

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №12

### Расчёт области устойчивости нелинейной САП

**1.** Структурная схема лабораторной САП представлена на рис. 8.1.

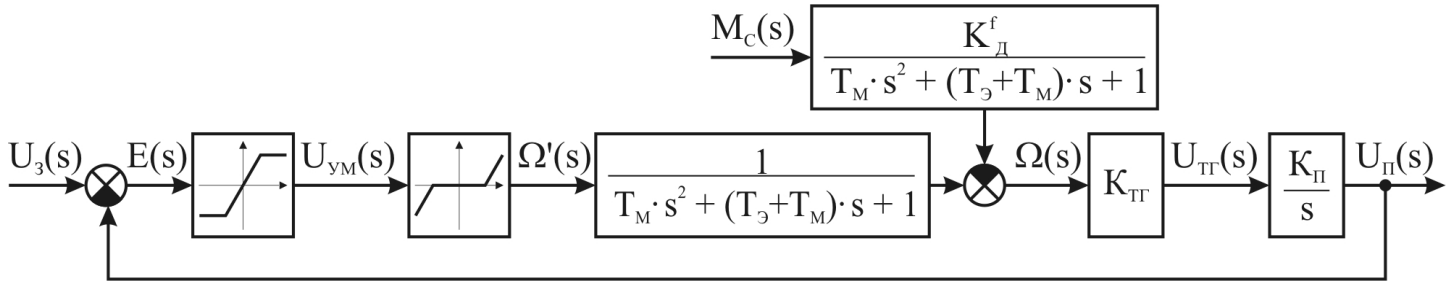
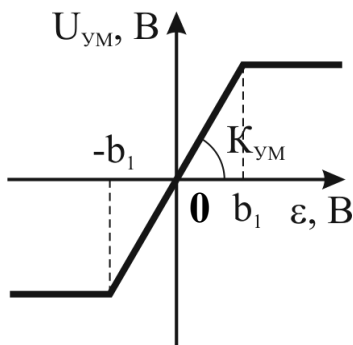


Рисунок 8.1 – Структурная схема лабораторной САП

Необходимо записать передаточные функции элементов для линейной САП, взяв в качестве передаточной функции электродвигателя следующую:

$$W_{\text{ЭД}}(s) = \frac{\Omega(s)}{\Omega'(s)} = \frac{1}{T_1 T_{\text{ЭМ}} \cdot s^2 + (T_1 + T_{\text{ЭМ}}) \cdot s + 1}.$$

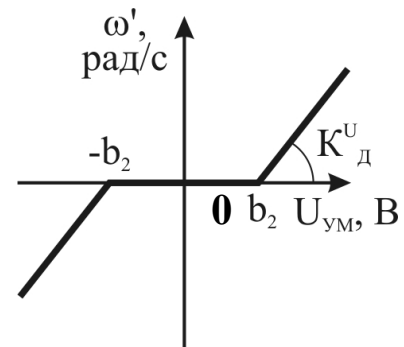
**2.** Бригады, сидящие за стендами с нечетными номерами в качестве нелинейного элемента используют усилитель мощности, а с четными номерами – электродвигатель СЛ-267. Внешний вид нелинейностей и их параметры приведены на рис. 8.2(а, б) соответственно.



$$K_{\text{УМ}}^{\min} = 0; \quad K_{\text{УМ}}^{\max} = K_{\text{УМ}};$$

$$U_{\text{УМ}} = \begin{cases} K_{\text{УМ}} \cdot \varepsilon, & \text{при } 0 \leq \varepsilon \leq b_1; \\ 0, & \text{при } \varepsilon > b_1. \end{cases}$$

а)



$$K_{\text{Д}}^{\min} = 0; \quad K_{\text{Д}}^{\max} = K_{\text{Д}}^{\text{У}};$$

$$\omega' = \begin{cases} 0, & \text{при } 0 \leq U_{\text{УМ}} \leq b_2; \\ K_{\text{Д}}^{\text{У}} \cdot U_{\text{УМ}}, & \text{при } U_{\text{УМ}} > b_2. \end{cases}$$

