

Двухпозиционный регулятор уровней воды для водонапорной башни

Виктор Гаврилович Петько, Ильмира Агзамовна Рахимжанова, Владимир Александрович Шахов, Максим Борисович Фомин, Владислав Анатольевич Пушко, Владимир Валерьевич Пугачев

Оренбургский государственный аграрный университет, г. Оренбург, Россия

e-mail: pvv056@list.ru

Аннотация. Статья посвящена описанию электрической схемы и принципа действия регулятора уровней воды в баке водонапорной башни. Исполнительным органом регулятора, непосредственно осуществляющим включение и отключение электронасосного агрегата системы водоподъема, является магнитный пускатель, катушка которого управляется в свою очередь электронным ключом, перевод которого в закрытое состояние осуществляется подачей на его низкоомный вход сигнала тока от формирователя сигнала управления, обладающего гистерезисной характеристикой «вход-выход». Формирователь выполнен на дискретных электронных элементах: резисторах, диодах и транзисторах. Регулятор обеспечивает двухпозиционное регулирование уровня по сигналам различных по принципу действия датчиков уровня или давления, в том числе электродных, поплавковых, электроконтактных манометров, реле давления. Организация в регуляторе двойной положительной обратной связи обеспечивает четкое без «дребезга» срабатывание магнитного пускателя. При этом для передачи сигналов от датчиков к регулятору количество проводов линии связи уменьшено с двух до одного, что с учетом большой удаленности водонапорной башни от источника воды, повышает надежность связи и снижает затраты на ее сооружение. Этому способствует также и то, что для управления на вход регулятора от датчиков подаются сигналы переменного тока сравнительно малой величины (до 4–5 мА), исключающие их заметное ослабление при передаче на расстояние 2 и даже более километров по проводам малого сечения (1,0–1,5 мм²). Многократно снижается при этом и электрохимическая коррозия электродов.

Ключевые слова: датчик; ключ; резистор; обратная связь; диод; магнитный пускатель

Для цитирования: Петько В. Г., Рахимжанова И. А., Шахов В. А., Фомин М. Б., Пушко В. А., Пугачев В. В. Двухпозиционный регулятор уровней воды для водонапорной башни // Аграрный научный журнал. 2024. № 1. С. 125–132. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i1pp125-132>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Two-position water level control for water tower

Viktor G. Petko, Ilmira A. Rakhimzhanova, Vladimir A. Shakhov, Maksim B. Fomin, Vladislav A. Pushko, Vladimir V. Pugachev

Orenburg State Agrarian University, Orenburg, Russia

e-mail: pvv056@list.ru

Abstract. The article is devoted to the description of the electrical circuit and the principle of operation of the water level regulator in the water tower tank. The executive body of the regulator, which directly turns on and off the electric pump unit of the water lifting system, is a magnetic starter, the coil of which is controlled in turn by an electronic key, the transfer of which to the closed state is carried out by applying a current signal to its low-resistance input from the control signal shaper, which has a hysteresis characteristic “input -exit”. The shaper is made on discrete electronic elements: resistors, diodes and transistors. The regulator provides on-off level control according to the signals of level or pressure sensors of various operating principles, including electrode, float, electrocontact pressure gauges, and pressure switches. The organization of a double positive feedback in the regulator ensures a clear operation of the magnetic starter without “bounce”. At the same time, to transmit signals from sensors to the regulator, the number of wires of the communication line is reduced from two to one, which, taking into account the large distance of the water tower from the water source, increases the reliability of communication and reduces the cost of its construction. This is also facilitated by the fact that to control the





input of the regulator from the sensors, alternating current signals of a relatively small value (up to 4–5 mA) are supplied, excluding their noticeable attenuation when transmitted over a distance of 2 or even more kilometers over small-section wires (1–1.5 mm²). At the same time, the electrochemical corrosion of the electrodes is also greatly reduced.

