

Цель работы

Исследование моделей дискретных радиоэлектронных следящих систем, анализ характеристик переходного и установившегося режимов работы, анализ устойчивости по ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутых систем.

Выполнение работы

1. Исследование статической линейной системы (ЧАП)



$$W_{\lambda x} = kH(z)$$

Где $H(z)$ Z-преобразование передаточной функции непрерывной части фильтра

Рисунок 1 – Структурная схема системы ЧАП

Исследовали зависимость показателей качества статической дискретной следящей системы от коэффициента усиления разомкнутого контура и периода дискретизации T . В качестве фильтра использовали колебательное звено.

$$W_{\phi}(p) = \frac{k_{\phi}}{p^2 T_1 + p T_2 + 1}$$

$$H(z) = \frac{k_{\phi} T^2}{(z-1)^2 T_1 + (z-1) T T_2 + T^2}$$

Рисунок 2 – Параметры колебательного звена

1.1. Параметры переходного процесса

Таблица 1 – Исследование параметров переходного процесса

| Параметры звеньев и системы | | | | | | Исследуемые параметры переходного процесса | | | |
|-----------------------------|-----|------------|-----|-------|-------|--|-----------|-------------|--------------|
| № | K | K_{ϕ} | T | T_1 | T_2 | $t_{уст}, c$ | Y_{max} | $Y(\infty)$ | $\delta, \%$ |
| 1 | 2 | 0.5 | 1 | 0.4 | 2 | 17,3 | 0,758 | 0,5 | 51 |
| 2 | 2 | 0.5 | 0.1 | 0.4 | 2 | 10,7 | 0,676 | 0,5 | 35 |
| 3 | 10 | 0.5 | 0.1 | 0.4 | 2 | 5,5 | 1,11 | 0,833 | 33 |

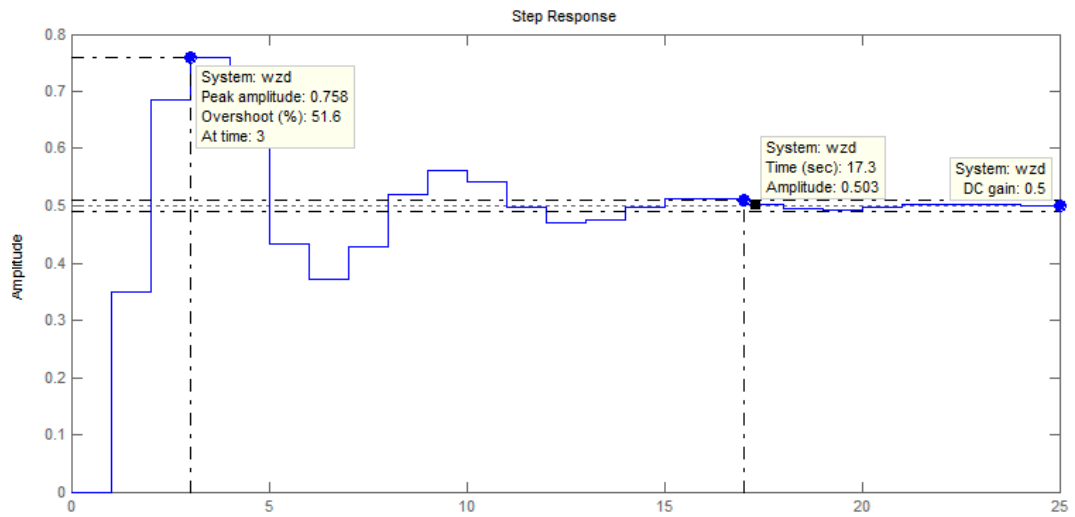


Рисунок 3 – Переходная характеристика (пункт №1)

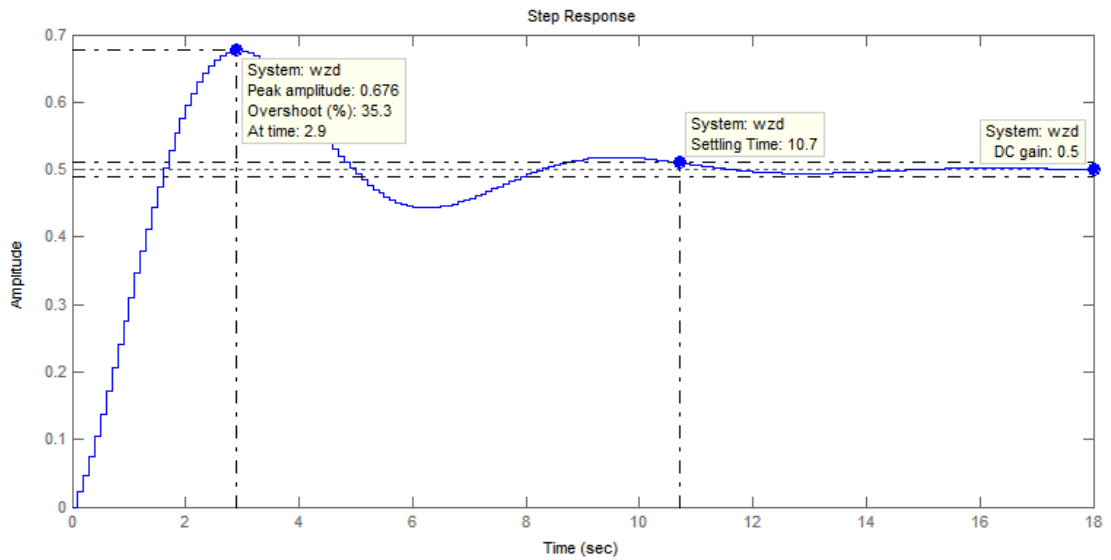


Рисунок 4 – Переходная характеристика (пункт №2)

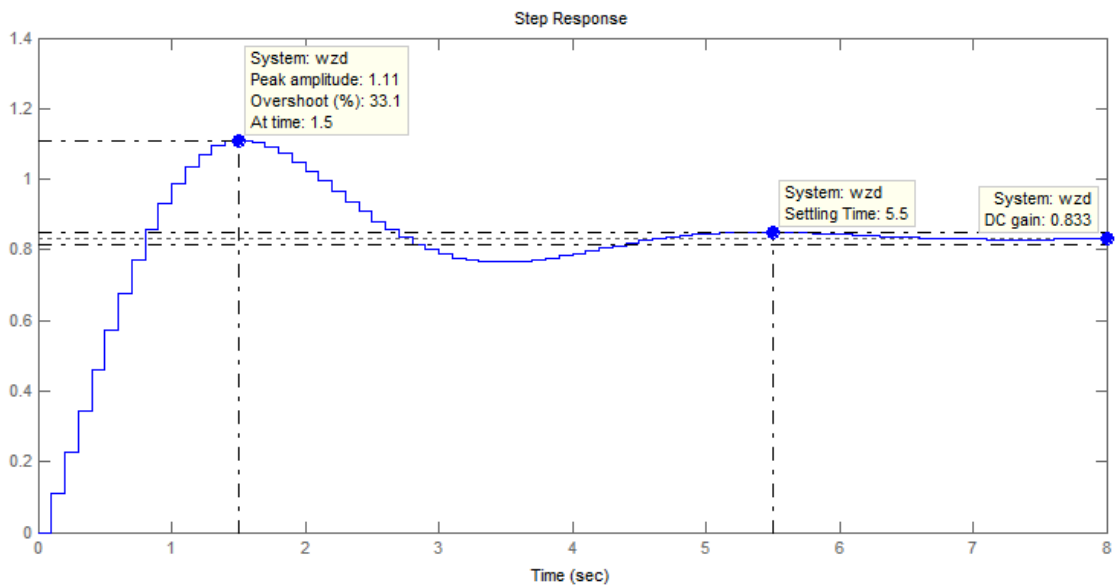


Рисунок 5 – Переходная характеристика (пункт №3)

1.2. Устойчивость и запасы устойчивости по фазе и амплитуде.

