

В.В.ЛИТВИНОВ, ИИПТ НАН Украины, Николаев

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ПОГРУЖНОГО СКВАЖИННОГО КОМПЛЕКСА

Розглянуто можливість застосування мікроконтролера в системах керування та захисту електророзрядного комплексу, визначено алгоритм роботи мікроконтролера та вибрано основні елементи системи захисту комплексу.

Determined the possibility of using microcontroller in the control and protection of submersible well complex, set algorithm of the microcontrollers work and selected components of the system of short circuits protection.

Повышение эффективности добычи полезных ископаемых, в частности нефти и газа, наряду с развитием энергосберегающих технологий, на сегодняшний день является актуальной задачей. Известным является факт засорения коллекторов нефтегазовых скважин в процессе их эксплуатации различного рода отложениями, что уменьшает объем добычи сырья. Электро-разрядные погружные комплексы (ЭРПК) серии «Скиф» позволяют увеличить дебит нефтяных и газовых скважин путем очистки породы-коллектора в области перфорационной зоны ствола скважины.

Структура ЭРПК показана на рис. 1. Комплекс «Скиф-100М» представляет собой генератор импульсных токов (ГИТ) в погружной части и преобразователь частоты (ПЧ) в наземной части. Погружная и наземная части соединены между собой каротажным геофизическим кабелем (КГК).

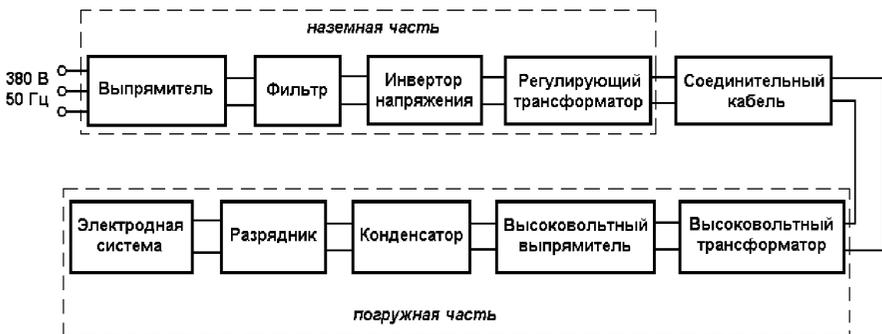


Рисунок 1 – Структура электроразрядного погружного комплекса «Скиф-100М»

Преобразователь частоты представляет собой мостовой инвертор с рабочей частотой 3 кГц, питаемый выпрямленным напряжением трехфазной

промышленной сети переменного тока (380 В 50 Гц). Переменное напряжение, производимое инвертором, через выходной согласующий трансформатор подается в КГК, повышается высоковольтным трансформатором погружной части, выпрямляется и заряжает емкостные накопители ГИТ. Регулирование выходного напряжения ПЧ осуществляется путем переключения выводов вторичной обмотки выходного согласующего трансформатора.

Особенно остро стоит проблема обеспечения надежности работы электроразрядного комплекса при подключении к нему геофизического кабеля вместе с оборудованием подъемника. Нередки случаи короткого замыкания в коллекторе подъемника КГК, что фактически означает короткое замыкание на выходе наземной части электроразрядного комплекса, точнее – преобразователя частоты. В случае короткого замыкания на выходе ПЧ скорость нарастания и амплитуда тока ключей инвертора будет ограничена индуктивностью рассеяния выходного трансформатора, имеющей величину $L_S = 1,2$ мГн. В случае прямоугольного импульса напряжения на первичной обмотке выходного трансформатора $U = L \frac{di}{dt}$ или $U = L_S \frac{\Delta i}{\Delta t}$ откуда, приняв $\Delta i = i_1 - i_0$ и

$i_0 = 0$, находим $i_1 = \frac{U \cdot \Delta t}{L_S}$. При длительности открытого состояния ключа инвертора, равной $\Delta t = 167$ мкс и напряжении на первичной обмотке $U = 510$

В скорость нарастания тока ключа равна $\frac{di}{dt} = 0,43$ А/мкс, амплитуда тока в конце импульса составит около 70 А. Это вызовет тепловой пробой силовых ключей и выход их из строя. Также возможно повреждение остальных систем ПЧ в результате переходных процессов аварийного режима.

Решение данной проблемы заключается в правильной организации систем защиты и управления и выборе их элементов. В качестве основного элемента этих систем применим микроконтроллер, который будет реализовывать функции защиты, управления режимами работы ПЧ и индикацию этих режимов.

Структура построения преобразователя частоты с микроконтроллерным управлением для электроразрядного комплекса СКИФ 100М представлена на рис. 2 и состоит из инвертора, датчика тока ДТ, схемы дифференциального усилителя СДУ, компаратора К, микроконтроллера МК и генератора импульсов управления инвертором ГИ.

