

УДК 681.533.56

## СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ УЗЛОМ РЕДУЦИРОВАНИЯ ГАЗА С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

**Киршин А.И., магистрант; Мартиросян А.Э., магистрант;**

**Иванов Б.А., доцент, к.т.н.**

*(Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Россия)*

Для поддержания заданных параметров потока газа в магистральном трубопроводе используются краны-регуляторы (КР), управляемые пневматическими или гидравлическими системами, которые из-за своей невысокой надежности требуют частых ремонтов.

Альтернативой перечисленным системам могут стать электроприводные системы управления, обладающие потенциально высокими показателями надежности. Асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором (АДКЗ) управляется системой векторного управления (СВУ), которая может обеспечить работу АДКЗ при скоростях значительно ниже номинальной. Функциональная схема системы автоматического управления (САУ) узлом редуцирования газа (УРГ) представлена на рисунке 1. Система автоматического управления составлена в соответствии с математической моделью, представленной в [1].

В САУ реализован принцип подчиненного регулирования координат УРГ. Основной регулируемой координатой является давление газа на выходе из УРГ (регулирование осуществляется регулятором давления РД во внешнем контуре), также имеются два параллельных подчиненных контура регулирования углов поворота ( $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ ) запорных механизмов КР (управление осуществляется регуляторами угла поворота РУ).

Каждый АДКЗ управляется отдельной СВУ. Система векторного управления содержит два канала управления: канал потокосцепления (КПс), на входе которого действует управление  $u_{3п}$ , а выходной величиной является потокосцепление ротора  $\Psi_2$ , определяемое косвенным методом через  $i_{1x}$  (проекция тока статора на ось X подвижной двухфазной системы координат), и канал скорости (КС) с входным сигналом  $u_{3с}$  и выходной величиной в виде угловой скорости вращения вала ротора  $\omega$ , измеряемой датчиком скорости (ВР). С помощью преобразователей координат (ПК) осуществляется последовательное преобразование: сначала, из подвижной двухфазной системы координат (СК) ( $x, y$ ) в неподвижную двухфазную ( $\alpha, \beta$ ), как  $u_\alpha = u_x \cos \theta_0 - u_y \sin \theta_0$ ,  $u_\beta = u_x \sin \theta_0 + u_y \cos \theta_0$  (где  $\theta_0$  – угол между вектором потокосцепления и осью  $\alpha$ ), а затем, из двухфазной в трёхфазную, как  $u_{yA} = u_\alpha$ ,  $u_{yB} = -0,5u_\alpha + \sqrt{3}u_\beta/2$ ,

$u_{yC} = -0,5u_{\alpha} - \sqrt{3}u_{\beta}/2$ . В цепи обратной связи стоит ПК, выполняющий обратное преобразование: из трёхфазной СК в двухфазную ( $\alpha, \beta$ ) ( $i_{1\alpha} = i_{1A}\sqrt{3/2}$ ,  $i_{1\beta} = (i_{1A} + 2i_{1B})/\sqrt{2}$ ), а затем из неподвижной СК в подвижную ( $i_{1x} = i_{1\alpha} \cos \theta_0 + i_{1\beta} \sin \theta_0$ ,  $i_{1y} = -i_{1\alpha} \sin \theta_0 + i_{1\beta} \cos \theta_0$ ).

