

О ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО УЧЕТА РАСХОДА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ШАХТНОЙ ВОДООТЛИВНОЙ УСТАНОВКОЙ

Паталах С.О., магистрант; Оголобченко А.С., доц., к.т.н., доц.

(ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк, ДНР)

Шахтные водоотливные установки оборудованы мощными высоковольтными приводными электродвигателями от 630 кВт до 1500 кВт, работают практически непрерывно и являются крупными электропотребителями. Поэтому при управлении электроснабжением шахты необходимо осуществлять технический учет расхода электроэнергии водоотливной установкой, а, например, в периоды максимальной нагрузки на систему электроснабжения предприятия, важно знать текущие значения расхода электроэнергии установкой для использования установки как потребителя-регулятора. Это может быть реализовано при наличии соответствующих контрольно-измерительных устройств. Однако в настоящее время это является проблемой, так как приводной электродвигатель насоса водоотливной установки коммутируется высоковольтной ячейкой, как правило, типа КРУВ-6, в которой число первичных датчиков недостаточно, чтобы реализовать стандартные схемы измерения активной мощности, потребляемой электроприемником, подключенным к трехфазной электрической сети шахты. Так, в ячейке встроен трансформатор напряжения TV (тип НОЛ.11-605) мощностью $S_n = 400 \text{ ВА}$, подключенный к двум фазам высоковольтной сети, соответственно имеется вывод только одного вторичного линейного напряжения $U_{AC} = 100\text{В}$. Для стандартного подключения контрольно-измерительных устройств мощности и расхода электроэнергии (схема Арона), необходимы выводы двух линейных напряжений. При включенной ячейке КРУВ - 6, нагрузка TV составляет 7 – 10% S_n , то есть режим близок к режиму холостого хода, из этого следует, что относительная погрешность TV будет находиться пределах 0,5 – 1%. Также, в ячейках КРУВ - 6 встроены два трансформатора тока ТТ1 и ТТ2 (типа ТОЛК – 6-1), соответственно имеются выводы двух вторичных токов ($I_{2A} = I_{2C} = 0 - 5\text{А}$). Нагрузкой трансформаторов токов являются электромагнитные реле максимальной токовой защиты. Данная схема включения нагрузки приводит к значительному снижению стабильности и класса точности ТТ (примерно 2 – 3%), что не приемлемо для контрольно-измерительных устройств мощности и расхода электроэнергии. В принципе, в настоящее время известна разработка высоковольтной ячейки КРУВ-6ДВМП, которая, как указано в руководстве по эксплуатации, осуществляет измерение величины мощности, потребляемой нагрузкой, и расхода электроэнергии для технического учета потребленной электроэнергии [1]. Однако, указанные ячейки пока не применяются на шахтах Донбасса, а контроль расхода электроэнергии водоотливными установками необходим, что требует поиска технических решений указанной проблемы.

При существующей схеме выводов высоковольтной ячейки КРУВ-6 (вывод вторичного напряжения $U_{2AC} = 100\text{В}$ и выводы токов I_{2A}, I_{2C}) возможны следующие варианты нестандартного подключения контрольно-измерительных устройств мощности к данной ячейке.

Вариант 1. Вектор вторичного линейного напряжения $\bar{U}_{2AC} = 100\text{В}$, с помощью фазосдвигающего звена, поворачивается на угол $\varphi = + 30^0$ (вектор $\bar{U}_{2\text{ФАС}}$), при этом вектор тока фазы \bar{I}_{2A} и линейного напряжения $\bar{U}_{2\text{ФАС}}$ совпадут по фазе (см. рисунок 1). Тогда, при использовании модуля перемножения, относительная (пропорциональная) активная мощность P_1 , потребляемая электродвигателем, определится по формуле

$$P_1 \equiv U_{2\text{ФАС}} \cdot I_{2A} \cdot \cos\varphi \equiv \sqrt{3} \cdot U_{2A} \cdot I'_{2A} \cdot \cos\varphi.$$