б)

Рисунок 8.2 – Характеристики нелинейных элементов  
(а – усилителя мощности, б – электродвигателя)

Общее выражение для гармонически линеаризованной нелинейной функции (результат разложения в ряд Фурье):

$$F(X) = \left( q(a) + \frac{q'(a)}{\omega} \cdot p \right) \cdot X;$$

$$W_{\text{НЭ}}(s) = \frac{F(s)}{X(s)} = q(a) + \frac{q'(a)}{\omega} \cdot s.$$

*Допущение:* характеристики симметричны относительно начала координат. С учетом принятого допущения, для симметричной однозначной нелинейности  $q'(a) = 0$ .

Для усилителя мощности:

$$q_{\text{УМ}}(a) = \begin{cases} K_{\text{УМ}}, & \text{при } a \leq b_1; \\ \frac{2 \cdot K_{\text{УМ}}}{\pi} \left( \arcsin\left(\frac{b_1}{a}\right) + \frac{b_1}{a} \sqrt{1 - \frac{b_1^2}{a^2}} \right), & \text{при } a > b_1. \end{cases}$$

Для электродвигателя:

$$q_{\text{ЭД}}(a) = \begin{cases} 0, & \text{при } a \leq b_2; \\ K_{\text{Д}}^{\text{У}} - \frac{2 \cdot K_{\text{Д}}^{\text{У}}}{\pi} \left( \arcsin\left(\frac{b_2}{a}\right) + \frac{b_2}{a} \sqrt{1 - \frac{b_2^2}{a^2}} \right), & \text{при } a > b_2. \end{cases}$$

Необходимо построить графики зависимостей  $q(a)$  для электродвигателя и усилителя мощности (рис. 8.3), подставляя в соответствующие выражения значения  $a$  и  $b$ .

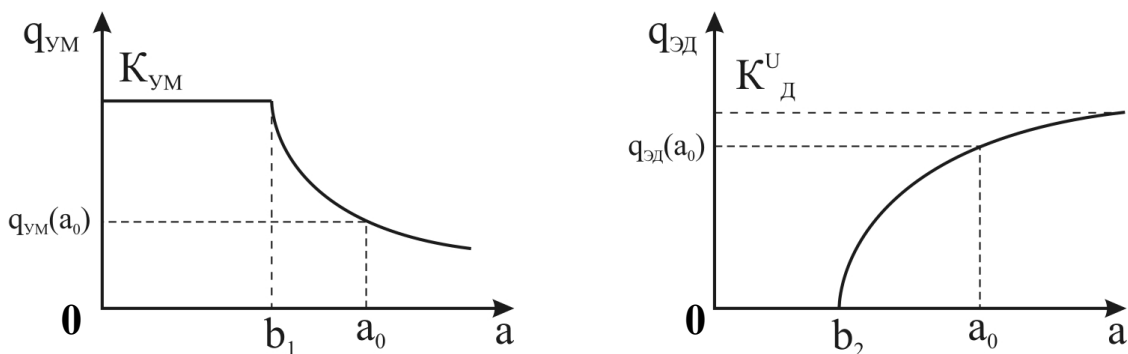


Рисунок 8.3 – Схематические изображения графиков зависимостей  $q(a)$

**3.** Записать передаточную функцию замкнутой САП с учетом гармонически линеаризованной нелинейности:

$$W_{\text{УМ}}(s) = \frac{U_{\text{УМ}}(s)}{E(s)} = q_{\text{УМ}}(a); \quad W_{\text{ЭД}}'(s) = \frac{\Omega'(s)}{U_{\text{УМ}}(s)} = q_{\text{ЭД}}(a);$$

$$\Phi_c(s) = \frac{U_{\text{П}}(s)}{U_3(s)} = \dots$$

**4.** Определить частоту и амплитуду автоколебаний в исходной системе.

Для этого используется характеристическое уравнение:

$$T_1 T_{\text{ЭМ}} \cdot s^3 + (T_1 + T_{\text{ЭМ}}) \cdot s^2 + s + K_{\text{ЛЧ}} \cdot q(a) = 0.$$