В качестве управляющего микроконтроллера был выбран 8-ми битный RISC-микроконтроллер ATmega8 [1] имеющий в своем составе:

- флеш-память программ объемом 8 Кбайт с числом циклов стирание/запись не менее 10000;
- оперативную память (статическое ОЗУ) объемом 1 Кбайт;
- 23 программируемых линии ввода-вывода;

- два 8-ми битных и один 16-ти битный таймеры/счетчики;
- встроенное 10-ти битное 8-ми канальное АЦП;
- 2 входа внешних прерываний;
- встроенный компаратор напряжений;
- встроенный источник опорного напряжения 2,56 В.

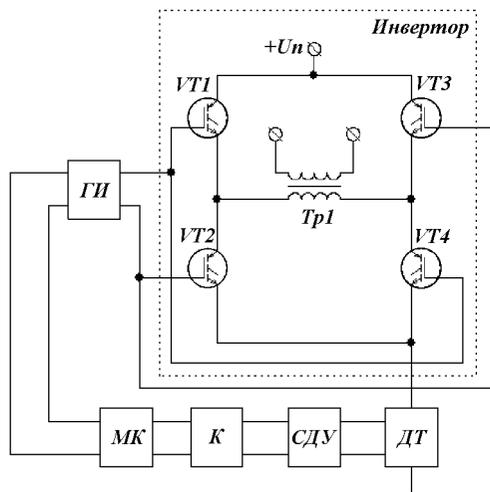


Рисунок 2 – Структура построения источника питания с микроконтроллерным управлением для электроразрядного комплекса «Скиф-100М»

Также МК обеспечивает поддержку различных типов последовательных интерфейсов (USART, TWI, SPI), предназначенных для обмена данными с внешними для МК периферийными устройствами (датчики, исполнительные устройства, внешние АЦП, ЦАП). Диапазон поддерживаемых МК тактовых частот составляет от 0 до 16 МГц. В данном случае МК работает на частоте 8 МГц, используя внутренний RC генератор тактовой частоты.

Упрощенная блок-схема алгоритма выполняемой МК программы управления преобразователем частоты показана на рис. 3.

МК преобразует нажатие оператором кнопки СТАРТ/СТОП в сигнал включения/отключения генератора импульсов управления транзисторами инвертора. ГИ основан на микросхеме нерегулируемого двухтактного инвертора IR2153 от International Rectifier [2]. Применение отдельного генератора обеспечивает исключение аварийной ситуации в случае сбоя схемы микроконтроллера в рабочем режиме. Управляющие импульсы подаются на затворы мощных высоковольтных ключей с помощью транзисторных оптронов, обеспечивающих гальваническую развязку схем управления и инвертора.

Защита ПЧ от короткого замыкания на выходе организована с помощью

датчика тока типа CSNX25 от Honeywell [3], включенного в цепь общего провода мостовой схемы инвертора (рис. 2). Усиление и фильтрация шумов сигнала $U_{дт}$, поступающего с датчика тока, выполняется схемой дифференциального усилителя на DA1.1 [4], после чего компаратор DA1.2 сравнивает сигнал с опорным напряжением (рис. 4). В качестве DA1 в данном случае удобно применить микросхему LM392 производимую National Semiconductor [5], содержащую в одном корпусе операционный усилитель и компаратор. В случае возникновения перегрузки по току компаратор подает сигнал низкого логического уровня АВАРИЯ на вход внешнего прерывания INT0 МК. Измеренная задержка распространения сигнала $U_{дт}$ с момента превышения током силового ключа порогового уровня до установления на выходе компаратора низкого логического уровня составляет 7,5 мкс.