При равномерной нагрузке фаз и отсутствия асимметрии напряжения сети фактическая активная мощность, потребляемая электродвигателем определится по формуле:

$$P = K_{\text{ТТ}} \cdot K_{\text{ТV}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{2A} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{2A} \cdot \cos\varphi =$$

$$K_{\text{ТТ}} \cdot K_{\text{ТV}} \cdot 3 \cdot U_{2A} \cdot I_{2A} \cdot \cos\varphi =$$

$$K_{\text{ТТ}} \cdot K_{\text{ТV}} \cdot P_1 \cdot 1,73,$$
(1)

где $K_{\text{ТТ}} \cdot K_{\text{ТV}}$ - коэффициенты трансформации соответственно трансформаторов тока ТТ и напряжения ТV.

Точность измерения активной мощности по этому варианту в реальных условиях шахтных подземных электроприемников (при асимметрии трёхфазной нагрузки не более 5%) возможна в пределах $\pm 3 - 5\%$. Для повышения класса точности измерения следует, без существенного изменения конструкции ячейки, вмонтировать (заменить существующие) два малогабаритных тороидных трансформатора ТТ, точностью 0,5 – 1,0%, предназначенных для электронных счётчиков электроэнергии, например, производителей: OWL, Allegro, Honeywell. При установке таких трансформаторов тока, точность измерения активной мощности возможна в пределах $\pm 2,5 - 3,5\%$.

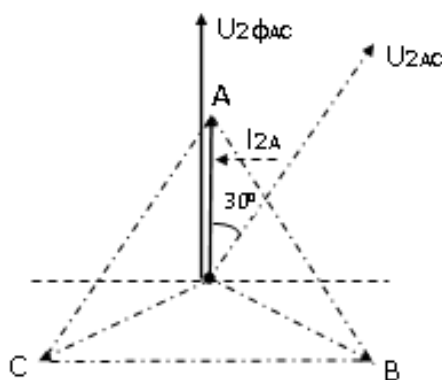


Рисунок 1 – Векторная диаграмма для варианта 1

Потребляемая водоотливной установкой электроэнергия E определяется путём интегрирования по времени результата измерения активной мощности:

$$E = \int P(t) \cdot dt.$$
(2)

Вариант 2. Осуществляется скалярное вычитание, с помощью дополнительного вычитающего трансформатора тока ТТВ, векторов вторичных токов ТТ1 и ТТ2 ($\bar{I}_{2A} - \bar{I}_{2C} = \bar{I}_{2AC}$). При этом, результирующий вектор тока \bar{I}_{2AC} и вектор вторичного линейного напряжения \bar{U}_{2AC} совпадут по фазе (см. рисунок 2). Тогда, при использовании модуля перемножения, активная мощность, потребляемая электродвигателем при равномерной нагрузке фаз и отсутствия асимметрии напряжения сети определится по формуле:

$$P_2 = K_{\text{ТТ}} \cdot K_{\text{ТV}} \cdot U_{2AC} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{2A} \cdot \cos\varphi =$$

$$K_{\text{ТТ}} \cdot K_{\text{ТV}} \cdot \sqrt{3} \cdot U_{2A} \cdot \sqrt{3} \cdot I_{2A} \cdot \cos\varphi =$$

$$K_{\text{ТТ}} \cdot K_{\text{ТV}} \cdot 3 \cdot U_{2A} \cdot I_{2A} \cdot \cos\varphi$$
(3)

Точность измерения активной мощности по этому варианту в реальных условиях шахтных подземных электроприемников (при асимметрии трёхфазной нагрузки не более 5%) возможна в пределах $\pm 2,5 - 4\%$. При применении трансформаторов тока,

предназначенных для электронных счётчиков электроэнергии, точность измерения активной мощности возможна в пределах $\pm 2,0-3,0\%$, что достаточно для технического учета расхода электроэнергии электропотребителем. Потребляемая водоотливной установкой электроэнергия E определяется по зависимости (3).