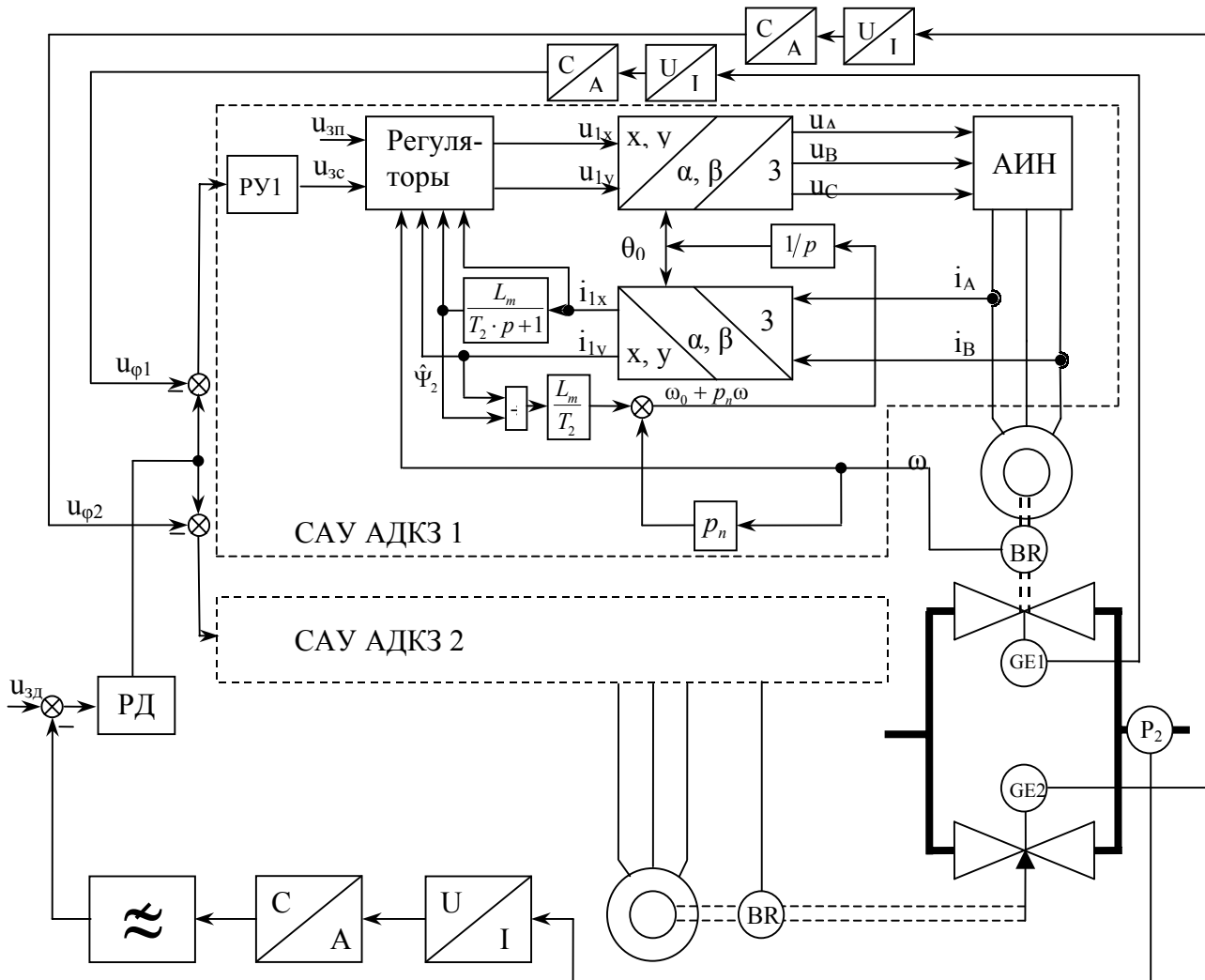


Рисунок 1 – Функциональная схема САУ УРГ

Автономный инвертор напряжения (АИН), имеет передаточную функцию (ПФ)  $W_{\text{АИН}}(p) = k_{\text{АИН}} / (T_{\mu} p + 1)$ , где  $T_{\mu} = 0,001 - 0,002 \text{ с}$  – малая постоянная времени,  $k_{\text{АИН}} = \frac{u_{1A}^m}{u_A^m} = \frac{u_{1B}^m}{u_B^m} = \frac{u_{1C}^m}{u_C^m}$ , где в свою очередь  $u_{1A}^m = u_{1B}^m = u_{1C}^m$  – амплитуда напряжения преобразователя;  $u_A^m = u_B^m = u_C^m$  – амплитуда сигнала управления.

