}{\sigma_1} + \frac{4\sigma_{18}}{\sigma_1} - \frac{10\sigma_{15}}{\sigma_1} - \frac{112\sigma_{14}}{\sigma_1} - \frac{28\sigma_7}{\sigma_1} + \frac{8\sigma_{13}}{\sigma_1} + \frac{80\sigma_{12}}{\sigma_1} - \frac{20\sigma_{17}}{\sigma_1} - \frac{12\sigma_{21}}{\sigma_1} + \frac{18\sigma_6}{\sigma_1} + \\
& \frac{36\sigma_{11}}{\sigma_1} - \frac{72\sigma_{10}}{\sigma_1} + \frac{16\sigma_2}{\sigma_1} + \frac{864\sigma_{25}}{\sigma_1} + \frac{50\sigma_4}{\sigma_1} + \frac{540\sigma_{20}}{\sigma_1} - \frac{140\sigma_5}{\sigma_1} - \frac{54\sigma_{24}}{\sigma_1} + \frac{648\sigma_{26}}{\sigma_1} - \frac{28\sigma_3}{\sigma_1} + \frac{12\sigma_9}{\sigma_1} \\
& \frac{21\sigma_{16}}{\sigma_1} - \frac{315\sigma_{19}}{\sigma_1} + \frac{14\sigma_8}{\sigma_1} - \frac{6\sigma_{23}}{\sigma_1} + \frac{12\sigma_{22}}{\sigma_1} + \frac{60\sigma_{18}}{\sigma_1} - \frac{18\sigma_{15}}{\sigma_1} - \frac{60\sigma_{14}}{\sigma_1} - \frac{72\sigma_7}{\sigma_1} - \frac{70\sigma_{13}}{\sigma_1} + \frac{30\sigma_{12}}{\sigma_1} - \frac{20\sigma_{17}}{\sigma_1} - \frac{10\sigma_{21}}{\sigma_1} + \\
& \frac{42\sigma_6}{\sigma_1} - \frac{49\sigma_{11}}{\sigma_1} - \frac{35\sigma_{10}}{\sigma_1} + \frac{50\sigma_2}{\sigma_1} + \frac{450\sigma_{25}}{\sigma_1} + \frac{6\sigma_4}{\sigma_1} + \frac{90\sigma_{20}}{\sigma_1} - \frac{24\sigma_5}{\sigma_1} - \frac{7\sigma_{24}}{\sigma_1} + \frac{90\sigma_{26}}{\sigma_1} + \frac{42\sigma_3}{\sigma_1} + \frac{30\sigma_9}{\sigma_1} \\
& \frac{6\sigma_{16}}{\sigma_1} - \frac{90\sigma_{19}}{\sigma_1} - \frac{7\sigma_8}{\sigma_1} - \frac{30\sigma_{18}}{\sigma_1} + \frac{9\sigma_{15}}{\sigma_1} + \frac{24\sigma_{14}}{\sigma_1} + \frac{36\sigma_7}{\sigma_1} - \frac{20\sigma_{13}}{\sigma_1} - \frac{12\sigma_{12}}{\sigma_1} + \frac{10\sigma_{17}}{\sigma_1} - \frac{21\sigma_6}{\sigma_1} - \frac{14\sigma_{11}}{\sigma_1} + \frac{14\sigma_{10}}{\sigma_1} - \frac{20\sigma_2}{\sigma_1} - \\
& \frac{180\sigma_{25}}{\sigma_1} - \frac{3\sigma_4}{\sigma_1} - \frac{45\sigma_{20}}{\sigma_1} + \frac{12\sigma_5}{\sigma_1} + \frac{12\sigma_3}{\sigma_1} - \frac{15\sigma_9}{\sigma_1} \\
& \frac{12\sigma_{16}}{\sigma_1} - \frac{180\sigma_{19}}{\sigma_1} - \frac{70\sigma_8}{\sigma_1} + \frac{36\sigma_{23}}{\sigma_1} - \frac{72\sigma_{22}}{\sigma_1} - \frac{20\sigma_{18}}{\sigma_1} + \frac{6\sigma_{15}}{\sigma_1} + \frac{96\sigma_{14}}{\sigma_1} + \frac{24\sigma_7}{\sigma_1} - \frac{40\sigma_{13}}{\sigma_1} - \frac{48\sigma_{12}}{\sigma_1} + \frac{100\sigma_{17}}{\sigma_1} + \frac{60\sigma_{21}}{\sigma_1} - \frac{14\sigma_6}{\sigma_1} - \\