Частотное характеристическое уравнение получаем, выполнив подстановку  $s = j\omega$ :

$$-jT_1 T_{\text{ЭМ}} \omega^3 - (T_1 + T_{\text{ЭМ}}) \cdot \omega^2 + j\omega + K_{\text{ЛЧ}} \cdot q(a) = 0;$$

$$X(a, \omega) + jY(\omega) = 0.$$

Записать выражения для действительной и мнимой частей частотного характеристического уравнения, приравнять их нулю и из полученных уравнений выразить  $\omega_0$  и  $q(a)$ . По графику функции  $q(a)$  найти  $a_0$ , как показано на рис. 8.3.

Из выражения для  $X(a, \omega) = 0$  находим значение граничного коэффициента передачи линейной части системы  $K_{\text{ЛЧ}}^{\text{ГР}}$ , при  $q(a) = K_{\text{max}}$ .

**5.** Выполнить построение графика границы автоколебаний (рис. 8.4).

Для этого необходимо для 5-6 значений  $q(a) < K_{\text{max}}$  рассчитать значения коэффициента передачи линейной части  $K_{\text{ЛЧ}}$ .

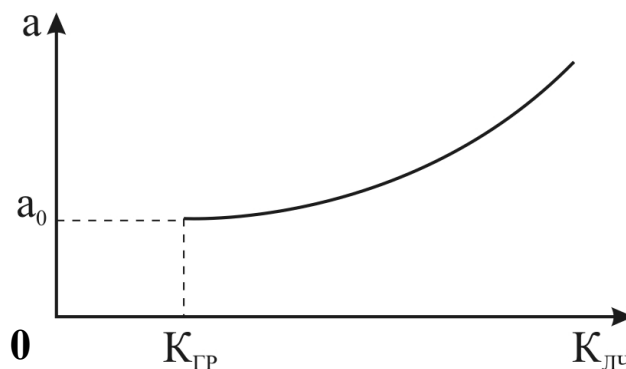


Рисунок 8.4 – Схематическое изображение графика границы автоколебаний

**6.** Произвести проверку, для чего при трех значениях  $K_{\text{ЛЧ}}$  ( $K_{\text{ЛЧ}1} < K_{\text{ГР}}$ ,  $K_{\text{ЛЧ}2} = K_{\text{ГР}}$ ,  $K_{\text{ЛЧ}3} > K_{\text{ГР}}$ ) методом Гурвица оценить устойчивость замкнутой САП.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5

## Экспериментальное исследование нелинейной САП

1. Принципиальная схема замкнутой САП представлена на рис. 8.1.