Keywords: sensor; key; resistor; feedback; diode; magnetic starter

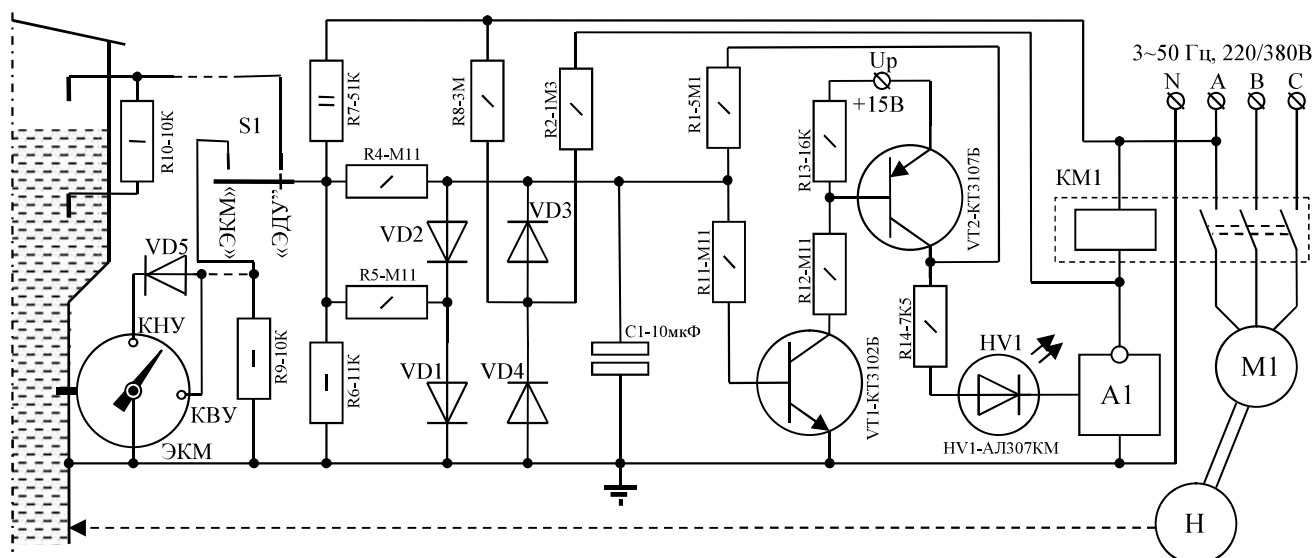
For citation: Petko V. G., Rakhimzhanova I. A., Shakhov V. A., Fomin M. B., Pushko V. A., Pugachev V. V. Two-position water level control for water tower. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(1):125–132. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i1pp125-132>.

Введение. Для водоснабжения производственных и бытовых объектов на селе преимущественное распространение получили системы с подачей воды от насосных агрегатов через промежуточные напорно-аккумулирующие емкости [3, 4]. Согласование производительности насосных агрегатов и интенсивности водопотребления осуществляется в таких системах путем периодического включения и отключения агрегатов при изменении степени заполнения емкостей в заданных пределах [7]. При этом происходит повышение уровня воды до верхнего предельного уровня, когда происходит полное заполнение емкостей (первая позиция), и снижение уровня воды до нижних предельных уровней, когда происходит допустимое опорожнение емкостей (вторая позиция). Таким образом, управление включением и отключением агрегатов можно осуществлять по сигналам датчиков уровней воды или по сигналам датчиков давления воды, однозначно связанного с уровнями.

Материалы и методы. Существует большое разнообразие схем двухпозиционного регулирования воды в водонапорных емкостях, начиная от релейных с двухпозиционным поплавковым датчиком уровней, а также датчиков давления до релейных двухпозиционных регуляторов с одноэлектродными или двухэлектродными датчиками уровней [5, 8]. Двухэлектродные датчики обладают высокой точностью контроля уровня, как на верхнем, так и на нижнем пределе, однако для их связи с устройством управления требуется помимо общего еще два провода. Это, учитывая, как правило, большую удаленность водонапорной емкости от источника воды, а следовательно, и от места установки насосного агрегата и расположенного вблизи от него устройства управления снижает надежность связи и сопровождается дополнительными затратами. Кроме того, в релейных схемах через электроды датчиков протекают повышенные токи, что нежелательно из-за ускоренного их износа в результате воздействия на них электрохимической коррозии.

От этих недостатков свободны регуляторы уровней на базе электронных схем [9]. К одному из них относится разработанный нами двухпозиционный регулятор уровней, способный воспринимать сигналы как контактных, так и электродных, двухпозиционных датчиков уровней, а также сигналы, формируемые электроконтактным манометром (ЭКМ), реагирующим на давления, соответствующие верхнему и нижнему предельным уровням воды. Принципиальная схема этого регулятора изображена на рисунке.