& \frac{28\sigma_{11}}{\sigma_1} + \frac{56\sigma_{10}}{\sigma_1} - \frac{80\sigma_2}{\sigma_1} - \frac{720\sigma_{25}}{\sigma_1} - \frac{30\sigma_4}{\sigma_1} - \frac{450\sigma_{20}}{\sigma_1} + \frac{120\sigma_5}{\sigma_1} + \frac{42\sigma_{24}}{\sigma_1} - \frac{540\sigma_{26}}{\sigma_1} + \frac{24\sigma_3}{\sigma_1} - \frac{10\sigma_9}{\sigma_1} \\
& \frac{8\sigma_8}{\sigma_1} - \frac{56\sigma_{16}}{\sigma_1} - \frac{378\sigma_{19}}{\sigma_1} + \frac{16\sigma_{23}}{\sigma_1} - \frac{10\sigma_{22}}{\sigma_1} + \frac{18\sigma_{18}}{\sigma_1} + \frac{48\sigma_{15}}{\sigma_1} + \frac{50\sigma_{14}}{\sigma_1} + \frac{60\sigma_7}{\sigma_1} - \frac{21\sigma_{13}}{\sigma_1} - \frac{80\sigma_{12}}{\sigma_1} - \frac{6\sigma_{17}}{\sigma_1} - \frac{3\sigma_{21}}{\sigma_1} + \frac{24\sigma_6}{\sigma_1} - \\
& \frac{28\sigma_{11}}{\sigma_1} - \frac{20\sigma_{10}}{\sigma_1} + \frac{15\sigma_2}{\sigma_1} + \frac{540\sigma_{25}}{\sigma_1} - \frac{16\sigma_4}{\sigma_1} + \frac{108\sigma_{20}}{\sigma_1} + \frac{20\sigma_5}{\sigma_1} - \frac{4\sigma_{24}}{\sigma_1} + \frac{108\sigma_{26}}{\sigma_1} - \frac{35\sigma_3}{\sigma_1} + \frac{36\sigma_9}{\sigma_1} \\
& \frac{32\sigma_{12}}{\sigma_1} - \frac{16\sigma_{16}}{\sigma_1} - \frac{4\sigma_8}{\sigma_1} - \frac{9\sigma_{18}}{\sigma_1} - \frac{24\sigma_{15}}{\sigma_1} - \frac{20\sigma_{14}}{\sigma_1} - \frac{30\sigma_7}{\sigma_1} - \frac{6\sigma_{13}}{\sigma_1} - \frac{108\sigma_{19}}{\sigma_1} + \frac{3\sigma_{17}}{\sigma_1} - \frac{12\sigma_6}{\sigma_1} - \frac{8\sigma_{11}}{\sigma_1} + \frac{8\sigma_{10}}{\sigma_1} - \frac{6\sigma_2}{\sigma_1} - \frac{216\sigma_{25}}{\sigma_1} + \\
& \frac{8\sigma_4}{\sigma_1} - \frac{54\sigma_{20}}{\sigma_1} - \frac{10\sigma_5}{\sigma_1} - \frac{10\sigma_3}{\sigma_1} - \frac{18\sigma_9}{\sigma_1} \\
& \frac{60\sigma_{22}}{\sigma_1} - \frac{32\sigma_{16}}{\sigma_1} - \frac{40\sigma_8}{\sigma_1} - \frac{96\sigma_{23}}{\sigma_1} - \frac{216\sigma_{19}}{\sigma_1} - \frac{6\sigma_{18}}{\sigma_1} - \frac{16\sigma_{15}}{\sigma_1} - \frac{80\sigma_{14}}{\sigma_1} - \frac{20\sigma_7}{\sigma_1} - \frac{12\sigma_{13}}{\sigma_1} + \frac{128\sigma_{12}}{\sigma_1} + \frac{30\sigma_{17}}{\sigma_1} + \frac{18\sigma_{21}}{\sigma_1} - \frac{8\sigma_6}{\sigma_1} - \\