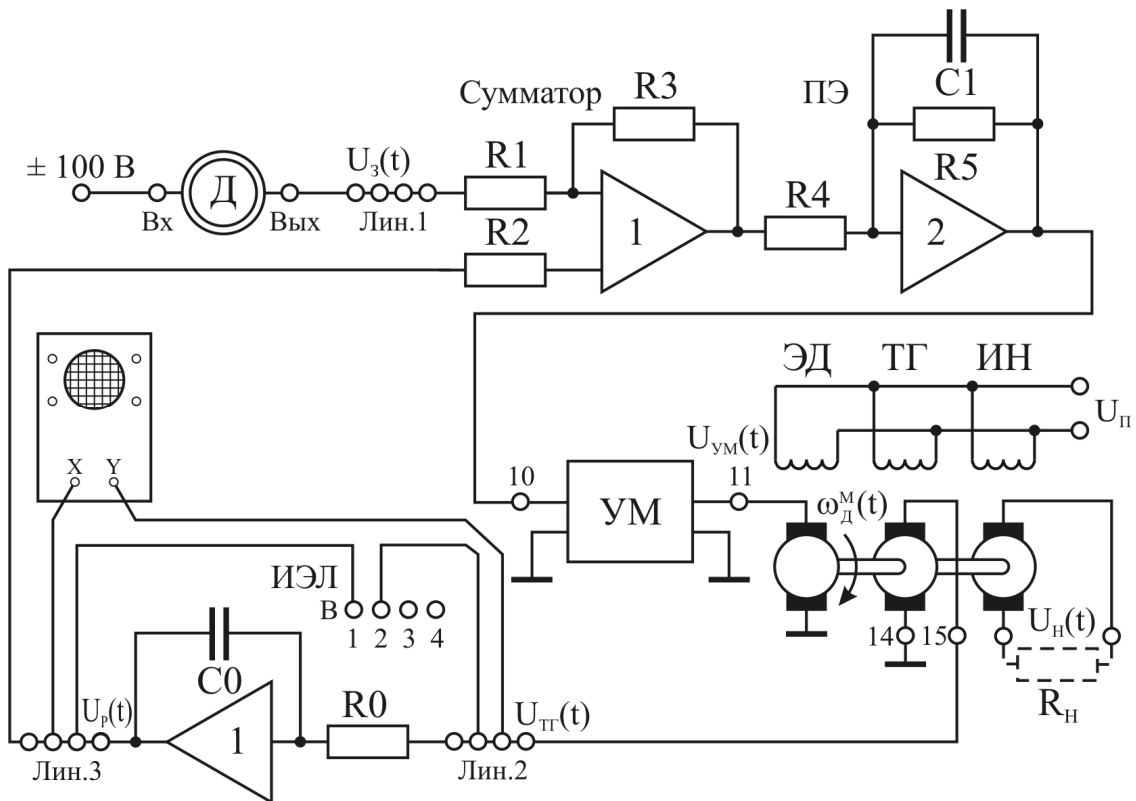


Рисунок 8.1 – Принципиальная схема замкнутой САП

Заданы граничное значение коэффициента передачи разомкнутой системы  $K_{РАЗ}^{ГР}$ , параметры интегрирующего элемента ( $R_0$ ,  $C_0$ ), номинал конденсатора преобразовательного элемента  $C_1=0.1$  мкФ. Коэффициент передачи преобразовательного элемента можно рассчитать по формуле:  $K_{ПЭ} = K_{РАЗ}^{ГР} / K_{РАЗ}^{ИСХ}$  или  $K_{ПЭ} = R_5 / R_4$ . Первоначально выбираем  $K_{ПЭ} = 1$ .

### 2. Построение переходных характеристик САП.

2.1. Изменяя номиналы резисторов  $R_4$  и  $R_5$  преобразовательного элемента, установить значения  $K_{РАЗ}$ , указанные в табл. 8.1.

Таблица 8.1 – Значения коэффициентов передачи разомкнутой системы

| $K_{РАЗ}$  |            |            |
|------------|------------|------------|
| $< K_{ГР}$ | $= K_{ГР}$ | $> K_{ГР}$ |
|            |            |            |

2.2. Переводя переключатель на осциллографе в положение «Коммутатор» и провести экспериментальное исследование динамики САП. Результаты исследований занести в табл. 8.2, полученные графики (рис. 8.2) перенести на миллиметровку. Затем перевести переключатель на осциллографе в положение «Входы» и выполнить построение фазового портрета. Полученные графики (рис. 8.3) перенести на миллиметровку. Изменить значение коэффициента передачи и повторить эксперимент.