Исполнительным органом данного регулятора, непосредственно осуществляющим включение и отключение электронасосного агрегата системы водоподъема, является магнитный пускатель КМ1, катушка которого управляется в свою очередь электронным ключом А1. В качестве ключа может быть использован, например, ключ на базе симистора [2, 6, 10], перевод которого в открытое состояние осуществляется подачей на низкоомный вход ключа сигнала тока, замыкающегося на нулевую шину. Этот сигнал формируется индикатором знака входного сигнала [1] выполненном на комплементарной паре транзисторов VT1 и VT2. Если на базе транзистора VT1 напряжение по отношению к нулевой шине ниже нуля, ток по цепи база-эмиттер транзистора не течет, транзистор закрыт, следовательно, не течет ток и по цепи эмиттер-база транзистора VT2 – резистор R12 – коллектор-эмиттер транзистора VT1. Транзистор VT2 также закрыт, по цепи эмиттер-коллектор транзистора VT2 – резистор R14 – светодиод НV1 – вход ключа А1 – нулевая шина ток не течет, ключ при этом, реализующий логическую функцию ИЛИ-НЕ, открыт. Через катушку магнитного пускателя КМ1 – выход ключа – нулевая шина протекает ток, магнитный пускатель срабатывает, замыкая силовые контакты, через которые электродвигатель М1 привода насоса Н



Принципиальная схема регулятора уровней
Schematic diagram of the level controller

получает питание. Происходит постепенное заполнение водонапорной башни. При этом напряжение по отношению к нулевой шине на входе ключа равно нулю.

Результаты исследований. Если переключатель S1 находится в положении «ЭДУ» (электродный датчик уровней), к входу регулятора уровней подключен двухэлектродный датчик уровней. Его электроды в начальный период работы насоса с водой не контактируют. С делителя напряжения, образованного резистором R7 в одном плече и тремя параллельно включенными резисторами R4, R5 и R6:

$$R_{4,5,6} = \frac{R_4 R_5 R_6}{R_4 R_5 + R_5 R_6 + R_6 R_4} = \frac{110 \cdot 110 \cdot 11}{110 \cdot 110 + 110 \cdot 11 + 11 \cdot 110} = 9,167 \text{ кОм} \quad (1)$$

в другом плече, снимается напряжение

$$U_d^{(0)} = U_\phi \frac{R_{4,5,6}}{R_7 + R_{4,5,6}} = 220 \frac{9,167}{51 + 9,167} = 33,52 \text{ В.} \quad (2)$$

Под действием этого напряжения через диод VD2 с обкладки конденсатора C1 стекает заряд, пропорциональный среднему значению $I_{R5VD2}^{(0)}$ отрицательной полуволны действующего тока $I_{R5}^{(0)}$, протекающего через резистор R5,

$$I_{R5VD2}^{(0)} = -\frac{\sqrt{2}}{\pi} I_{R5}^{(0)} = -\frac{\sqrt{2}}{\pi} \frac{U_d^{(0)}}{R_5} = -0,45 \frac{U_d^{(0)}}{R_5} = -0,45 \frac{33,52}{110} = -0,137 \text{ мА.} \quad (3)$$

Положительная полуволна тока $I_{R5}^{(0)}$ замыкается через диод VD1 на нулевую шину.

Одновременно через диод VD3 на обкладку конденсатора поступает заряд, пропорциональный среднему значению I_{R8D3} положительной полуволны действующего тока I_{R8} , протекающего под действием фазного сетевого напряжения U_ϕ через резистор R8,

$$I_{R8D3} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} I_{R8} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} \frac{U_\phi}{R_8} = 0,45 \frac{U_\phi}{R_8} = 0,45 \frac{220}{3000} = 0,033 \text{ мА.} \quad (4)$$

Отрицательная полуволна тока I_{R8} замыкается по цепи: нулевая шина – диод VD4 – резистор R8 – сеть. Этим самым диод VD3, как и диод VD2 разгружаются от обратного напряжения, что исключает возможность их пробоя.