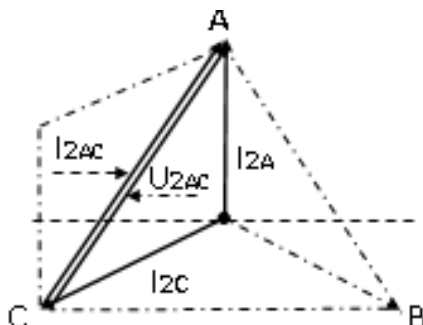


Рисунок 2 – Векторная диаграмма для варианта 2

Для практической реализации технического контроля расхода электроэнергии шахтной водоотливной установкой, приводной электродвигатель которой коммутируется высоковольтной ячейкой КРУВ-6, нами принят второй вариант подключения устройства контроля. При этом, разработано микропроцессорное устройство контроля расхода электроэнергии типа УКРЭ.

Структурная схема устройства контроля расхода электроэнергии УКРЭ приведена на рисунке 3.

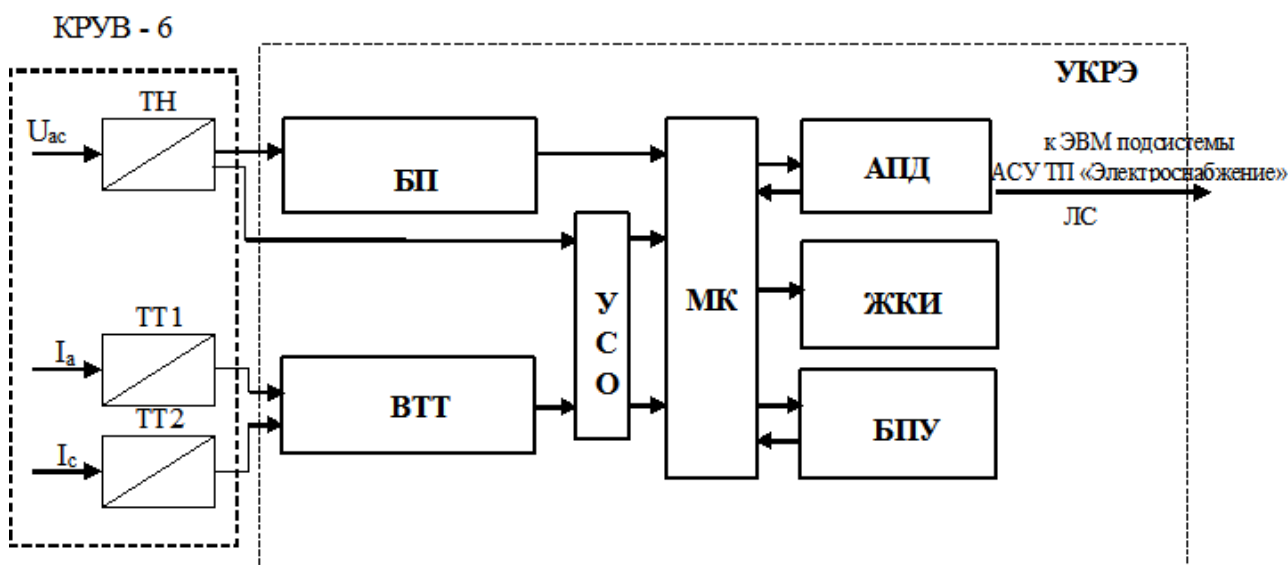


Рисунок 3 – Структурная схема устройства контроля расхода электроэнергии УКРЭ

На рисунке 3 обозначено: ТН – трансформатор напряжения ; ТТ – трансформатор тока; МК – микроконтроллер; УСО – блок согласования; АПД – адаптер передачи данных; ЖКИ – жидкокристаллический индикатор; БПУ-блок памяти устройства; ЛС – линия связи.

Вычитающий трансформатор тока реализует векторную разность фазных токов I_A и I_C . Сигналы от трансформаторов тока ТТ поступают в устройство по бронированному кабелю, например, типа ЭПБВ 3х16+1х6.

В блоке согласования осуществляется преобразование токовых сигналов от аналоговых датчиков в сигнал напряжения с помощью прецизионных резисторов, а также осуществляется защита микроконтроллера устройства от возможных перенапряжений в линиях связи с помощью стабилитронов и резисторов, которые также обеспечивают, при

наличии искробезопасного источника питания, искробезопасность линий связи устройства, что важно для использования устройства в подземных условиях шахт.