Таблица 8.2 – Результаты экспериментальных исследований

| № | $K_{PA3}$  | $U_3, B$ | $U^{уст}_P, B$ | $t_{III}, c$ | $\sigma, \%$ | M | $a_{авт}, B$ | $\omega_{авт}, p/c$ |
|---|------------|----------|----------------|--------------|--------------|---|--------------|---------------------|
| 1 | $< K_{ГР}$ |          |                |              |              |   | –            | –                   |
| 2 | $= K_{ГР}$ |          |                |              |              |   |              |                     |
| 3 | $> K_{ГР}$ |          |                |              |              |   |              |                     |

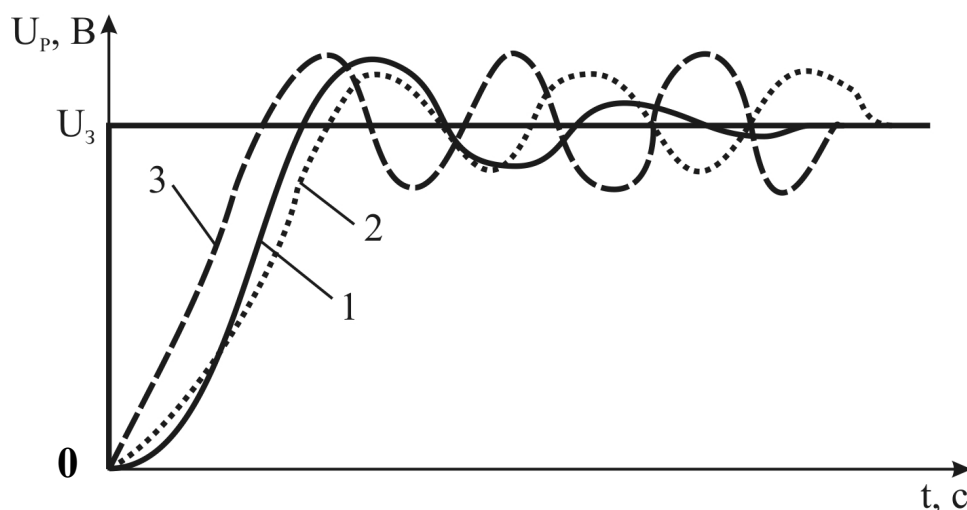


Рисунок 8.2 – Схематическое изображение получаемых переходных процессов

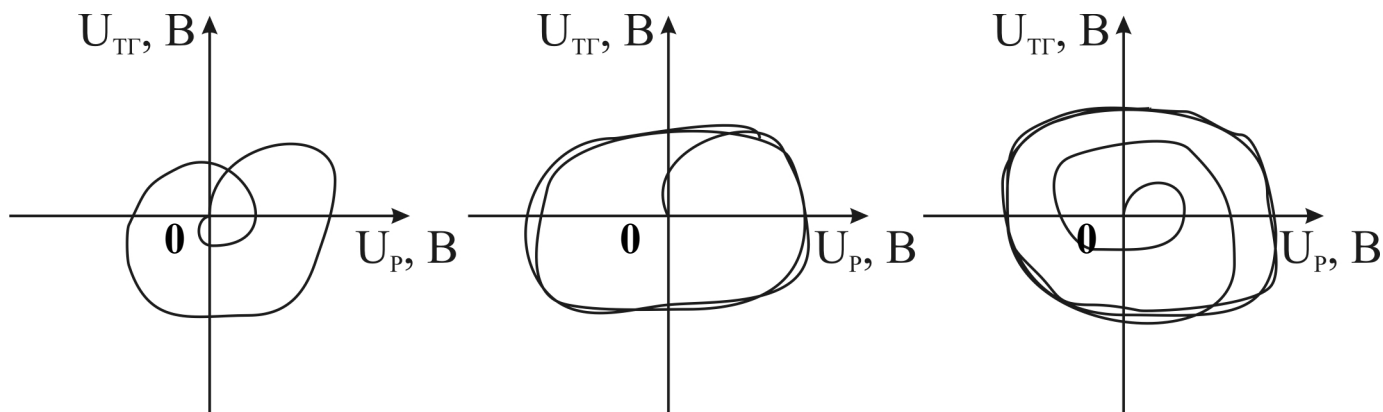


Рисунок 8.3 – Схематическое изображение получаемых фазовых портретов

**3.** Сделать выводы о проделанной работе.