С учетом того, что через резисторы R1 и R2 токи не протекают, так как напряжения на коллекторе транзистора VT2 и входе ключа A1 равны нулю, а переменный ток через резистор R4 на заряд конденсатора не влияет, суммарный ток, поступающий на обкладку конденсатора C1,



$$I_C^{(0)} = I_{R8D3} + I_{R5D2}^{(0)} = 0,033 + (-0,137) = 0,033 - 0,137 = -0,104 \text{ мА.} \quad (5)$$

Этим током конденсатор разряжается до напряжения, при котором открываются диоды VD3 и VD4 (в сумме это составляет $-1,5 \text{ В}$), оставшая часть тока будет замыкаться по цепи: нулевая шина - диоды VD3 – VD4 – VD2 – резистор R5 – выход делителя напряжения. Так как отрицательное напряжение с обкладки конденсатора поступает через резистор R11 на базу транзистора VT1 – транзистор закрыт и, как было показано выше, насос работает, уровень воды в водонапорной башне повышается.

Как только уровень воды в баке водонапорной башни достигнет электрода нижнего уровня датчика, через резистор R10 на «землю» через воду потечет ток параллельно току, протекающему через резисторы R4, R5 и R6. В результате эквивалентное сопротивление этих четырех резисторов

$$R_{4,5,6,10} = \frac{R_{4,5,6} R_{10}}{R_{4,5,6} + R_{10}} = \frac{9,156 \cdot 10}{9,156 + 10} = 4,783 \text{ Ом,} \quad (6)$$

а напряжение на датчике снизится до

$$U_d^{(1)} = U_\Phi \frac{R_{4,5,6,10}}{R_7 + R_{4,5,6,10}} = 220 \frac{4,783}{51 + 4,783} = 18,862 \text{ В.} \quad (7)$$

Примерно в два раза снизится и ток $I_{R5}^{(1)}$ через резистор R5, средняя величина которого $I_{R5D2}^{(1)}$, поступающая на обкладку конденсатора через диод VD2,

$$I_{R5D2}^{(1)} = -\frac{\sqrt{2}}{\pi} I_{R5}^{(1)} = -\frac{\sqrt{2}}{\pi} \frac{U_d^{(1)}}{R_5} = -0,45 \frac{U_d^{(1)}}{R_5} = -0,45 \frac{18,862}{110} = -0,077 \text{ мА.} \quad (8)$$

В результате изменится и суммарный ток, поступающий на обкладку конденсатора C1,

$$I_C^{(1)} = I_{R8D3} + I_{R5D2}^{(1)} = 0,033 + (-0,077) = 0,033 - 0,077 = -0,044 \text{ мА.} \quad (9)$$

Как видим, отрицательный ток разряда конденсатора сохранится, конденсатор останется заряженным отрицательно, транзистор VT1 и, следовательно, VT2 будут закрыты, насос будет продолжать работать, уровень воды повышаться.

Когда поверхность воды достигнет электрода верхнего уровня датчика уровня, напряжение $U_d^{(2)}$ ввиду того, что сопротивление перехода «электрод верхнего уровня – вода» по сравнению с сопротивлением $R_{4,5,6}$ практически равно нулю, также станет равным нулю. Снизятся до нуля и токи $I_{R5}^{(2)}$ и $I_{R5D2}^{(2)}$. Конденсатор C1 начнет заряжаться только положительным током I_{R8D3}

$$I_C^{(2')} = I_{R8D3} = 0,033 \text{ мА.}$$

Потенциал его обкладки с отрицательного начнет изменяться на положительный. При этом начнет приоткрываться транзистор VT1 и следом – VT2. На коллекторе VT2 появится увеличивающееся напряжение, под действием которого через резистор R1 начнет протекать увеличивающийся ток перезаряда конденсатора дополнительно к току I_{R8D3} , обеспечивающий положительную обратную связь по контуру индикатора знака сигнала и, следовательно, лавинное увеличение напряжения на конденсаторе и надежный его переход в открытое состояние. Фактически индикатор сработает в режиме триггера. На зарядку конденсатора при этом будет поступать суммарный положительный ток,

$$I_C^{(2'')} = I_C^{(2')} + I_{R1}^{(2')} = I_C^{(2')} + \frac{U_p}{R_1} = 0,033 + \frac{15}{5100} = 0,036 \text{ мА.} \quad (10)$$

Напряжение на конденсаторе станет равным около $+1,5 \text{ вольт}$, ключ закроется и отключит насосный агрегат. Напряжение на выходе ключа станет практически равным фазному напряжению сети и через резистор R2 и диод VD3 на зарядку конденсатора C1 станет дополнительно поступать средняя величина $I_{R2D3}^{(2)}$ положительной полуволны действующего тока $I_{R2}^{(2)}$, протекающего под действием этого напряжения через резистор R2



$$I_{R2D3}^{(2)} = 0,45I_{R2}^{(2)} = 0,45 \frac{U_d}{R2} = 0,45 \frac{220}{1500} = 0,076 \text{ мА.} \quad (11)$$