Таблица 2 – Исследование параметров устойчивости

| Параметры звеньев и системы | | | | | | Исследуемые параметры | | | |
|-----------------------------|-----|----------|-----|-------|-------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|--------------------|
| № | K | K_ϕ | T | T_1 | T_2 | $\omega_{cr}, \text{рад/сек}$ | $\omega_{кр}, \text{рад/сек}$ | Запас по фазе | Запас по амплитуде |
| 1 | 2 | 0.5 | 1 | 0.4 | 2 | 0,88 | 3,14 | 52,3 | 8,83 |
| 2 | 2 | 0.5 | 0.1 | 0.4 | 2 | 0,88 | 31,4 | 73,9 | 99,8 |
| 3 | 10 | 0.5 | 0.1 | 0.4 | 2 | 1,86 | 31,4 | 48,8 | 19,9 |

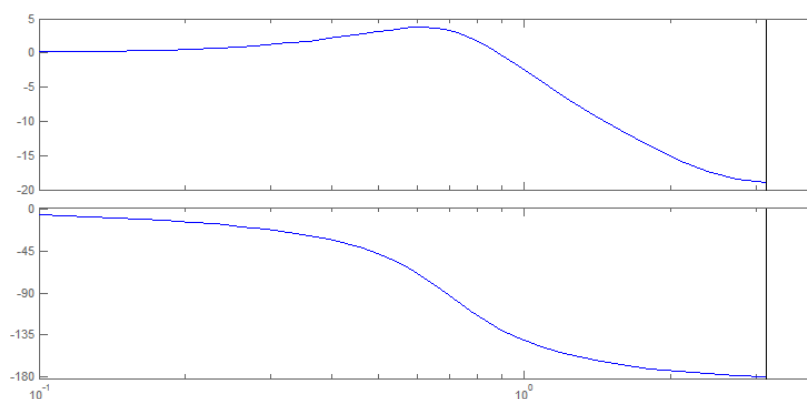


Рисунок 6 – АЧХ И ФЧХ (пункт №1)

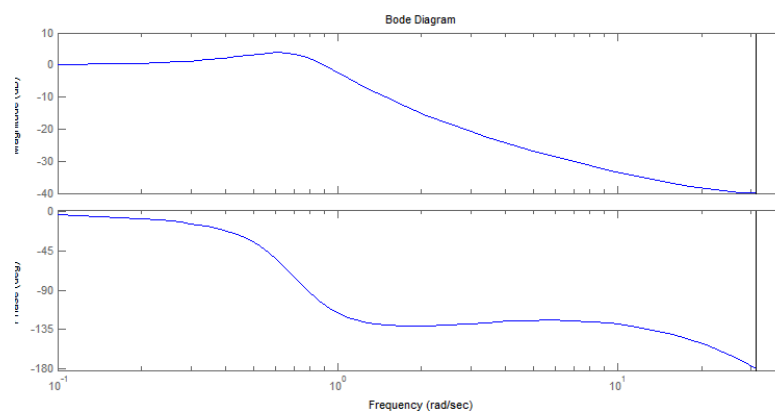


Рисунок 7 – АЧХ И ФЧХ (пункт №2)

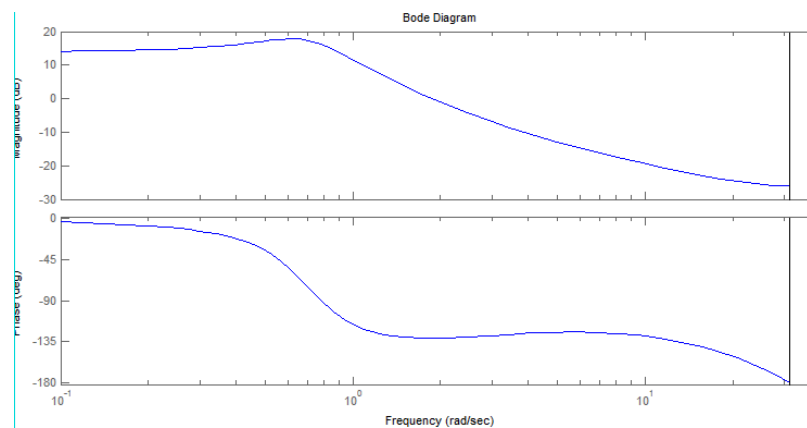


Рисунок 8 – АЧХ И ФЧХ (пункт №3)

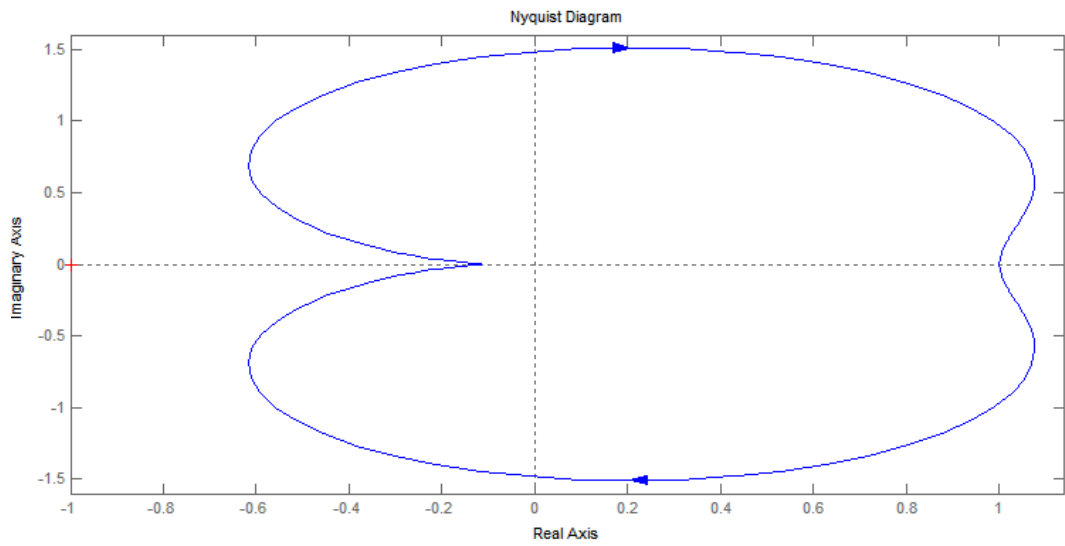


Рисунок 9 – Годограф Найквиста (пункт №1)