& \frac{16\sigma_{11}}{\sigma_1} + \frac{32\sigma_{10}}{\sigma_1} - \frac{24\sigma_2}{\sigma_1} - \frac{864\sigma_{25}}{\sigma_1} + \frac{80\sigma_4}{\sigma_1} - \frac{540\sigma_{20}}{\sigma_1} - \frac{100\sigma_5}{\sigma_1} + \frac{24\sigma_{24}}{\sigma_1} - \frac{648\sigma_{26}}{\sigma_1} - \frac{20\sigma_3}{\sigma_1} - \frac{12\sigma_9}{\sigma_1} \\
& \frac{567\sigma_{19}}{\sigma_1} - \frac{28\sigma_{16}}{\sigma_1} + \frac{20\sigma_8}{\sigma_1} + \frac{8\sigma_{23}}{\sigma_1} + \frac{16\sigma_{22}}{\sigma_1} + \frac{30\sigma_{18}}{\sigma_1} + \frac{24\sigma_{15}}{\sigma_1} - \frac{80\sigma_{14}}{\sigma_1} - \frac{96\sigma_7}{\sigma_1} - \frac{35\sigma_{13}}{\sigma_1} - \frac{40\sigma_{12}}{\sigma_1} - \frac{10\sigma_{17}}{\sigma_1} - \frac{5\sigma_{21}}{\sigma_1} + \\
& \frac{60\sigma_6}{\sigma_1} - \frac{70\sigma_{11}}{\sigma_1} - \frac{50\sigma_{10}}{\sigma_1} + \frac{25\sigma_2}{\sigma_1} - \frac{810\sigma_{25}}{\sigma_1} - \frac{8\sigma_4}{\sigma_1} - \frac{162\sigma_{20}}{\sigma_1} - \frac{32\sigma_5}{\sigma_1} - \frac{10\sigma_{24}}{\sigma_1} - \frac{162\sigma_{26}}{\sigma_1} + \frac{56\sigma_3}{\sigma_1} - \frac{54\sigma_9}{\sigma_1} \\
& \frac{162\sigma_{19}}{\sigma_1} - \frac{8\sigma_{16}}{\sigma_1} - \frac{10\sigma_8}{\sigma_1} - \frac{15\sigma_{18}}{\sigma_1} - \frac{12\sigma_{15}}{\sigma_1} + \frac{32\sigma_{14}}{\sigma_1} + \frac{48\sigma_7}{\sigma_1} - \frac{10\sigma_{13}}{\sigma_1} + \frac{16\sigma_{12}}{\sigma_1} + \frac{5\sigma_{17}}{\sigma_1} - \frac{30\sigma_6}{\sigma_1} - \frac{20\sigma_{11}}{\sigma_1} + \frac{20\sigma_{10}}{\sigma_1} - \frac{10\sigma_2}{\sigma_1} + \\
& \frac{324\sigma_{25}}{\sigma_1} + \frac{4\sigma_4}{\sigma_1} + \frac{81\sigma_{20}}{\sigma_1} + \frac{16\sigma_5}{\sigma_1} + \frac{16\sigma_3}{\sigma_1} + \frac{27\sigma_9}{\sigma_1} \\
& \frac{324\sigma_{19}}{\sigma_1} - \frac{16\sigma_{16}}{\sigma_1} - \frac{100\sigma_8}{\sigma_1} - \frac{48\sigma_{23}}{\sigma_1} - \frac{96\sigma_{22}}{\sigma_1} - \frac{10\sigma_{18}}{\sigma_1} - \frac{8\sigma_{15}}{\sigma_1} + \frac{128\sigma_{14}}{\sigma_1} + \frac{32\sigma_7}{\sigma_1} - \frac{20\sigma_{13}}{\sigma_1} + \frac{64\sigma_{12}}{\sigma_1} + \frac{50\sigma_{17}}{\sigma_1} + \frac{30\sigma_{21}}{\sigma_1} - \frac{20\sigma_6}{\sigma_1} - \\
& \frac{40\sigma_{11}}{\sigma_1} + \frac{80\sigma_{10}}{\sigma_1} - \frac{40\sigma_2}{\sigma_1} + \frac{1296\sigma_{25}}{\sigma_1} + \frac{40\sigma_4}{\sigma_1} + \frac{810\sigma_{20}}{\sigma_1} + \frac{160\sigma_5}{\sigma_1} + \frac{60\sigma_{24}}{\sigma_1} + \frac{972\sigma_{26}}{\sigma_1} + \frac{32\sigma_3}{\sigma_1} + \frac{18\sigma_9}{\sigma_1}
\end{aligned}$$