Инвертор должен обеспечивать малую частоту трехфазной сети питания АДКЗ, при которой его вал будет поворачиваться со скоростью 0,25 оборота за 60...120 с – это необходимо, для того чтобы не произошло гидравлического удара. Так же АИН должен обеспечивать малую дискретность изменения частоты, для достижения необходимой точности регулирования.

Если ставится задача уменьшения мощности АДКЗ (в ущерб качеству управления), то может устанавливаться понижающий редуктор.

Для расчета мощности электродвигателя необходимы следующие параметры: момент АДКЗ и требуемая скорость закрытия (открытия) КР. После чего мощность АДКЗ можно определить из:  $P_{cp} = M_{дв} \cdot \omega \cdot k_3$ , где  $M_{дв}$  – момент развиваемый АДКЗ;  $\omega$  – скорость поворота запорного механизма КР;  $k_3$  – коэффициент запаса по мощности. Далее выбирается исполнение АДКЗ (для газопровода взрывозащищенный). Рекомендуется выбирать электродвигатель, предназначенный для систем частотного регулирования, т.к. изменение частоты питания двигателя на стандартных АДКЗ может привести к быстрому износу изоляции.

Блок регуляторов СВУ раскрыт на рисунке 2.

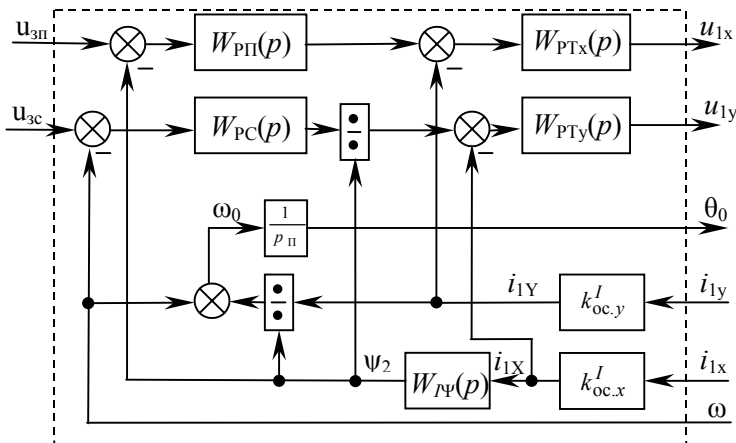


Рисунок 2 – Блок регуляторов СВУ АДКЗ

Имеются регуляторы проекций тока статора: РТ<sub>х</sub> – в КПс и РТ<sub>у</sub> – в КС. Кроме того, имеется регулятор потокосцепления (РП) в КПс и регулятор скорости (РС) в КС.

Методика настройки регуляторов СВУ заключается в определении структуры и параметров каждого регулятора при следующих допущениях: обратные связи по  $\psi_2$  и по ЭДС считаются несущественными (это обоснованно в [2]) и не учитываются; блок деления на выходе РС (см. рис. 2) полностью компенсирует влияние потокосцепления в КС. Передаточные функции (ПФ) регуляторов определяются методом последовательной оптимизации контуров с настройкой на технический оптимум (ТО). Приравнивая ПФ разомкнутого контура управления током по КПс к оптимальной для ТО, получаем выражение:

$$W_{рТх}(p)W_{АИН}(p)k'_{oc.x}/(R'(T_3p+1))=1/(2T_\mu p(T_\mu p+1)),$$

где:  $T_3 = L'/R'$ ,  $L_1 - L_m^2/L_2 = L'$ ;  $R_1 + R_2L_m^2/L_2 = R'$ ;  $L_1 = L_{\sigma 1} + L_m$ ,  $L_2 = L_{\sigma 2} + L_m$ ,  $L_{\sigma 1}, L_{\sigma 2}$  – индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора;  $L_{12}$  – взаимная индуктивность фазных обмоток статора и ротора;  $L_m = 3L_{12}/2$  – индуктивность от главного потока;  $R_1, R_2$  сопротивления обмоток фаз статора и ротора соответственно  $k'_{oc.x}$  – коэффициент обратной связи по току в КПс.