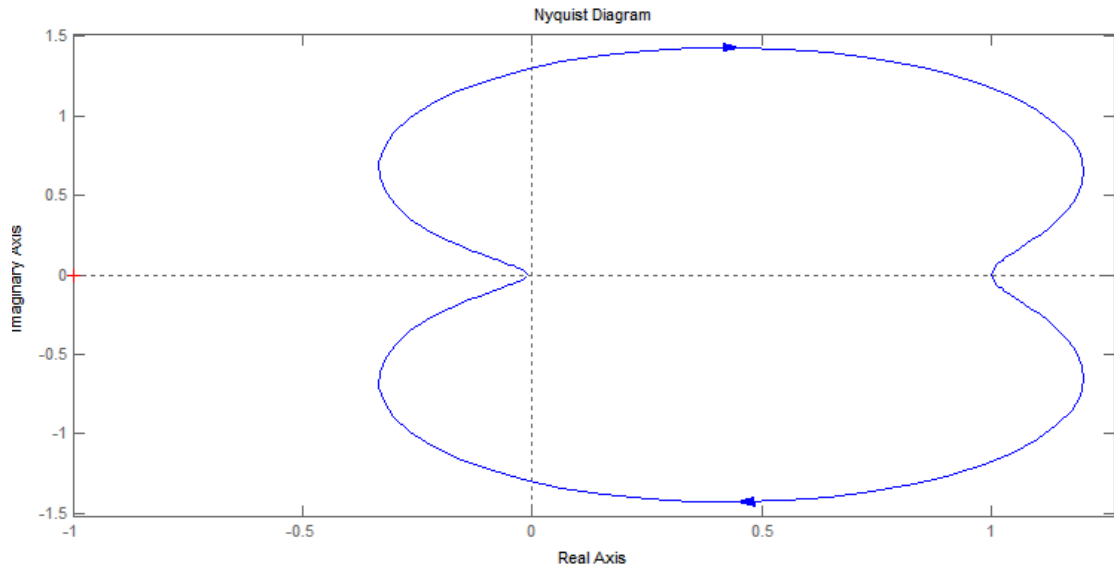


Рисунок 10 – Годограф Найквиста (пункт №2)

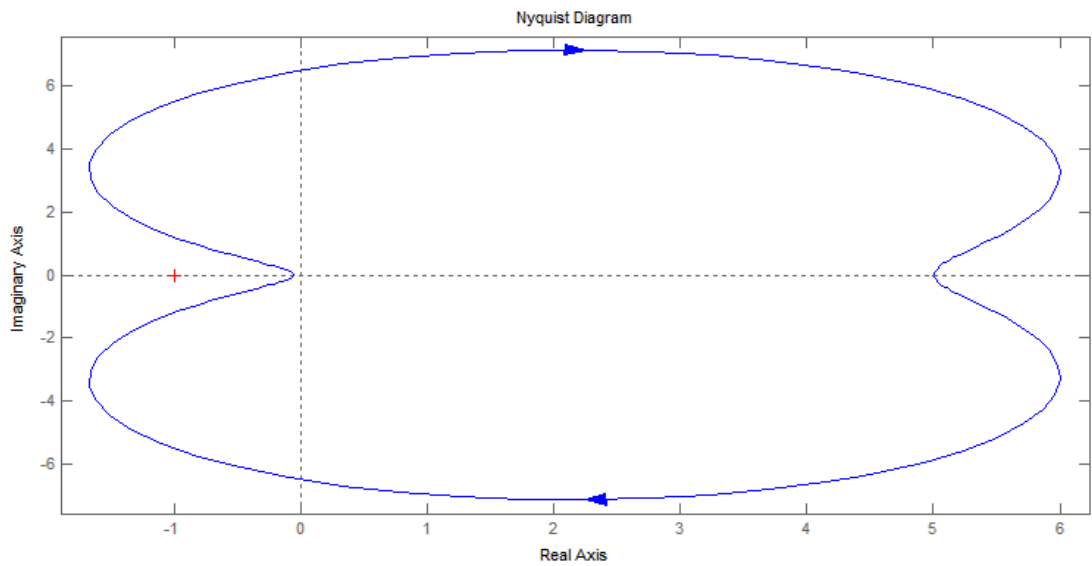


Рисунок 11 – Годограф Найквиста (пункт №2)

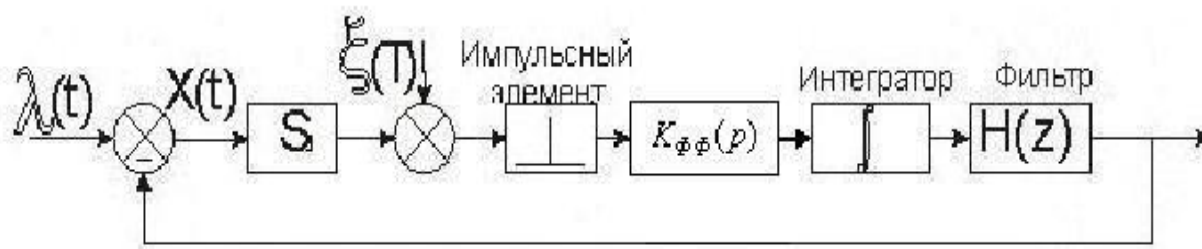
1.3. Точность слежения

Таблица 3 – Исследование параметров точности

| Параметры звеньев и системы | | | | | | Исследуемые параметры ошибки | | |
|-----------------------------|-----|----------|-----|-------|-------|------------------------------|-------------|--------------|
| № | K | K_ϕ | T | T_1 | T_2 | По положению | По скорости | По ускорению |
| 1 | 2 | 0.5 | 1 | 0.4 | 2 | 0,5 | 0,69 | 3,38 |
| 2 | 2 | 0.5 | 0.1 | 0.4 | 2 | 0,5 | 0,071 | 0,034 |
| 3 | 10 | 0.5 | 0.1 | 0.4 | 2 | 0,17 | 0,033 | 0,026 |

Исходя из полученных данных, при увеличении коэффициента усиления разомкнутого контура длительность переходного процесса уменьшается, уменьшается величина перерегулирования, критическая частота остается неизменной, частота среза увеличивается, запас устойчивости по амплитуде уменьшается, запас устойчивости по фазе также уменьшается, ошибки по положению, скорости и ускорению уменьшаются. При увеличении значения периода дискретизации длительность переходного процесса уменьшается, уменьшается величина перерегулирования, частота среза и критическая частота остаются неизменными, запасы устойчивости по фазе и по амплитуде увеличиваются, ошибка по положению остается неизменной, ошибки по скорости и ускорению уменьшаются.

2. Исследование системы ФАПЧ с астатизмом 1-го порядка.



$$W_{\lambda c} = k \frac{T}{z-1} H(z)$$

Где $H(z)$ Z-преобразование передаточной функции непрерывной части фильтра

Рисунок 12 – Структурная схема системы ФАПЧ с астатизмом 1-го порядка

Исследовали зависимость показателей качества дискретной следящей системы с астатизмом 1-го порядка от коэффициента усиления разомкнутого контура, периода дискретизации T и постоянных времени фильтра. В качестве фильтра использовали звено 4.

$$W_{\Phi}(p) = \frac{k_{\Phi}(1 + pT_1)}{p^2T_2 + pT_3 + 1}$$

$$H(z) = \frac{Tk_{\Phi}(T + (z-1)T_1)}{(z-1)^2T_2 + (z-1)TT_3 + T^2}$$

Рисунок 13 – Параметры используемого звена

2.1. Параметры переходного процесса.