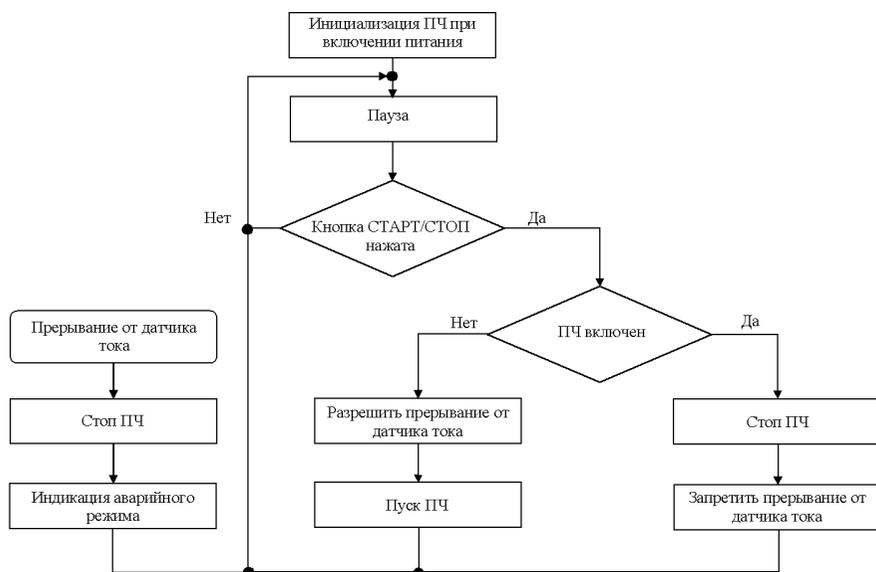


Рисунок 3 – Блок-схема алгоритма программы МК

При возникновении внешнего прерывания МК переходит к выполнению подпрограммы обработки прерывания, в результате чего происходит выдача сигнала запрета работы ГИ на одну из линий ввода/вывода. Это приведет к остановке ГИ и закрыванию силовых ключей. Далее МК переходит к выполнению подпрограммы аварийной индикации в виде мигания светодиода красного свечения. После отключения обработки аварийного режима нажатием кнопки СТАРТ/СТОП ПЧ снова готов к работе. Всего обработка сигнала микроконтроллером занимает 12 тактов процессора, что при частоте 8 МГц составляет 1,5 мкс реального времени.

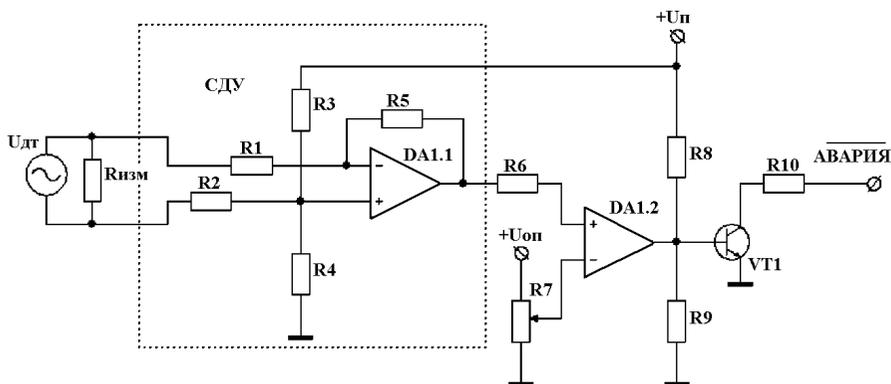


Рисунок 4 – Схема дифференциального усилителя и компаратора для датчика тока

Измеренный временной интервал между моментом превышения током ключа инвертора установленного максимального уровня 14 А и моментом начала его закрывания составляет не более 10 мкс.

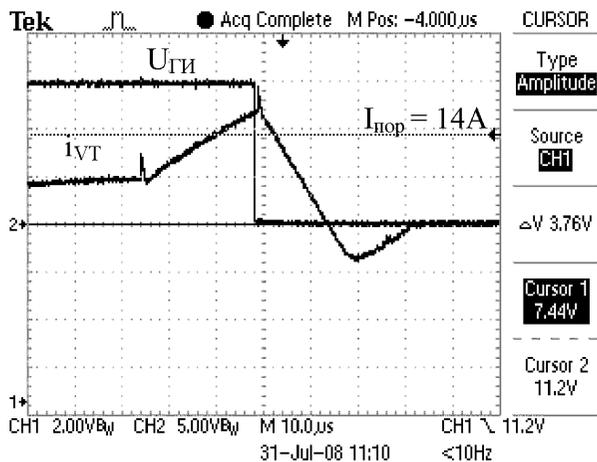


Рисунок 5 – Отключение инвертора при коротком замыкании на выходе ПЧ

На рис. 5 представлена осциллограмма, снятая при испытаниях системы защиты. Пунктирной линией показан пороговый уровень тока $I_{пор}$, равный 14 А. Достижение током ключа инвертора этого уровня вызовет срабатывание системы защиты от КЗ на выходе ПЧ. Сигнал i_{VT} снимался с датчика тока, а сигнал $U_{ГИ}$ - с выхода ГИ. Небольшая задержка между спадом импульса $U_{ГИ}$ и началом спада тока i_{VT} обусловлена суммой задержки прохождения управляющего импульса через оптрон и задержки в силовом ключе.

Таким образом, созданная система защиты от короткого замыкания на выходе ПЧ обеспечит надежную эксплуатацию ЭРПК, а применение МК упрощает построение системы управления источником питания и дает возможность вводить новые режимы управления за счет изменения только программного кода без принципиальных изменений схемотехники устройства.

Список литературы: 1. www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2486.pdf. 2. www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir2153.pdf. 3. http://www.aeroelectric.com/Mfgr_Data/Misc/Honeywell/CSXN_Series_Current_Transducers.pdf. 4. А.Дж.Пейтон, В.Воли Аналоговая электроника на операционных усилителях – М.: БИНОМ, 1994 – 352 с. 5. <http://www.national.com/ds/LM/LM392.pdf>.

Поступила в редколлегию 01.04.2009.