where

$$\sigma_1 = -s^5 + 5s^3 + 801s^2 + 23992s - 214249$$

$$\sigma_2 = -s^4 + 2s^3 - 42s^2 + 1581s + 6888$$

$$\sigma_3 = -s^4 + s^3 + 162s^2 - 663s + 4781$$

$$\sigma_4 = s^4 + s^3 + 107s^2 - 511s - 10788$$

$$\sigma_5 = s^3 - 28s^2 + 305s + 5173$$

$$\sigma_6 = 8s^3 + 142s^2 + 477s - 12149$$

$$\sigma_7 = -5s^3 + 54s^2 + 1090s - 8204$$

$$\sigma_8 = 8s^3 + 29s^2 + 2221s - 1976$$

$$\sigma_9 = s^4 + 2s^3 - 64s^2 + 1024s - 6095$$

$$\sigma_{10} = 9s^3 - 100s^2 + 280s - 21643$$

$$\sigma_{11} = 3s^3 + 41s^2 - 1243s + 16689$$

$$\sigma_{12} = 4s^3 - 10s^2 + 775s - 9228$$

$$\sigma_{13} = 4s^3 - 125s^2 + 548s + 8687$$

$$\sigma_{14} = -3s^3 - 19s^2 + 183s + 7420$$

$$\sigma_{15} = -3s^3 - 109s^2 + 419s + 6043$$

$$\sigma_{16} = -10s^3 + 35s^2 + 84s + 3867$$

$$\sigma_{17} = 5s^3 - 93s^2 + 50s - 11270$$

$$\sigma_{18} = 8s^3 + 49s^2 - 1161s + 5320$$

$$\sigma_{19} = -s^3 + 9s^2 + 145s - 457$$

$$\sigma_{20} = s^3 + 5s^2 + 61s + 221$$

$$\sigma_{21} = 3s^3 - 78s^2 + 1870s - 9527$$

$$\sigma_{22} = 4s^3 + 13s^2 - 815s + 4543$$

$$\sigma_{23} = 4s^3 - 48s^2 + 598s - 4033$$

$$\sigma_{24} = s^4 + 62s^2 - 1197s + 4560$$

$$\sigma_{25} = s^2 - 27s + 904$$

$$\sigma_{26} = -8s^2 + 19s + 255$$

8. Матриця керованості

$$P = \begin{pmatrix} -6 & 3 & 2 & -93 & -3 & 58 & 885 & 66 & -64 & -1290 & 7647 & 12814 & -296169 & 77925 & 243086 \\ 7 & 2 & 4 & -101 & 38 & 92 & -779 & -506 & 176 & 27503 & -4764 & -16852 & 37039 & 75528 & 16568 \\ -1 & 0 & 6 & -2 & -20 & -36 & 1056 & -737 & -1136 & 14991 & -706 & -18508 & -110328 & -57946 & -59046 \\ -5 & 2 & 8 & 17 & -31 & 20 & 1198 & 104 & -620 & -8787 & 722 & 5710 & -62735 & -34707 & -65498 \\ -2 & 1 & 10 & 18 & 46 & 72 & -1119 & 329 & 1614 & -5118 & 2195 & 7310 & 75818 & -11080 & 70976 \end{pmatrix} \quad (8)$$

9. Повна керованість системи

$\text{rank}(P) = 5 = \dim(A) \Rightarrow$ система повністю керована

10. Знайти канонічну форму керованості

Канонічна форма керованості збігається з початковою, оскільки система є керованою.