Таблица 4 – Исследование параметров переходного процесса

| Параметры звеньев и системы | | | | | | | Исследуемые параметры переходного процесса | | | |
|-----------------------------|-----|----------------|-----|----------------|----------------|----------------|--|------------------|------|------|
| № | K | K _φ | T | T ₁ | T ₂ | T ₃ | t _{уст} , с | Y _{max} | Y(∞) | δ, % |
| 1 | 0,5 | 0,1 | 0,5 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 76,5 | 1 | 1 | 0 |
| 2 | 2 | 0,1 | 0,5 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 18 | 1 | 1 | 0 |
| 3 | 3 | 0,1 | 0,5 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 11,5 | 1 | 1 | 0 |
| 4 | 2 | 0,1 | 0,7 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 17,5 | 1 | 1 | 0 |
| 5 | 2 | 0,1 | 1 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 16 | 1 | 1 | 0 |
| 6 | 2 | 0,1 | 0,5 | 0,02 | 0,04 | 0,2 | 18 | 1 | 1 | 0 |
| 7 | 2 | 0,1 | 0,5 | 0,07 | 0,04 | 0,2 | 18 | 1 | 1 | 0 |

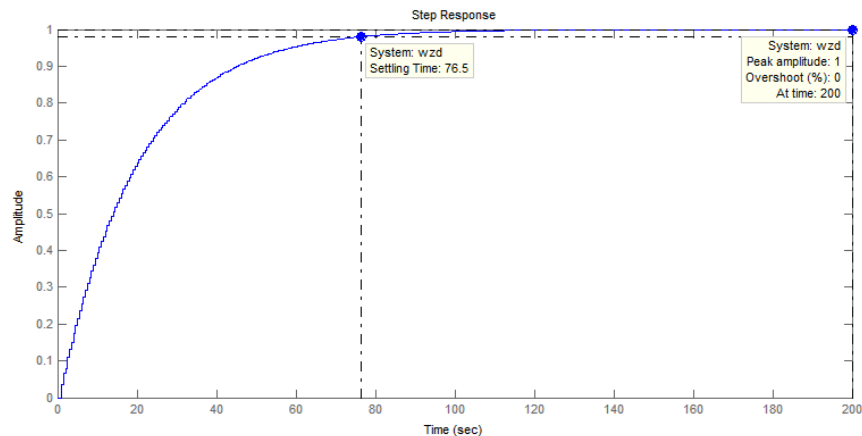


Рисунок 14 – Переходная характеристика (пункт №1)

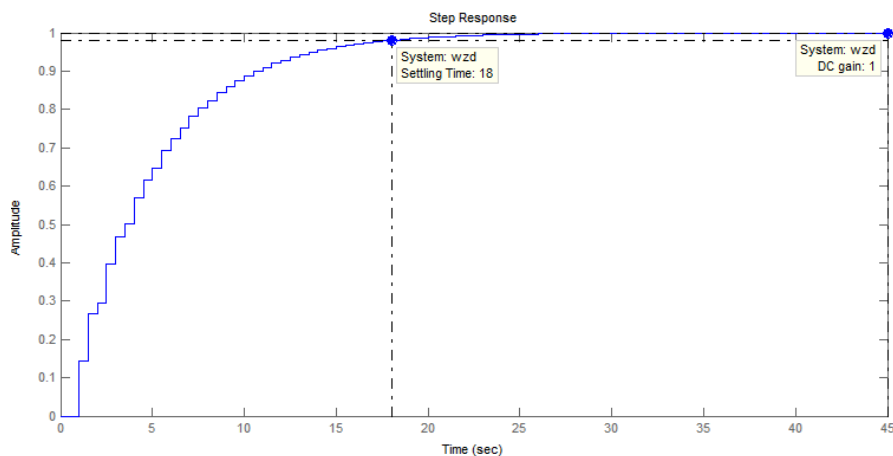


Рисунок 15 – Переходная характеристика (пункт №2)

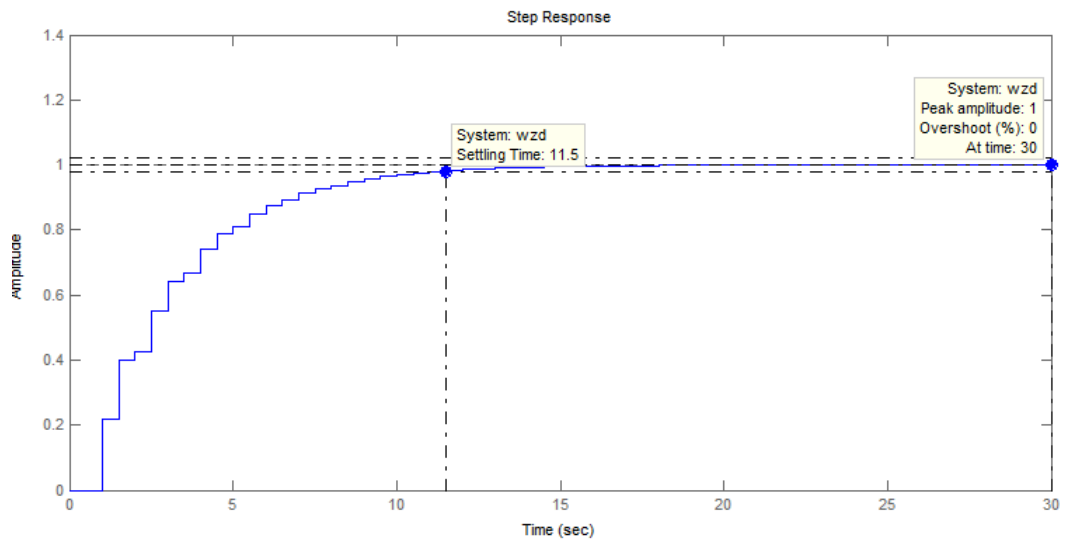


Рисунок 16 – Переходная характеристика (пункт №3)

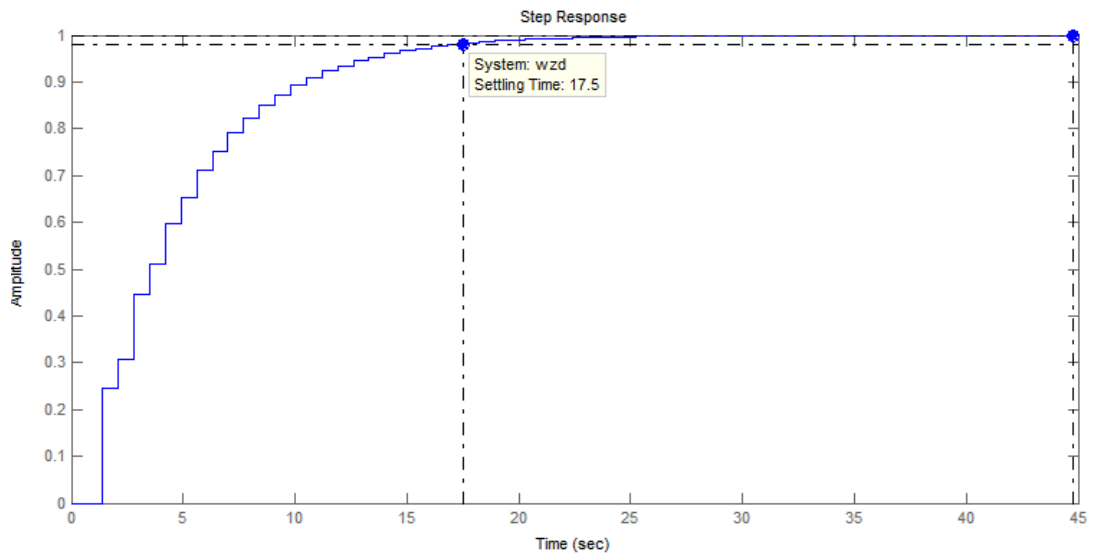


Рисунок 17 – Переходная характеристика (пункт №4)