Суммарный ток, идущий на зарядку конденсатора, увеличится до

$$I_C^{(2)} = I_C^{(2'')} + I_{R2D3}^{(2)} = 0,036 + 0,076 = 0,112 \text{ мА.} \quad (12)$$

В то же время напряжение на конденсаторе останется прежним, равным +1,5 вольта, так как основная часть этого тока будет замыкаться на нулевую шину через диоды VD1 и VD2. Насос при этом будет оставаться в отключенном состоянии, и при наличии разбора воды из емкости уровень воды в ней начнет понижаться, что в итоге приведет к разрыву цепи между электродом верхнего уровня датчика и водой. Напряжение на датчике $U_d^{(1)}$, как было показано выше, повысится до величины равной $U_d^{(1)}$, а отрицательный ток разряда конденсатора через резистор R5 и диод VD2 $I_{R5D2}^{(3)}$ также увеличится и станет равным $I_{R5D2}^{(1)}$. В результате суммарно ток, поступающий на обкладку конденсатора, уменьшится до

$$I_C^{(3)} = I_C^{(2)} + I_{R5D2}^{(3)} = 0,112 + (-0,077) = 0,035 \text{ мА.} \quad (13)$$

Как видим, он еще больше нуля, поэтому напряжение на конденсаторе не изменится. Насос будет находиться в отключенном состоянии, а уровень воды и далее понижаться до того пока не освободится электрод нижнего уровня датчика. Напряжение на датчике $U_d^{(4)}$ увеличится, станет равным $U_d^{(0)}$, а ток через резистор R5 $I_{R5}^{(4)}$ и соответственно средний отрицательный ток разряда конденсатора через диод VD2 $I_{R5D2}^{(4)}$ увеличится до $I_{R5D2}^{(0)}$. Суммарный ток, поступающий на конденсатор, станет равным

$$I_C^{(4)} = I_C^{(2)} + I_{R5D2}^{(0)} = 0,112 + (-0,137) = -0,025 \text{ мА.} \quad (14)$$

Напряжение на конденсаторе, а, следовательно, и на входе индикатора знака сигнала (базе транзистора VT1) начнет уменьшаться, транзисторы VT1 и следом VT2 начнут закрываться, что приведет к уменьшению напряжения на выходе индикатора знака сигнала (коллекторе транзистора VT2) и уменьшению положительного тока, поступающего на конденсатор C1 через резистор R1, что приводит к более быстрой перезарядке конденсатора и лавинообразному переходу транзисторов в закрытое состояние. В итоге при полностью закрытых транзисторах ток положительной обратной связи через резистор R1 станет равным нулю, а отрицательный ток разрядки конденсатора по абсолютной величине увеличится до

$$I_C^{(4'')} = I_C^{(4)} - \frac{U_p}{R_1} = -0,025 - 15/5100 = -0,028 \text{ мА,} \quad (15)$$

что сделает более надежным перезаряд конденсатора и предотвратит тем самым неустойчивый переход транзисторов в закрытое состояние и возможный при этом «дребезг» контактов магнитного пускателя.

Одновременно с этим снижение до нуля (при закрытии транзисторов) тока на входе ключа приводит к его открытию, срабатыванию магнитного пускателя и запуску электронасосного агрегата. А так как при открытом ключе напряжение на его выходе равно нулю, уменьшится и станет равным нулю положительный ток через резистор R2. На его первоначальную величину ($I_{R2D3}^{(2)}$) уменьшится и ток, поступающий на конденсатор C1:

$$I_C^{(4)} = I_C^{(4'')} - I_{R2D3}^{(2)} = -0,028 - 0,076 = -0,104 \text{ мА.} \quad (16)$$

Таким образом, система перешла в исходное состояние, и дальнейшее ее функционирование будет происходить циклически в описанной выше последовательности. При этом уровень воды в баке водонапорной башни будет изменяться между уровнем расположения электрода верхнего уровня (первая позиция) и уровнем расположения электрода нижнего уровня (вторая позиция), т. е. система осуществляет двухпозиционное регулирование уровня воды.