11. Полюси керованості та полюси некерованості

Оскільки система є повністю керованою, усі полюси - полюси керованості

12. Підпростір керованих та некерованих станів

Оскільки система є повністю керованою, усі власні вектори - підпростір керованих станів

13. Стабілізованість системи

Оскільки система повністю керована, то вона є стабілізованою

14. Матриця відновлюваності

$$Q = \begin{pmatrix} -6 & -7 & 9 & 2 & -5 \\ 5 & 6 & -7 & -10 & 3 \\ 6 & -5 & -4 & -3 & -8 \\ -9 & 8 & 10 & -5 & -4 \\ -185 & -24 & -10 & -5 & -107 \\ 215 & 40 & -6 & 17 & 42 \\ -6 & -105 & 15 & -124 & 73 \\ 170 & 83 & 81 & -64 & -46 \\ -811 & 669 & 649 & -1080 & -1669 \\ 868 & -1605 & 35 & 488 & 2030 \\ 29 & 1340 & -1796 & 337 & -511 \\ 896 & -2060 & 840 & 987 & 350 \\ 3509 & -7687 & 15464 & -1337 & -20898 \\ -12408 & 12036 & -27616 & 5949 & 15212 \\ 23597 & -2671 & 15819 & -12886 & 13123 \\ -32374 & -8972 & -16319 & -3974 & 10749 \\ -245562 & -273918 & 101677 & -71456 & -104340 \\ 314516 & 310808 & -7561 & -66530 & 130141 \\ 36389 & -74385 & -165010 & 257101 & 39856 \\ 40123 & 472681 & -169690 & -106763 & -151991 \end{pmatrix} \quad (9)$$

15. Повна відновлюваність системи

$\text{rank}(Q) = 5 = \dim(A) \Rightarrow$ система повністю відновлювана

16. Канонічна форма відновлюваності

Канонічна форма відновлюваності збігається з початковою.

17. Полюси відновлюваності та невідновлюваності

Оскільки система повністю відновлювана, усі полюси - полюси відновлюваності

18. Підпростір відновлюваних та невідновлюваних станів

Оскільки система є повністю відновлювана, усі власні вектори - підпростір відновлюваних станів

19. Виявлюваність системи

Система виявлювана, оскільки вона є відновлюваною

20. Три набори стійких полюсів. Для кожного з них коефіцієнт посилення зворотного зв'язку

$$\lambda_1 = (-243, -81, -27, -9, -3)$$

$$\lambda_2 = (-32, -16, -8, -4, -2)$$

$$\lambda_3 = (-13, -4, -7, -5, -17)$$

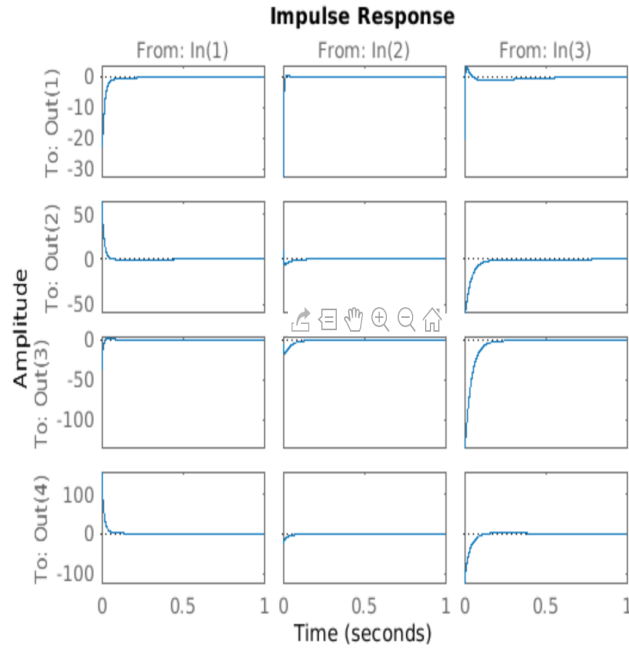
$$F_1 = \begin{pmatrix} 1.3662 & 1.4452 & 0.0281 & 0.2110 & -0.1068 \\ 5.5168 & -0.1348 & -0.2674 & -0.4946 & 3.6870 \\ -0.4380 & 0.8150 & -0.2645 & 0.8995 & -0.3021 \end{pmatrix} \quad (10)$$