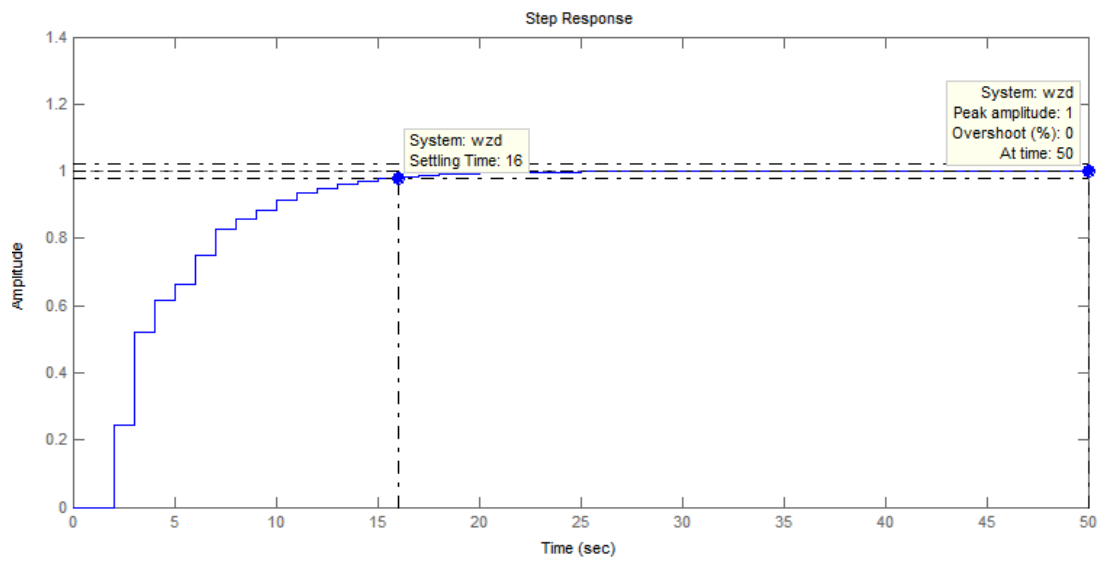


Рисунок 18 – Переходная характеристика (пункт №5)

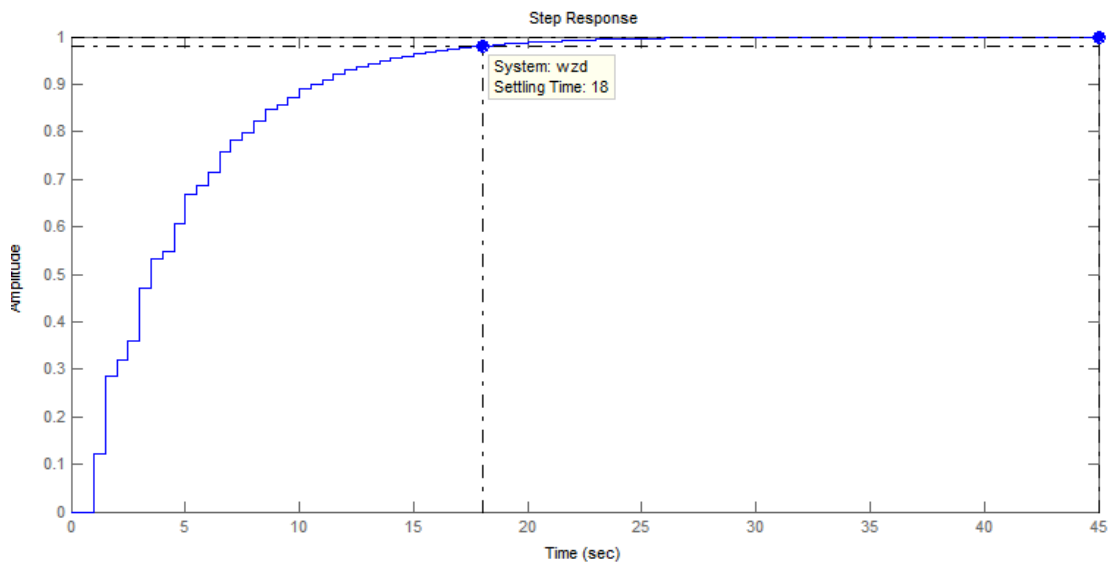


Рисунок 19 – Переходная характеристика (пункт №6)

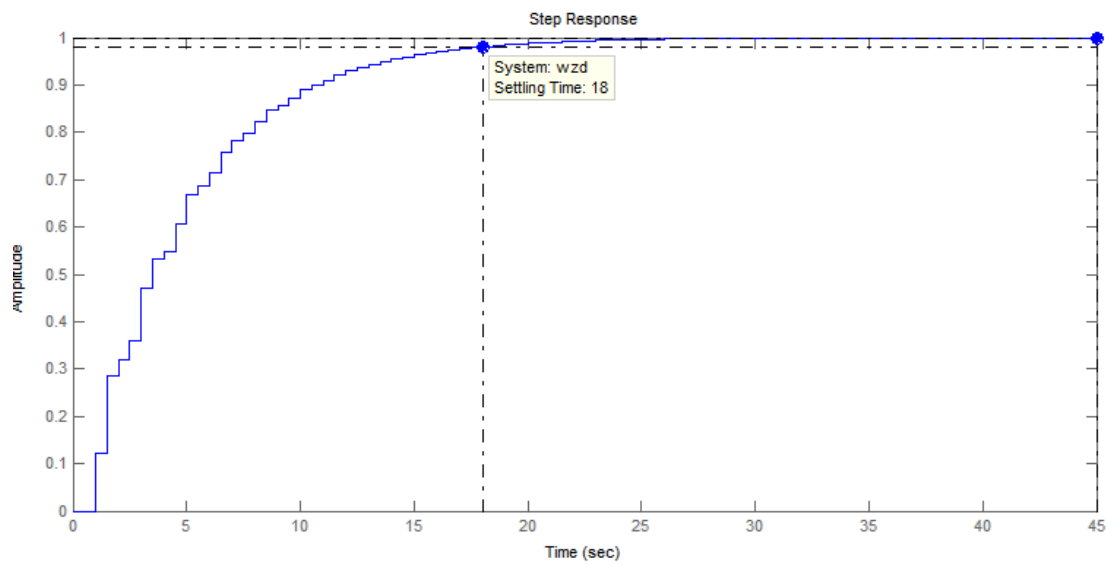


Рисунок 20 – Переходная характеристика (пункт №7)

2.2. Устойчивость и запасы устойчивости по фазе и амплитуде.

