

## Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Основы управления техническими системами»

Выполнение работы следует начинать с определения рабочей точки системы. Согласно технического задания двигатель в установившемся режиме должен создать на валу вращательный момент  $M=10+2*20=50$  (Нм) при угловой скорости вращения вала  $\omega = 250 - 5 * 20 = 150$  ( $c^{-1}$ ).

Пользуясь нагрузочными характеристиками (Рис. 1.1) найдём необходимое для этого напряжение, подаваемое на цепь якоря. Эту задачу можно решить графическим или аналитическим методами. Графический способ даёт значение напряжения  $U=70B$ , это видно из рисунка 2.1

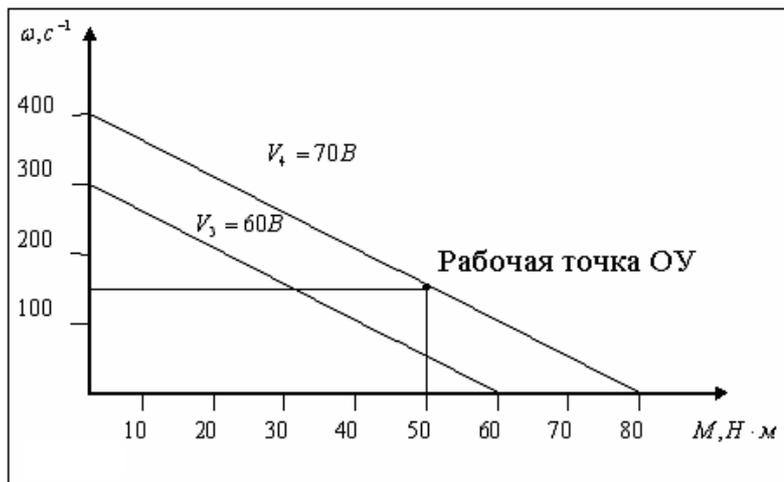


Рис. 2.1.

Таким образом, при подаче на цепь якоря двигателя напряжения  $70B$ - входной сигнал, при нагрузке  $50Hм$  в установившемся режиме, угловая скорость вала двигателя  $150c^{-1}$ - выходной сигнал. Отсюда находим передаточный коэффициент  $k_d$  в передаточной функции двигателя с нагрузкой:

$$W(p) = \frac{k_d}{1,5p + 1}.$$

При  $p \rightarrow 0$

$$\frac{k_d}{1,5p + 1} \cdot 70 \rightarrow 150, \quad k_d = \frac{150}{70} = 2,14.$$

Передаточная функция объекта управления принимает вид:

$$W(p) = \frac{2,14}{1,5p + 1}.$$

Так, как, статическая характеристика ШИМ нелинейная, проведем линеаризацию в окрестности рабочей точки  $U_{вых}=70B$  для данного звена системы, переходя к новым координатам.

При входных напряжениях  $2B$  и  $2,5B$  соответствующие выходные напряжения равны  $63B$  и  $73B$ . Уравнение прямой, проходящей через эти две точки  $U_{вых}=20U_{вх}+23$ . Отсюда  $\Delta U_{ВЫХ} = 20 \cdot \Delta U_{ВХ}$ , где  $\Delta U_{ВЫХ}$  - изменение выходного напряжения в окрестности рабочей точки ШИМ;  $\Delta U_{ВХ}$  - изменение входного сигнала в окрестности рабочей точки. Коэффициент  $20$  – передаточный коэффициент (передаточное число) широтно-импульсного модулятора – регулирующего органы системы.

В стационарном режиме для создания входного напряжения на двигателе  $70B$ , на входе ШИМ должен быть  $\Delta U_{ВХ}$ , значение которого найдем из уравнения  $70 = 20 \cdot \Delta U_{ВХ} + 23$ ;  $\Delta U_{ВХ} = 2,35B$ .

Угловая скорость вращения вала электродвигателя  $\omega = 150 \text{ с}^{-1}$  преобразовывается тахогенератором в выходное для него напряжение  $U = 5,5 * 10^{-3} * 150 = 0,825 \text{ В}$ .

Разработка структурной и алгоритмической схем САУ.