$$F_2 = \begin{pmatrix} -0.4526 & 4.5792 & -6.9621 & 0.1244 & 4.2622 \\ 16.7246 & 5.6602 & -11.8870 & -6.6300 & 13.2242 \\ -3.0179 & 1.1452 & -0.8008 & 2.6499 & 1.1016 \end{pmatrix} \quad (11)$$

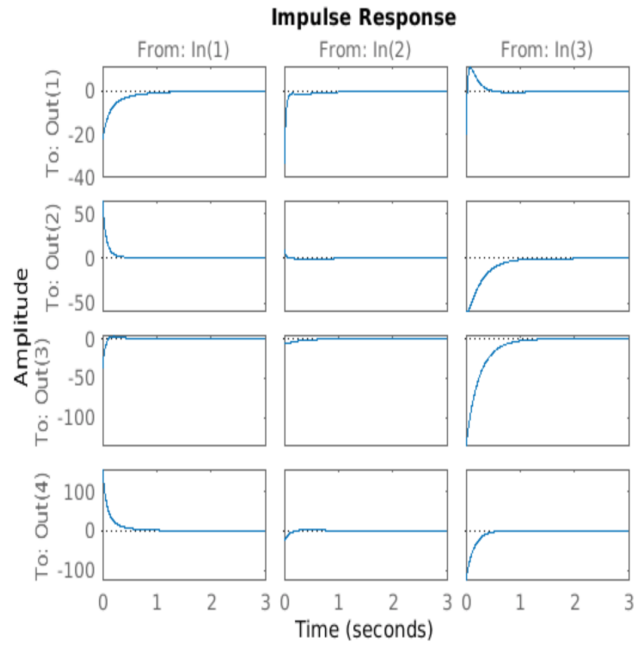
$$F_3 = \begin{pmatrix} -14.3443 & 8.5606 & -36.4944 & 13.2776 & 13.7832 \\ 44.3754 & 11.1200 & -35.5022 & -38.9647 & 48.9362 \\ -13.0938 & 1.8368 & -8.6949 & 14.7783 & 0.7881 \end{pmatrix} \quad (12)$$

21. Графік імпульсних характеристик замкнених систем вище.

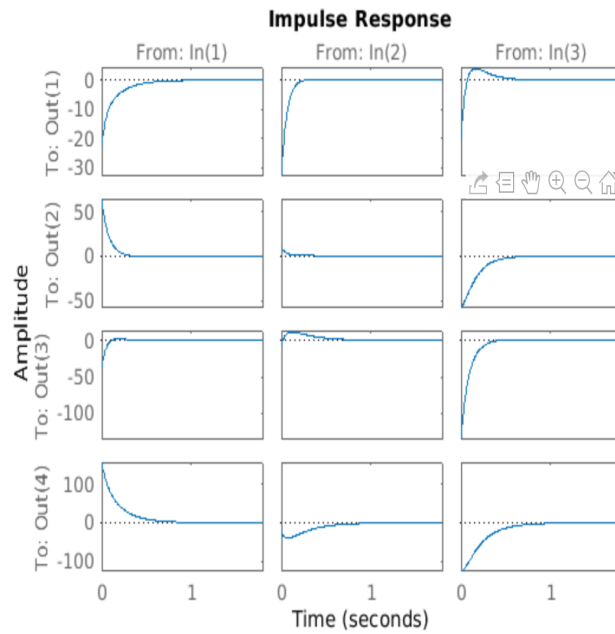
$$A_1 = \begin{pmatrix} -195.2677 & -63.7878 & 120.0817 & 12.3295 & -85.9929 \\ -74.7297 & -107.9891 & 95.2894 & 42.8947 & -72.0784 \\ 54.9728 & 26.2775 & -49.7826 & -12.7816 & 18.2388 \\ -69.3596 & -8.8051 & 28.0256 & -17.6097 & -29.3532 \\ 37.7563 & 25.9339 & -41.4216 & -16.5592 & 7.6490 \end{pmatrix} \quad (13)$$