Таблица 5 – Исследование параметров устойчивости

| Параметры звеньев и системы | | | | | | | Исследуемые параметры | | | |
|-----------------------------|-----|----------|-----|-------|-------|-------|-----------------------|----------------------|---------------|--------------------|
| № | K | K_ϕ | T | T_1 | T_2 | T_3 | $w_{ср.}$ рад/сек | $w_{кр.}$ рад/сек | Запас по фазе | Запас по амплитуде |
| 1 | 0,5 | 0,1 | 0,5 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 0,05 | 2,78 | 88,4 | 33,4 |
| 2 | 2 | 0,1 | 0,5 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 0,2 | 2,78 | 83,8 | 8,3 |
| 3 | 3 | 0,1 | 0,5 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 0,3 | 2,78 | 80,6 | 5,6 |
| 4 | 2 | 0,1 | 0,7 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 0,2 | 2,07 | 81,4 | 7,1 |
| 5 | 2 | 0,1 | 1 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 0,2 | 1,25 | 77 | 3,7 |
| 6 | 2 | 0,1 | 0,5 | 0,02 | 0,04 | 0,2 | 0,2 | 2,75 | 83,6 | 9,8 |
| 7 | 2 | 0,1 | 0,5 | 0,07 | 0,04 | 0,2 | 0,2 | 2,7 | 83,8 | 6,6 |

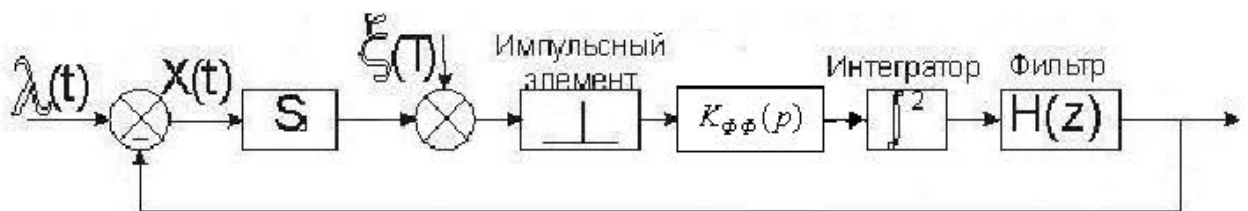
2.3. Точность слежения

Таблица 6 – Исследование параметров точности

| Параметры звеньев и системы | | | | | | | Исследуемые параметры ошибки | | |
|-----------------------------|-----|----------|-----|-------|-------|-------|------------------------------|-------------|--------------|
| № | K | K_ϕ | T | T_1 | T_2 | T_3 | По положению | По скорости | По ускорению |
| 1 | 0,5 | 0,1 | 0,5 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 0 | 0,49 | 0,99 |
| 2 | 2 | 0,1 | 0,5 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 0 | 0,47 | 0,97 |
| 3 | 3 | 0,1 | 0,5 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 0 | 0,46 | 0,96 |
| 4 | 2 | 0,1 | 0,7 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 0 | 0,65 | 1,89 |
| 5 | 2 | 0,1 | 1 | 0,05 | 0,04 | 0,2 | 0 | 0,88 | 3,75 |
| 6 | 2 | 0,1 | 0,5 | 0,02 | 0,04 | 0,2 | 0 | 0,47 | 0,97 |
| 7 | 2 | 0,1 | 0,5 | 0,07 | 0,04 | 0,2 | 0 | 0,48 | 0,98 |

Исходя из полученных данных, при увеличении коэффициента усиления разомкнутого контура, длительность переходного процесса уменьшается, перерегулирования нет, т.к. значение в установившемся режиме равно 1; частота среза увеличивается, критическая частота остается неизменной, запас устойчивости по фазе уменьшается, запас устойчивости по амплитуде также уменьшается; ошибка по положению во всех случаях равна нулю, ошибка по скорости уменьшается также, как и ошибка по ускорению. При увеличении периода дискретизации длительность переходного процесса уменьшается, перерегулирования нет, т.к. значение в установившемся режиме равно 1; частота среза остается неизменной, критическая частота уменьшается, запас устойчивости по фазе уменьшается, запас устойчивости по амплитуде уменьшается; ошибки по скорости и ускорению возрастают. При увеличении постоянной времени фильтра длительность переходного процесса не изменяется; частота среза остается неизменной, критическая частота уменьшается, запас устойчивости по фазе увеличивается, запас устойчивости по амплитуде уменьшается; ошибки по скорости и по ускорению возрастают.

3. Исследование системы ФАПЧ с астатизмом 2-го порядка.



$$W_{\lambda x} = k \left(\frac{T^2 (z+1)}{2(z-1)^2} \right) H(z)$$

Где $H(z)$ Z-преобразование передаточной функции непрерывной части фильтра

Рисунок 21 – Структурная схема системы ФАПЧ с астатизмом второго порядка

Исследовали зависимость показателей качества дискретной следящей системы с астатизмом второго порядка от коэффициента разомкнутого контура, периода

дискретизации и постоянных времени фильтра. В качестве фильтра использовали инерционно-дифференцирующее звено (звено 3).

$$W_{\Phi}(p) = \frac{1 + pT_1}{1 + pT_2}$$

$$H(z) = \frac{T + (z - 1)T_1}{T + (z - 1)T_2}$$

Рисунок 22 – Параметры используемого звена

3.1. Параметры переходного процесса.

Таблица 7 – Исследование параметров переходного процесса

| Параметры звеньев и системы | | | | | Исследуемые параметры переходного процесса | | | |
|-----------------------------|-----|-----|----------------|----------------|--|------------------|------|------|
| № | K | T | T ₁ | T ₂ | t _{уст} , с | Y _{max} | Y(∞) | δ, % |
| 1 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 1 | 9,9 | 1,35 | 1 | |
| 2 | 0,5 | 0,3 | 0,1 | 1 | 6,9 | 1,47 | 1 | |
| 3 | 0,5 | 0,5 | 0,1 | 1 | Процесс расходящийся | | | |
| 4 | 2 | 0,1 | 0,1 | 1 | 7 | 1,65 | 1 | |
| 5 | 5 | 0,1 | 0,1 | 1 | 7,3 | 1,98 | 1 | |
| 6 | 10 | 0,1 | 0,1 | 1 | Процесс расходящийся | | | |
| 7 | 0,5 | 0,1 | 1 | 0,1 | Процесс расходящийся | | | |