Структурная схема системы автоматического управления представлена рисунке 2.2

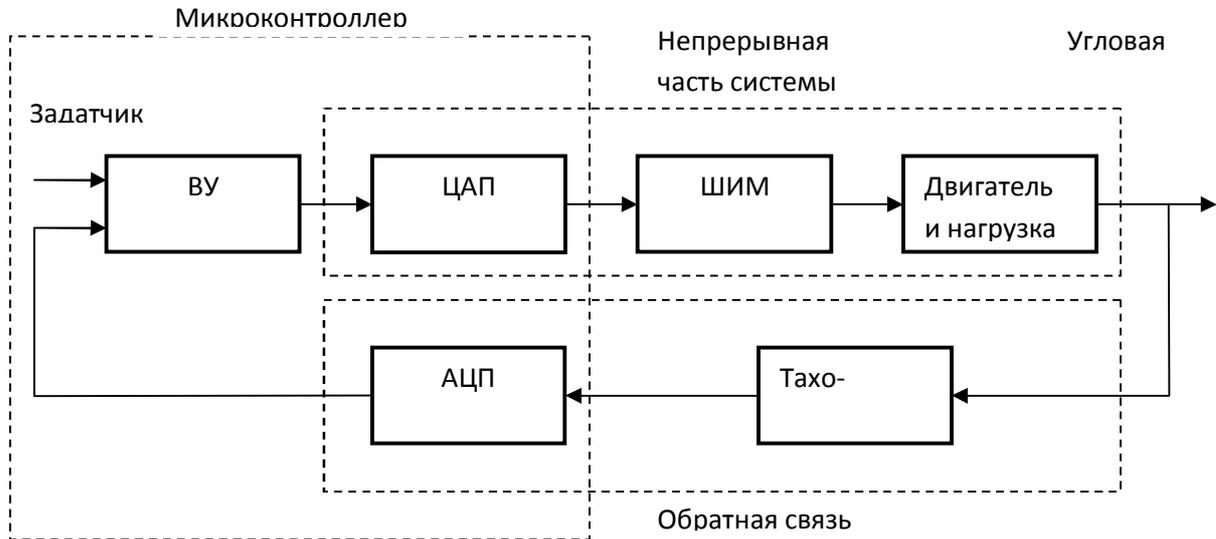


Рис. 2.2

В состав проектируемой системы входят:

- объект управления- двигатель постоянного тока с нагрузкой;
- регулирующий орган- широтно-импульсный модулятор (ШИМ);
- измерительный преобразователь скорости вращения вала двигателя- тахогенератор;
- микроконтроллер, содержащий в составе: вычислительное устройство (ВУ), аналого-цифровой преобразователь (АЦП), цифро-аналоговый (ЦАП).

Непрерывная часть системы состоит из объекта управления, ШИМ и ЦАП. Обозначим передаточную функцию, непрерывной части,  $W_{нч}(p) = W(p)$ .

В цепи обратной связи, тахогенератор преобразовывает сигнал на выходе объекта управления- частоту вращения вала  $\omega$  в напряжении  $0,825 \text{ В}$ , которое поступает на вход АЦП. С выхода АЦП сигнал, преобразованный в дискретную цифровую формулу, поступает в блок сравнения ВУ, где происходит его вычитание из цифрового сигнала задатчика ( $150$ ) и формируется сигнал рассогласования. В данной цифровой системе автоматического управления обратная связь является отрицательной, с коэффициентом передачи ( $-1$ ).

Согласно техническому заданию, необходимо запрограммировать ВУ микроконтроллера на реализацию ПИ-закона регулирования; установить задающий сигнал – частоту вращения вала электродвигателя  $150 \text{ с}^{-1}$ ; задать тактовую частоту, определив дискретность интервала времени.

Алгоритмическая структура системы автоматического управления будет иметь вид, представленный на рисунке 2.3.

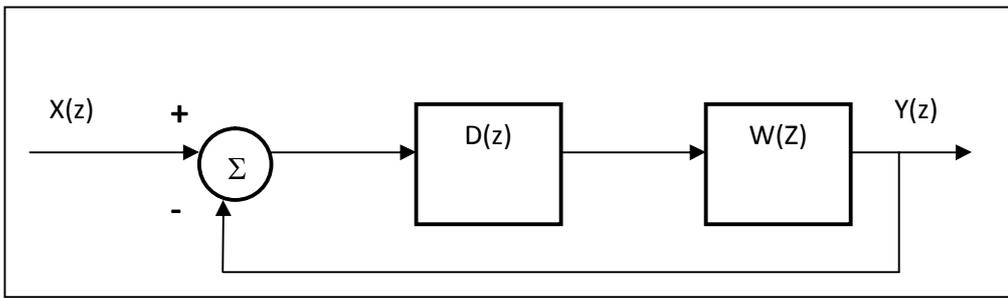


Рис. 2.3

$D(z)$  - дискретная передаточная функция ПИ-регулятора;

$W(z)$  - дискретная передаточная функция непрерывной части системы.