Вместо двухэлектродного датчика уровней к входу регулятора может подключаться или поплавковый датчик уровней, или при однозначной связи уровня воды в баке и давления датчик (реле) давления. Важно только чтобы эти датчики обладали гистерезисной характеристикой





(замыкали выходной контакт при верхнем пороговом значении уровня и размыкали – при нижнем). В этом случае переход системы из нулевого состояния в состояние (2) и обратно будет осуществляться мгновенно, минуя состояние (1).

Несколько иначе система работает с датчиком уровней, в качестве которого используется электроконтактный манометр (ЭКМ) [11]. Переключатель S1 при работе системы с таким датчиком устанавливается в положение «ЭКМ». При этом вход регулятора шунтируется резистором R9, непосредственно к входу через линию связи подсоединен контакт верхнего уровня (КВУ) и через диод VD5 – контакт нижнего уровня (КНУ) электроконтактного манометра. Стрелка манометра соединена с нулевой шиной (корпусом башни, связанной непосредственно или через «землю» с глухо заземленным нулевым проводом электрической сети).

Допустим, что в исходном состоянии напряжение на выходе индикатора знака сигнала равно нулю, ключ открыт, напряжение на его выходе также равно нулю, насос работает. В то же время фактический уровень воды в баке водонапорной башни и, следовательно, соответствующее ему давление в месте подсоединения ЭКМ ниже минимально допустимого значения, установленного для данной водонапорной башни, стрелка ЭКМ упирается в контакт нижнего уровня (КНУ) и замыкает его на нулевую шину. В результате при положительной полуволне сетевого напряжения на нее замыкается через диод VD5 вход регулятора уровней. Поэтому напряжение на нем при положительной полуволне $U_d^{(5+)}$ равно нулю. А действующее напряжение при отрицательной полуволне сетевого напряжения $U_d^{(5-)}$ ввиду того, что номиналы сопротивлений R9 и R10 одинаковы, равно $U_d^{(1)}$. На конденсатор кроме соответствующего этому напряжению среднего тока $I_C^{(1)}$, поступает в этом случае еще и средний ток $I_{R4C}^{(5)}$ тока $I_{R4}^{(5-)}$, протекающего в отрицательный полупериод через резистор R4,

$$I_{R4C}^{(5-)} = -0,45 I_{R4}^{(5-)} = -0,45 \frac{U_d^{(5-)}}{R_4} = -0,45 \frac{18,86}{110} = -0,077 \text{ мА.} \quad (17)$$

Тогда

$$I_C^{(5)} = I_C^{(1)} + I_{R4C}^{(5-)} = -0,044 + (-0,077) = -0,121 \text{ мА.} \quad (18)$$

Напряжение на конденсаторе отрицательное, что и соответствует закрытому состоянию транзисторов индикатора знака входного сигнала, открытому состоянию ключа и работающему электронасосному агрегату. Уровень и давление воды при работающем насосном агрегате повышаются и, как только давление достигнет нижнего установленного порога срабатывания регулятора, произойдет размыкание стрелки и контакта. Действующие значения положительной полуволны напряжения на входе регулятора $U_d^{(6+)}$ также станет равным $U_d^{(1)}$, и ток $I_C^{(6)}$, увеличится по сравнению с $I_C^{(5)}$ на величину среднего тока, протекающего через резистор в положительный полупериод $I_{R4C}^{(6+)}$ равного по абсолютной величине, но противоположного по знаку току $I_{R4C}^{(5-)}$

$$I_C^{(6)} = I_C^{(5)} + I_{R4C}^{(6+)} = -0,121 + 0,077 = -0,044 \text{ мА.} \quad (19)$$

Напряжение на конденсаторе и входе индикатора знака сигнала остается отрицательным, поэтому насос продолжает работать, а уровень воды и давление повышаться. Когда их значения станут соответствующими верхнему установленному порогу срабатывания, замкнется на нулевую шину через стрелку ЭКМ контакт верхнего уровня и напряжение $U_d^{(7)}$ на входе регулятора уровней снизится до нуля. Далее система срабатывает в такой же описанной выше последовательности, как и при замыкании на воду контакта верхнего уровня электродного датчика уровней: $I_C^{(7)} = I_C^{(2)} = 0,112 \text{ мА}$; насос отключается; уровень воды и давление понижаются; КВУ размыкается; $U_d^{(8)} = U_d^{(3)} = 18,86 \text{ В}$; $I_C^{(8)} = I_C^{(3)} = 0,035 \text{ мА}$; насос отключен; уровень воды и давление понижаются.