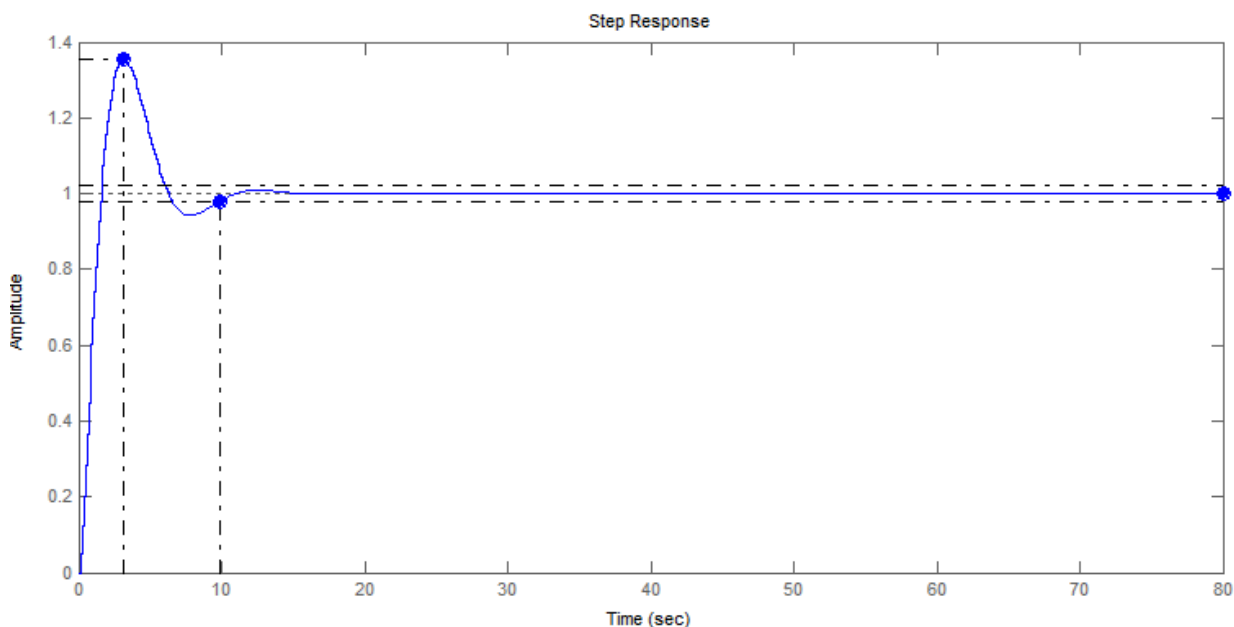


Рисунок 23 – Переходная характеристика (пункт №1)

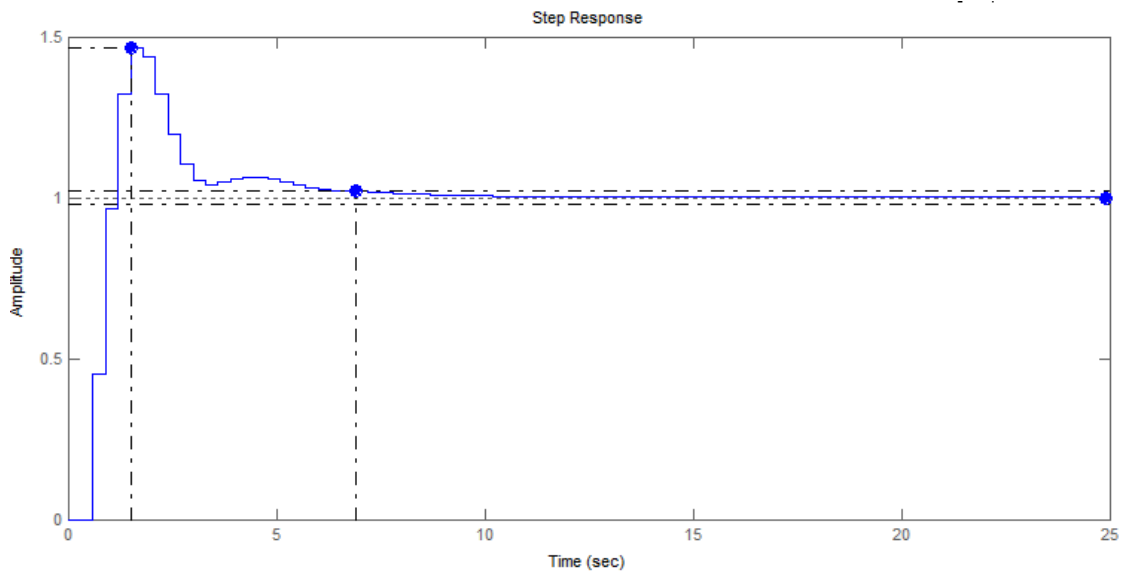


Рисунок 24 – Переходная характеристика (пункт №2)

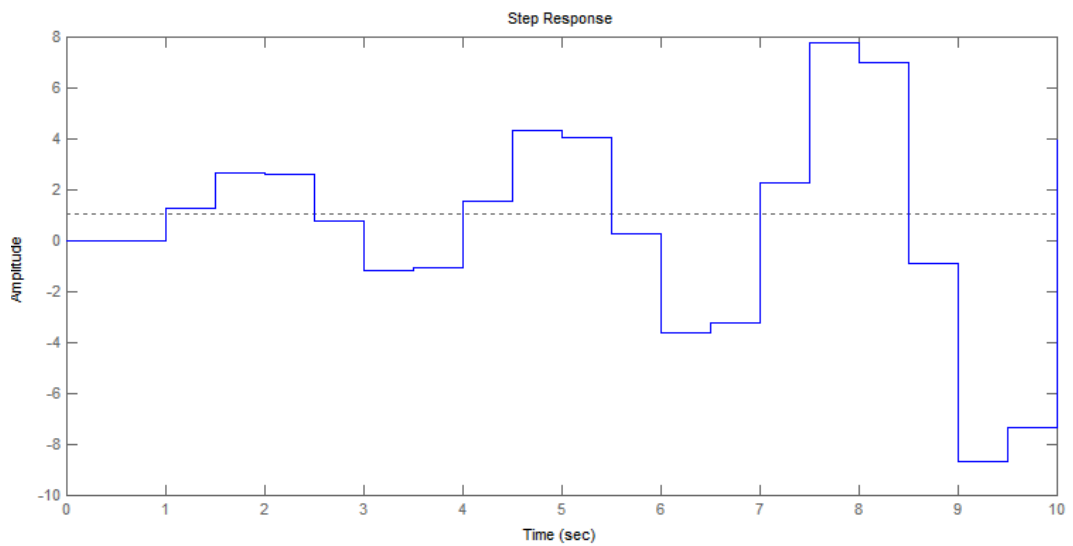


Рисунок 25 – Переходная характеристика (пункт №3)

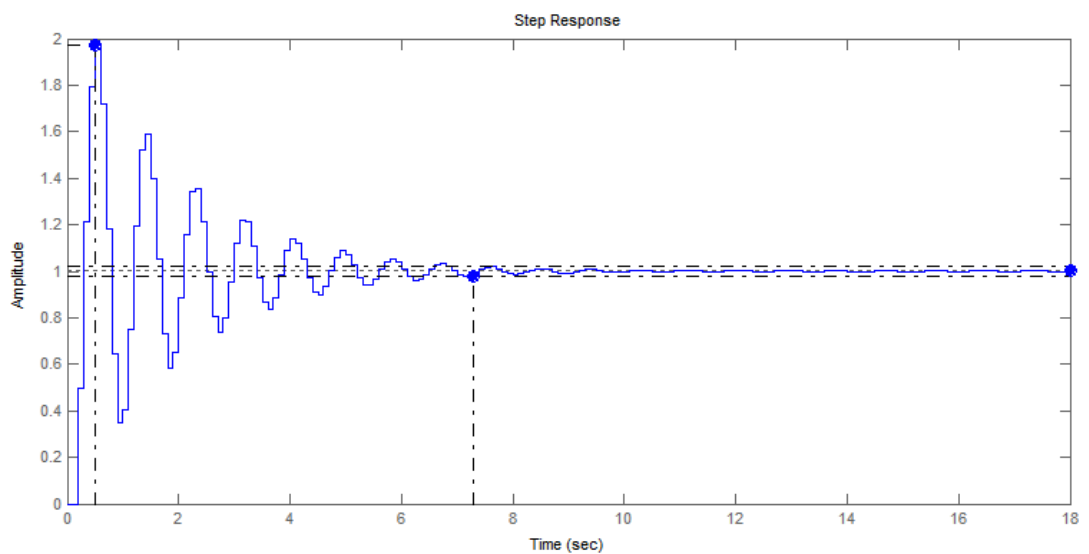


Рисунок 26 – Переходная характеристика (пункт №5)