2.3. Представление передаточной функции непрерывной части системы в дискретной  $z$ -форме.

Передаточная функция двигателя с нагрузкой:

$$W_1(p) = \frac{2,14}{1,5p + 1}.$$

Постоянная времени данного объекта  $T=1,5c$ . При подаче на вход напряжения  $70B$ , вал двигателя достигает установившейся скорости вращения  $150 c^{-1}$  за время  $\tau = 4 - 5T$ , т.е. за  $6- 7,5 c$ . График переходного процесса, смоделированного в прикладном программном пакете VisSim для данного объекта без системы автоматического управления представлен на рисунке 2.4.

Согласно техническому заданию в проектируемой замкнутой системе управления, время разгона должно быть не более  $1 c$ . Интервал дискретности по времени  $\Delta t = T_0$  должен быть хотя бы на порядок меньше времени разгона. Поэтому для дальнейших расчетов принимаем значение  $T_0 = 0,1 c$ .

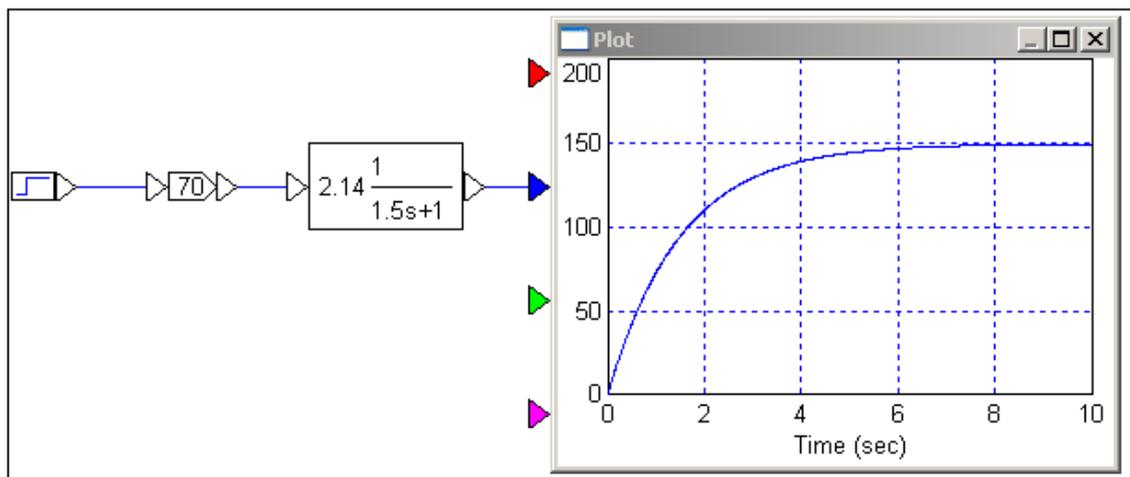


Рис. 2.4

Получим передаточную функцию непрерывной части системы в дискретной форме при  $T_0 = 0,1 c$ . Непрерывная часть состоит: из объекта управления – двигателя с нагрузкой; регулирующего органа – ШИМ; цифро-аналогово преобразователя – ЦАП.

В качестве ЦАП применим экстраполятор нулевого порядка, с передаточной функций:

$$W_0(p) = \frac{1 - e^{-pT_0}}{p}.$$

Передаточная функция ШИМ имеет вид:

$$W_2(p) = 20.$$

Передаточная функция всей непрерывной части системы имеет вид:

$$W(p) = W_2(p) \cdot W_0(p) \cdot W_1(p)$$

После подстановки получим:

$$W(p) = 20 \cdot \frac{1 - e^{-pT_0}}{p} \cdot \frac{2,14}{1,5p + 1} = 42,8 \cdot \left( \frac{1}{(1,5p + 1)p} \right) \cdot (1 - e^{-pT_0}).$$

Множитель  $\frac{1}{(1,5p + 1)p}$  представим в виде суммы двух простых дробей:

$$\frac{1}{(1,5p + 1)p} = \frac{1}{p} - \frac{1,5}{1,5p + 1},$$

тогда

$$W(p) = 42,8 \cdot \left( \frac{1}{p} - \frac{1,5}{1,5p + 1} \right) \cdot (1 - e^{-pT_0}) = 42,8 \left( \frac{1}{p} - \frac{1}{p + 0,667} \right) \cdot (1 - e^{-pT_0}).$$