Отсюда ПФ регулятора

$$W_{рТх}(p) = R'(T_3p+1)/(2T_\mu k'_{oc.x} k_{АИН} p).$$

В результате замкнутый контур тока будет иметь оптимальную ПФ:

$$W_{\text{КПС}}^I(p) = 1 / (k_{\text{ос.х}}^I (2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu} p + 1)).$$

Далее определяется ПФ регулятора потокосцепления:

$$W_{\text{П}}(p) W_{\text{КПС}}^I(p) W_{\text{РП}}(p) = 1 / (4T_{\mu} p (2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu} p + 1)),$$

где  $W_{\text{РП}}(p) = L_m / (T_2 p + 1)$ ;  $T_2 = L_2 / R_2$ .

Откуда

$$W_{\text{П}}(p) = (T_2 p + 1) k_{\text{ос.х}}^I / (4T_{\mu} L_m p).$$

Полученный ПИ-регулятор обеспечит астатизм контура потокосцепления.

Аналогично определяются ПФ регуляторов тока и скорости в КС. Пренебрегая обратной связью по ЭДС, при  $k_{\text{ос.х}}^I = k_{\text{ос.у}}^I$ , получим

$$W_{\text{РТх}}(p) = W_{\text{РТу}}(p) = R'(T_3 p + 1) / (2T_{\mu} k_{\text{ос.у}}^I k_{\text{АИН}} p).$$

Для определения ПФ П-регулятора скорости запишем условие ТО:

$$W_{\text{РС}}(p) W_{\text{КС}}^I(p) \frac{\Psi_2 k_m k_{\text{ос}}^{\omega}}{J_{\Sigma} p} = \frac{1}{4T_{\mu} p (2T_{\mu}^2 p^2 + 2T_{\mu} p + 1)},$$

где ;  $W_{\text{КС}}^I(p)$  – ПФ замкнутого контура тока в КС ( $W_{\text{КС}}^I(p) = W_{\text{КПС}}^I(p)$ );  $\Psi_2$  – потокосцепление ротора;  $J_{\text{АДКЗ}}$  – момент инерции;  $k_m = (3p_{\text{П}} L_m) / (2L_2)$ ;  $p_{\text{П}}$  – число пар полюсов;  $k_{\text{ос}}^{\omega}$  – коэффициент обратной связи по скорости.

Отсюда

$$W_{\text{РС}}(p) = \frac{k_{\text{ос.у}}^I}{k_{\text{ос}}^{\omega}} \cdot \frac{J}{4T_{\mu} \Psi_2 k_m}.$$

Так как  $\Psi_2$  – переменная величина, то на выходе регулятора скорости с ПФ  $W_{\text{РС}}(p) = (k_{\text{ос.у}}^I \cdot J) / (k_{\text{ос}}^{\omega} \cdot 4T_{\mu} k_m)$  устанавливается блок деления на  $\Psi_2$ , как показано на рис. 2.

Ввиду того, что газовая часть объекта управления является существенно нелинейной, определить параметры регуляторов РД, РУ-1 и РУ-2 аналитическим методом невозможно. Они определяются экспериментальным путем по методике изложенной в [3]. Регуляторами углов закрытия являются П-регуляторы. В качестве РД используется ПИД-регулятор с независимыми параметрами.

#### Перечень ссылок.

1. Киршин А.И., Мартиросян А.Э. Математическая модель узла редуцирования газа с электроприводными кранами-регуляторами / В настоящем сборнике.
2. Киршин А.И., Мартиросян А.Э. Расчет регуляторов системы векторного управления асинхронным электроприводом / Межрег. молодежная науч. конф. «Севергеоэкотех-2003»: Матер. конф. – Ухта, 2003. – С. 43-45.
3. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: Справочное руководство. Пер. с нем. – М.: Мир 1982. – 512 с.