Как только замкнется контакт нижнего уровня, напряжение $U_d^{(9+)}$ станет равным нулю, ток $I_C^{(9)} = I_C^{(5)} = -0,121 \text{ мА}$, насос снова запустится, и далее процесс будет циклически повторяться.

Во всех рассмотренных выше случаях осуществляется дискретное двухпозиционное регулирование уровня воды при минимально возможном количестве проводов линии связи датчиков с устройством управления. За счет двойной положительной обратной связи в схеме регулятора

уровней обеспечивается четкий переход магнитного пускателя из включенного в отключенное состояние и обратно. Это исключает губительный для магнитного пускателя «дребезг» магнитной системы и контактов при переключении.

Многолетние испытания регуляторов уровней, реализованных по рассмотренной схеме, на конкретных производственных объектах водоснабжения показали высокую надежность и качество их функционирования. Обеспечивается устойчивая связь датчиков с регуляторами уровней на расстоянии до 2-х километров проводами малого сечения, например, кабелем со стальными жилами, используемыми для телефонной связи в полевых условиях.

Заключение. Таким образом, регулятор уровней воды, выполненный на основе описанной выше принципиальной схемы, обеспечивает двухпозиционное регулирование уровня по сигналам различных по принципу действия датчиков уровня или давления. При этом для передачи сигналов от датчиков к регулятору используется минимально возможное количество проводов линии связи, что упрощает ее стоимость и повышает удобство монтажа особенно при большом расстоянии между датчиками и регулятором. Этому способствует также и то, что для управления на вход регулятора от датчиков подаются сигналы переменного тока сравнительно малой величины (до 4–5 мА), исключающие их заметное ослабление при передаче на расстояние 2 и даже более километров по проводам малого сечения (1,0–1,5 мм²). А организация в регуляторе двойной положительной обратной связи обеспечивает четкое без «дребезга» срабатывание магнитного пускателя, управляющего непосредственно электродвигателем насоса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Индикатор сигнала рассогласования на комплементарной паре транзисторов пускового и опорного тока токовых защит / В. Г. Петько [и др.] // Совершенствование инженерно-технического обеспечения производственных процессов и технологических систем: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Оренбург, 2019. С. 205–208.
2. Ключ на базе симистора для коммутации нагрузок переменного тока / В. Г. Петько [и др.] // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018. № 3 (71). С. 167–169.
3. Косьминов Т. Р., А Матасов. В., Огнев Е. Г. Датчик на основе МДМ-структуры для контроля уровня воды / Радиоэлектроника, электротехника и энергетика: тезисы докладов Двадцать второй Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: в 3 т. М., 2016. Т. 2. С. 36.
4. Милова Л. Водонапорные башни и их альтернативы. Расчет объема бака // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. 2011. № 2(110). С. 16–21.
5. Патент RU 2648016 C1 Датчик уровней для работы в условиях обледенения / Петько В.Г. (RU), патентообладатель: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный аграрный университет» (RU). Оpubл. 21.03.2016 Бюл. № 9.
6. Патент RU № 2685694 C1 Ключ переменного тока / Петько В. Г. (RU), И.А. Рахимжанова (RU); патентообладатель: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Оренбургский государственный аграрный университет» (RU). Оpubл. 23.04.2019 Бюл. № 12.
7. Патент № 2149441 C1 Российская Федерация, МПК G05D 9/12. устройство для регулирования уровня воды в резервуарах водонапорных башен: № 99108500/09: заявл. 20.04.1999: опубл. 20.05.2000 / И. А. Нефедьев, А. И. Нефедьев, Д. И. Нефедьев, А. Ф. Карпов.
8. Патент на полезную модель № 151016 U1 Российская Федерация, МПК F04D 15/00. Устройство для автоматического управления электронасосным агрегатом по уровню и давлению воды в водонапорной башне: № 2014116529/06: заявл. 23.04.2014: опубл. 20.03.2015 / Н. Н. Супроненко, О. В. Критченкова, А. Б. Щеголева; заявитель Государственное научное учреждение Смоленский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук.
9. Патент на полезную модель № 174963 U1 Российская Федерация, МПК E03B 11/16. устройство для регулирования уровня жидкости в емкости: № 2017117099: заявл. 16.05.2017: опубл. 13.11.2017 / А. П. Евдокимов, Р. А. Евдокимов, К. М. Тупикова; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный аграрный университет» (ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ).