Из таблицы (1.1.1) находим соответствующие представления выражений в дискретной z-форме:

$$\frac{1}{p} \Rightarrow \frac{z}{z - 1};$$

$$\frac{1}{p + 0,667} \Rightarrow \frac{z}{z - e^{-0,667 \cdot T_0}} = \frac{z}{z - 0,93},$$

значение  $z - e^{-0,667 \cdot T_0} = z - e^{-0,0667} = 0,930$ ;

$$(1 - e^{-pT_0}) \Rightarrow (1 - z^{-1}).$$

Сделав соответствующие подстановки получим передаточную функцию непрерывной части системы в z-форме:

$$W(z) = 42,8 \cdot \left( \frac{z}{z - 1} - \frac{z}{z - 0,93} \right) \cdot (1 - z^{-1}).$$

После алгебраических преобразований это выражение принимает окончательный вид:

$$W(z) = \frac{3}{z - 0,93}.$$

2.4. Определение области устойчивости САУ. Определение параметров ПИ-регулятора.

Дискретная передаточная функция замкнутой системы с единичной отрицательной обратной связью находится из выражения:

$$\Pi(z) = \frac{D(z) \cdot W(z)}{1 + D(z) \cdot W(z)},$$

где  $D(z)$  – передаточная функция ПИ-регулятора, которая в дискретной z-форме имеет вид:

$$D(z) = k_1 \left( 1 + \frac{T_0}{T_H} \cdot \frac{1}{1 - z^{-1}} \right),$$

где  $k_1$ ,  $T_H$  – параметры регулятора,  $T_0$  – интервал дискретности времени.

Определим область устойчивости САУ и выберем значения параметров регулятора  $k_1$  и  $T_H$  из найденной области устойчивости.

Приравняв знаменатель выражения для  $\Pi(z)$  к нулю, получим характеристическое уравнение:  $1 + D(z) \cdot W(z) = 0$ .

При  $T_0 = 0,1$  с.:

$$D(z) = k_1 \left( 1 + \frac{0,1}{T_H} \cdot \frac{1}{1-z^{-1}} \right) = k_1 + \frac{k_1 \cdot 0,1}{T_H} \cdot \frac{1}{1-z^{-1}} =$$

$$= k_1 + \frac{k_2}{1-z^{-1}} = \frac{(k_1 + k_2)z - k_1}{z - 1}$$

где  $k_2 = \frac{0,1k_1}{T_H}$ .

Передаточная функция непрерывной части:  $W(z) = \frac{3}{z - 0,93}$ .

В таком случае,  $1 + D(z) \cdot W(z) = 1 + \frac{(k_1 + k_2)z - k_1}{z - 1} \cdot \frac{3}{z - 0,93} = 0$ .

После алгебраических преобразований характеристическое уравнение принимает вид:

$$z^2 + (3k_1 + 3k_2 - 1,93) \cdot z + (0,93 - 3k_1) = 0.$$

Для определения искомых параметров настроек  $k_1$  и  $k_2$ , при которых система устойчива, воспользуемся методом замены переменных.

Подставляя в полученное уравнение  $z = \frac{\omega + 1}{\omega - 1}$ , получим:

$$3k_2 \omega^2 + (0,14 + 6k_1)\omega + (3,86 - 6k_1 - 3k_2) = 0.$$

Условием устойчивости системы является отрицательность вещественной части корней полученного уравнения. Для этого в соответствии с алгебраическим критерием устойчивости Рауса, должны выполняться неравенства:

$$\begin{cases} 3k_2 > 0 \\ 0,14 + 6k_1 > 0 \\ 3,86 - 6k_1 - 3k_2 > 0 \end{cases}.$$

Первые два неравенства очевидны. Из третьего получаем:

$$k_2 < -2k_1 + 1,287.$$

На рисунке 2.5 изображена область устойчивости по параметрам  $k_1$  и  $k_2$ , цифровой системы автоматического управления двигателем постоянного тока с нагрузкой.

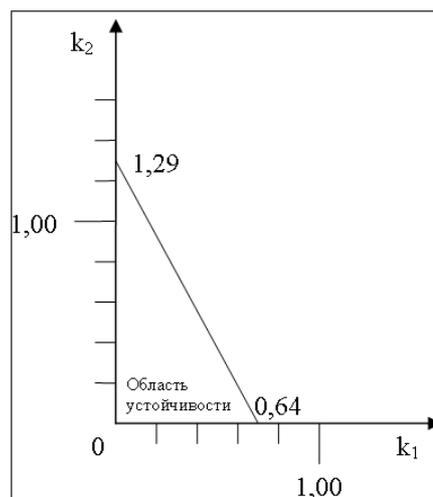


Рис. 2.5.