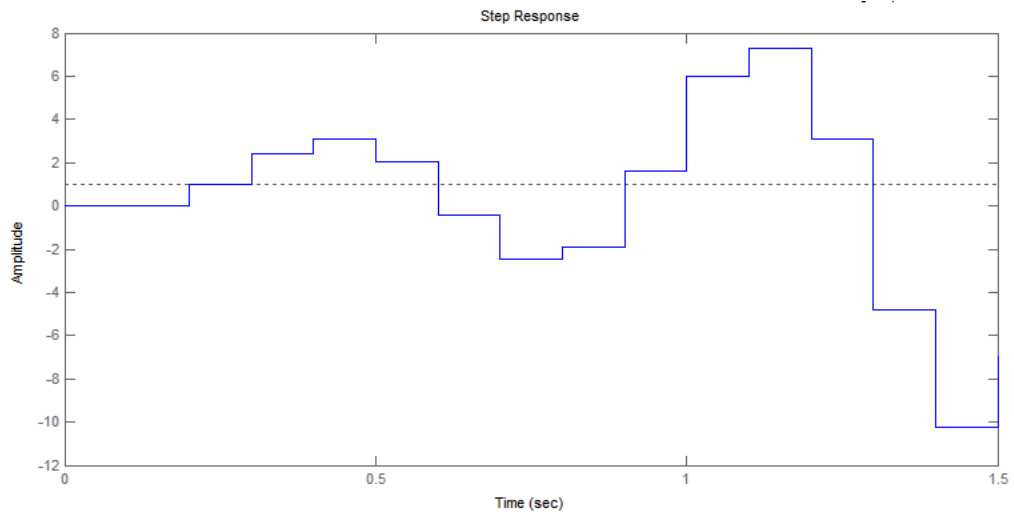


Рисунок 27 – Переходная характеристика (пункт №6)

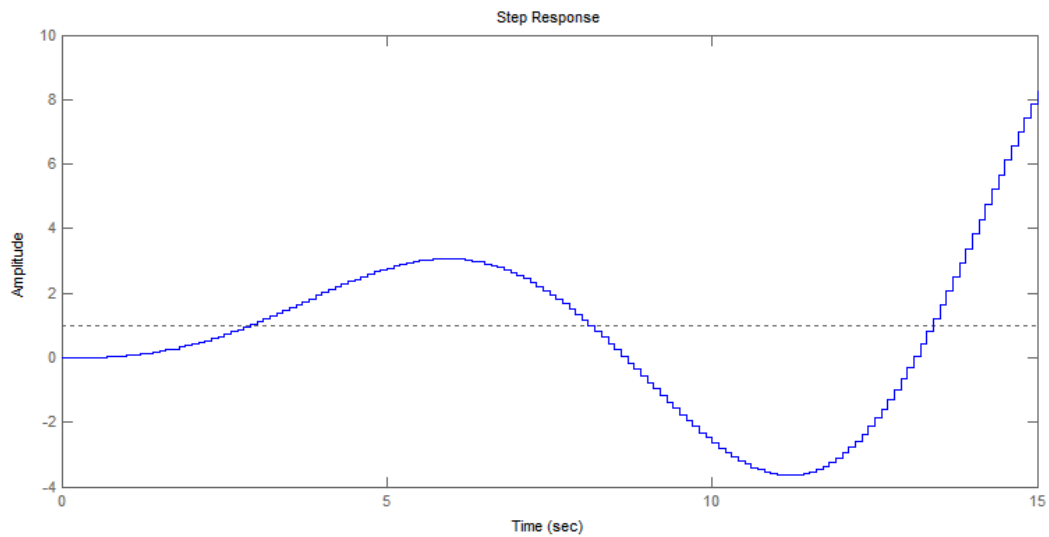


Рисунок 28 – Переходная характеристика (пункт №7)

3.2. Устойчивость и запасы устойчивости по фазе и амплитуде.

Таблица 8 – Исследование параметров устойчивости

| Параметры звеньев и системы | | | | | Исследуемые параметры | | | |
|-----------------------------|-----|-----|-------|-------|-----------------------|----------------------|------------------|-----------------------|
| № | K | T | T_1 | T_2 | $w_{ср},$ рад/сек | $w_{кр},$ рад/сек | Запас по фазе | Запас по амплитуде |
| 1 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 1 | 0,93 | 7,7 | 44 | 12 |
| 2 | 0,5 | 0,3 | 0,1 | 1 | 1,54 | 3,2 | 37 | 2,1 |
| 3 | 0,5 | 0,5 | 0,1 | 1 | 2,6 | 1,95 | -24 | 0,78 |
| 4 | 2 | 0,1 | 0,1 | 1 | 3 | 7,7 | 42 | 3 |
| 5 | 5 | 0,1 | 0,1 | 1 | 6,65 | 7,7 | 9,8 | 1,2 |
| 6 | 10 | 0,1 | 0,1 | 1 | 22,3 | 7,7 | -31 | 0,6 |
| 7 | 0,5 | 0,1 | 1 | 0,1 | 0,6 | 0 | -34 | 0 |

3.3. Точность слежения

Таблица 9 – Исследование параметров точности

| Параметры звеньев и системы | | | | | Исследуемые параметры ошибки | | |
|-----------------------------|-----|-----|-------|-------|------------------------------|-------------|--------------|
| № | K | T | T_1 | T_2 | По положению | По скорости | По ускорению |
| 1 | 0,5 | 0,1 | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 0,2 |
| 2 | 0,5 | 0,3 | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 0,28 |
| 3 | 0,5 | 0,5 | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 0,5 |
| 4 | 2 | 0,1 | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 0,2 |
| 5 | 5 | 0,1 | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 0,2 |
| 6 | 10 | 0,1 | 0,1 | 1 | 0 | 0 | 0,2 |
| 7 | 0,5 | 0,1 | 1 | 0,1 | 0 | 0 | 0,2 |

Исходя из полученных данных, при увеличении коэффициента усиления длительность переходного процесса увеличивается, и при достижении определенного значения процесс становится расходящимся; частота среза увеличивается, критическая частота остается неизменной, запас устойчивости по фазе уменьшается, как и запас устойчивости по амплитуде; ошибки по положению и скорости во всех случаях равны 0, ошибка по ускорению не изменяется. При увеличении периода дискретизации длительность переходного процесса уменьшается, однако при достижении определенного значения процесс становится расходящимся; величина перерегулирования увеличивается; частота среза увеличивается, критическая частота уменьшается, запас устойчивости по фазе уменьшается, по амплитуде также уменьшается; ошибка по ускорению возрастает.

Вывод

Исследовали модели дискретных радиоэлектронных следящих систем, проанализировали характеристик переходного и установившегося режимов работы, проанализировали устойчивости по ЛАЧХ и ЛФЧХ разомкнутых систем.