10. Патент на полезную модель № 113529 U1 Российская Федерация, МПК E03B 11/12, E04H 12/30. устройство для регулирования подачи воды в водонапорную башню: № 2011134232/13: заявл. 15.08.2011: опубл. 20.02.2012 / А. А. Акульшин, В. А. Акульшин, А. А. Акульшин; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Экопромсервис».

11. Что такое электроконтактный манометр, назначение, принцип работы, схема подключения и обзор популярных моделей. URL: <https://odinelectric.ru/kipia/chto-takoe-elektrokontaktnyj-manometr> (Дата обращения 28.03.2023).

REFERENCES

1. Petko V. G., Rakhimzhanova I. A., Karimov V. A. Indicator of mismatch signal on a complementary pair of transistors of the starting and reference current of current protections. *Improvement of Engineering and Technical Support of Production Processes and Technological Systems*. Orenburg. 2019:205–208. (In Russ.).

2. Petko V.G., Rakhimzhanova I.A., Starozhukov A.M. Triac-based switch for switching AC loads. *News of the Orenburg State Agrarian University*. 2018;3(71):167–169. (In Russ.).

3. Kosminov T. R., Matasov A. V., Ognev E. G. Sensor based on an MDM structure for monitoring water level. *Radio Electronics, Electrical Engineering and Energy*. Moscow, 2016;(2):36. (In Russ.).

4. Milova L. Water towers and their alternatives. Calculation of tank volume. *Plumbing, Heating, Air Conditioning*. 2011;2(110):16–21. (In Russ.).

5. Patent RU 2648016 C1 Level sensor for operation in icing conditions / Petko V.G. (RU), patent holder: Federal State Educational Institution of Higher Professional Education “Orenburg State Agrarian University” (RU). Publ. 03/21/2016 Bulletin. No. 9. (In Russ.).

6. Patent RU No. 2685694 C1 AC key / Petko V. G. (RU), I.A. Rakhimzhanova (RU); patent holder: Federal State Educational Institution of Higher Professional Education “Orenburg State Agrarian University” (RU). Publ. 04/23/2019 Bulletin. No. 12. (In Russ.).

7. Patent No. 2149441 C1 Russian Federation, IPC G05D 9/12. device for regulating the water level in tanks of water towers: No. 99108500/09: application. 04/20/1999: publ. 05.20.2000 / I. A. Nefed'ev, A. I. Nefed'ev, D. I. Nefed'ev, A. F. Karpov. (In Russ.).

8. Utility model patent No. 151016 U1 Russian Federation, IPC F04D 15/00. Device for automatic control of an electric pump unit based on the level and pressure of water in a water tower: No. 2014116529/06: application. 04/23/2014: publ. 03/20/2015 / N. N. Supronenko, O. V. Kritchenkova, A. B. Shchegoleva; applicant State scientific institution Smolensk Scientific Research Institute of Agriculture of the Russian Academy of Agricultural Sciences. (In Russ.).

9. Utility model patent No. 174963 U1 Russian Federation, IPC E03B 11/16. device for regulating the liquid level in a container: No. 2017117099: application. 05/16/2017: publ. 11/13/2017 / A. P. Evdokimov, R. A. Evdokimov, K. M. Tupikova; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Volgograd State Agrarian University” (FSBEI HE Volgograd State Agrarian University). (In Russ.).

10. Utility model patent No. 113529 U1 Russian Federation, IPC E03B 11/12, E04H 12/30. device for regulating water supply to a water tower: No. 2011134232/13: application. 08/15/2011: publ. 02/20/2012 / A. A. Akulshin, V. A. Akulshin, A. A. Akulshin; applicant Limited Liability Company “Ekopromservice”. (In Russ.).

11. What is an electric contact pressure gauge, purpose, operating principle, connection diagram and review of popular models. Available at: <https://odinelectric.ru/kipia/chto-takoe-elektrokontaktnyj-manometr> (Date of access: 03/28/2023). (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 29.05.2023; одобрена после рецензирования 15.07.2023; принята к публикации 25.07.2023.

The article was submitted 29. 05.2023; approved after reviewing 15.07.2023; accepted for publication 25.07.2023.