Из графика видно, что значения коэффициента усиления  $k_1$  ПИ-регулятора ограничено,  $k_1 < 0,64$ . Возьмем значение  $k_1 = 0,3$  ( $k_1 = 0,3 < 0,64$ ) из области устойчивости

настроек. При значении  $k_2 = 0,3$ , из выражения  $k_2 = \frac{0,1k_1}{T_H}$  получим значение  $T_H = 0,1$  с, что равно интервалу дискретности по времени.

При  $T_H = 0,5$  с., значение  $k_2 = \frac{0,1 \cdot 0,3}{0,5} = 0,6$ , что принадлежит области устойчивости. Принимаем значения параметров ПИ-регулятора:  $k_1 = k_2 = 0,3$  и  $T_H = 0,1$  с., выражение для передаточной функции цифрового ПИ-регулятора с полученными параметрами из области устойчивости настроек, принимает вид:

$$D(z) = 0,3 \left( 1 + \frac{0,1}{0,5} \cdot \frac{1}{1-z^{-1}} \right) = \frac{0,36z - 0,3}{z - 1}$$

Построение алгоритмической цифровой модели системы управления и анализ переходного процесса.

По полученным передаточным функциям в дискретной z- форме ПИ- регулятора и объекта управления с блоком силовой электроники, используя контур обратной связи строим модель системы управления (рис. 2.6.) По графику переходного процесса определяем:

- точность регулирования  $\frac{\Delta\omega}{\omega} 100\% = \frac{152 - 150}{150} 100 = 1,3\%$ ,
- перерегуливание  $\frac{\omega_{\text{макс}} - \omega}{\omega} 100\% = \frac{165 - 150}{150} 100\% \approx 9,0\%$
- время регулирования- не более 1 сек.

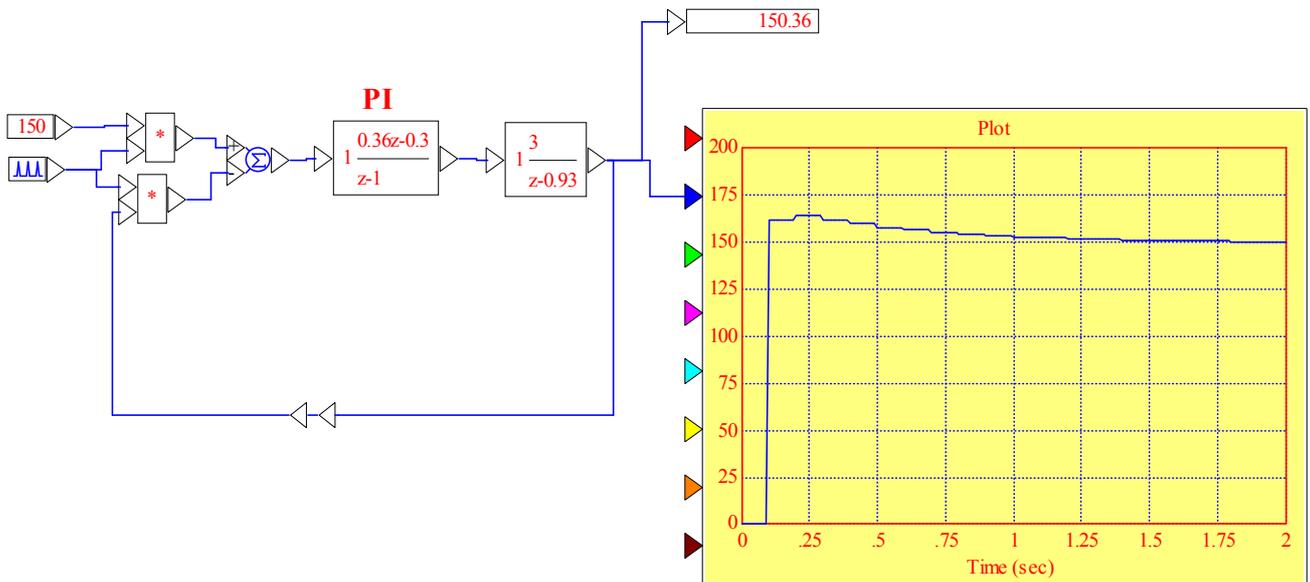


Рис. 2.6.

Можно сделать вывод, что спроектированная цифровая система управления соответствует техническому заданию.