$$A_2 = \begin{pmatrix} -23.1427 & -10.2738 & 13.5014 & -0.0339 & -12.0240 \\ -18.2109 & -27.9621 & 19.2055 & 7.2301 & -17.2080 \\ 0.4645 & -3.2412 & -2.1712 & 3.7476 & -4.754 \\ -15.5045 & -5.3697 & 9.6193 & -7.8238 & -5.1265 \\ 5.7186 & 5.6655 & -6.4461 & 0.3058 & -0.9002 \end{pmatrix} \quad (14)$$



$$A_3 = \begin{pmatrix} -6.1573 & 0.7931 & -0.2285 & -1.3431 & 1.9038 \\ -17.6156 & -27.6749 & 23.1109 & 7.4772 & -21.8209 \\ -1.4368 & -6.4048 & 0.0120 & 3.7320 & -8.0404 \\ -6.3894 & -1.5621 & 3.0091 & -8.7030 & 0.0781 \end{pmatrix} \quad (15)$$



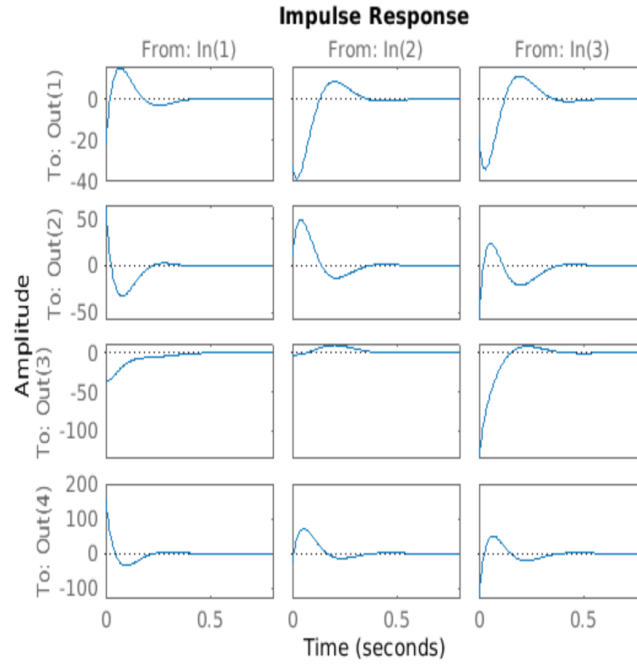
22. Набір невід'ємно визначених матриць вагових коефіцієнтів і коефіцієнт посилення зворотного зв'язку задачі оптимального керування. Графік

$$R_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 5 \end{pmatrix} \quad (16)$$

$$R_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{pmatrix} \quad (17)$$

$$F = \begin{pmatrix} 7.4300 & 10.9082 & 6.6939 & 8.2409 & 0.1906 \\ -0.1060 & -1.0632 & -0.1401 & 1.5657 & -0.8811 \\ 1.0344 & 0.6501 & -0.3254 & 2.2575 & -0.3524 \end{pmatrix} \quad (18)$$

$$A = \begin{pmatrix} -35.0293 & -34.0541 & -18.9459 & -17.1009 & 1.1987 \\ 39.6484 & 51.2198 & 33.3103 & 33.7870 & 6.5290 \\ -35.1299 & -63.8856 & -43.2780 & -26.4368 & -13.7862 \\ -8.9288 & -12.0163 & -7.4355 & -26.0032 & -0.5565 \\ -13.0344 & -11.7504 & -2.9761 & 12.7490 & -15.7676 \end{pmatrix} \quad (19)$$



23. Висновок

Побудована система є асимптотично-стійкою. Швидкість затухання траєкторії системи з оптимальним зворотнім зв'язком є меншою від тієї, що отримується для системи зі зворотнім зв'язком з дуже низькими полюсами, оскільки швидкість затухання не є єдиним критерієм побудови системи. Можливо, що реальні затрати на досягнення тих величин, що відповідають дуже низьким полюсам, є непомірно великими.