Микроконтроллер МК обрабатывает сигналы и совместно с адаптером организует передачу измерительных сигналов на поверхность шахты в ЭВМ подсистемы АСУ ТП «Электроснабжение», в ЭВМ энергодиспетчера шахты и другим заинтересованным лицам. В качестве микроконтроллера может быть использован, например, микроконтроллер АТ Mega 16, который в своей структуре содержит аналого-цифровой преобразователь АЦП для преобразования сигналов из аналоговой формы в цифровую форму.

Для обмена информацией между устройством УКРЭ и внешними устройствами по компьютерной сети схема содержит специальный адаптер АПД с передающим блоком – передатчиком последовательного интерфейса стандарта RS 485. В качестве адаптера может быть использована, например, микросборка МАХ1480В фирмы МАХИМ, которая содержит, кроме собственно приемника и передатчика, преобразователь напряжения с разделительным трансформатором для их питания и оптронные развязки входных цепей. Эти элементы адаптера позволяют обеспечить гальваническую развязку линии связи и присоединяемых к ней устройств.

Индикатор ЖКИ обеспечивает на цифровом табло светоиндикацией обслуживающий персонал о текущей величине активной мощности, потребляемой приводным электродвигателем насоса и величине расхода электроэнергии водоотливной установкой. Величина активной мощности является важным параметром для диагностики работоспособности водоотливной установки. В качестве ЖКИ может быть принят алфавитно-цифровой ЖК-модуль типа РС-2402А фирмы Powertip. Он представляет собой недорогое и удобное решение, которое обеспечивает отображение большого объема информации при хорошем разрешении и низком энергопотреблении.

Блок памяти БПУ предназначен для накопления информации о контролируемых параметрах. В качестве блока памяти может быть принята, например, микросхема типа АТ45DB161В или другие интегральные схемы с последовательным интерфейсом.

В качестве линии связи ЛС рекомендуется использовать экранированную витую пару, что обеспечивает как симметрию линии связи, так и повышение устойчивости к электромагнитным помехам при высоких скоростях передачи (до 10 Мбит/с).

Опуская промежуточные расчеты, получен график погрешности устройства УКРЭ с учетом погрешностей трансформаторов ТТ и ТН, встроенных в КРУВ-6, который приведен на рисунке 4.

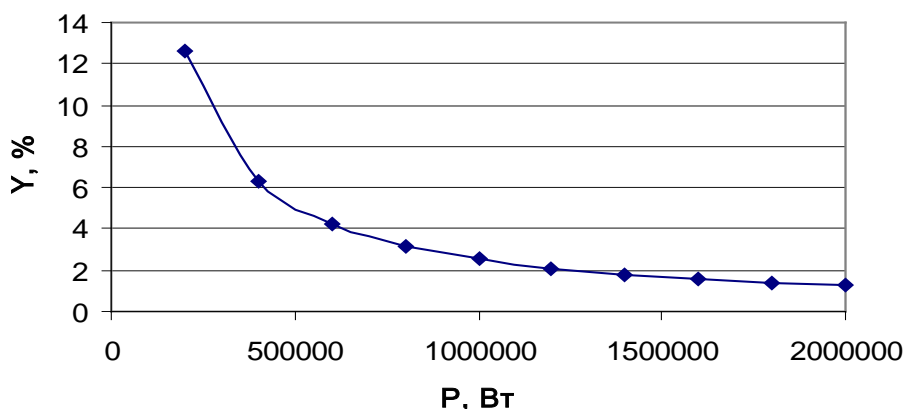


Рисунок 4 – График погрешности устройства УКРЭ

Класс точности устройства УКРЭ составит $K = 1.5$, что достаточно для технического учета расхода электроэнергии шахтной водоотливной установкой.

Перечень ссылок

1. ЧАО «ЭЛЕКТРОЗАВОД» [Электронный ресурс] - Режим доступа : <http://www.elektrozavod.com.ua>. – Загл.с экрана.