

## УСТРОЙСТВО ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА

Добрянский М.В., Ромашкина А.Ю.

Донской государственный технический университет

В настоящей работе представлены результаты разработки однофазного УЗО на базе микроконтроллера с использованием в качестве датчиков нулевого и фазного тока датчики на основе эффекта Холла для защиты бытовых потребителей. Устройства подобного рода широко применяются в как в бытовом секторе, так и в промышленности. Применение современной элементной базы, такой как микроконтроллеры, позволяет создавать устройства с высокими показателями быстродействия отключения и при этом не высокой ценой. В работе разработан и представлен алгоритм работы УЗО в целом, подробно рассмотрен алгоритм определения дифференциального тока. Разработаны также алгоритмы определения токов утечки, максимальной защиты и алгоритм работы тепловой защиты. Решена задача синтеза аппаратной части системы устройства защитного отключения с функциями дифференциальной, максимальной и тепловой токовой защит, а также функцией индикации причины срабатывания на базе микроконтроллера.

Ключевые слова: токовая защита, дифференциальный ток, сверхток.

## OVERCURRENT PROTECTION DEVICE BASED ON MICROCONTROLLERS

Dobryanskiy M.V., Romashkina A.Y.

Don State Technical University

This paper presents the results of the development of single-phase RCD on the basis of the microcontroller using a zero-phase current sensors and sensors based on the Hall effect to protect domestic consumers. Devices of this kind are widely used in both the residential sector and in industry. The use of modern electronic components, such as microcontrollers, allows you to create devices with high speed and off without the high price. The paper was developed and presented to the algorithm of the RCD in general, the algorithm for determining the differential current is considered in detail. Developed algorithms for determining leakage current, maximum protection and the algorithm of the thermal protection. The problem of synthesis of the hardware protective device system with the functions of the differential, the maximum current and thermal protection, as well as the function of the display operation on the basis of the reasons for the microcontroller.

The Key Words: overcurrent protection, differential current, over-current.

Устройство защитного отключения (УЗО) (residual current device (RCD)) — механический коммутационный аппарат, предназначенный для включения, проведения и отключения токов при нормальных условиях эксплуатации, а также размыкания контактов в случае, когда значение дифференциального тока достигает заданной величины в определенных условиях [1].

Широкое применение получил комбинированный аппарат, совмещающий в себе УЗО и автоматический выключатель — автоматический выключатель, управляемый дифференциальным током со встроенной защитой от сверхтока (АВДТ) [2]. Преимущественно должны использоваться УЗО, представляющие единый аппарат с автоматическим выключателем, обеспечивающим защиту от сверхтока [3].

В настоящее время на рынке широко представлены дифференциальные автоматы осуществляющие функции УЗО и токовых защит производства ФРГ и Италии. Отечественные производители подобного оборудования отсутствуют. Целью настоящей работы является разработка прототипа подобного устройства.

В настоящей работе представлены результаты разработки однофазного УЗО на базе микроконтроллера с использованием в качестве датчиков нулевого и фазного тока датчики на основе эффекта Холла для защиты бытовых потребителей.

Основные технические параметры разрабатываемого устройства:

- номинальное напряжение  $U_n = \sim 220\text{В} \pm 10\%$ ;
- номинальный ток  $I_n = 40\text{А}$ ;
- номинальный отключающий дифференциальный ток  $I_{\Delta n} = 30\text{мА}$ ;
- защиты по току: дифференциальная, максимальная, превышения от номинального тока.

Структурная схема УЗО на базе датчиков прямого и обратного тока использующих эффект Холла представлена на рисунке 1.

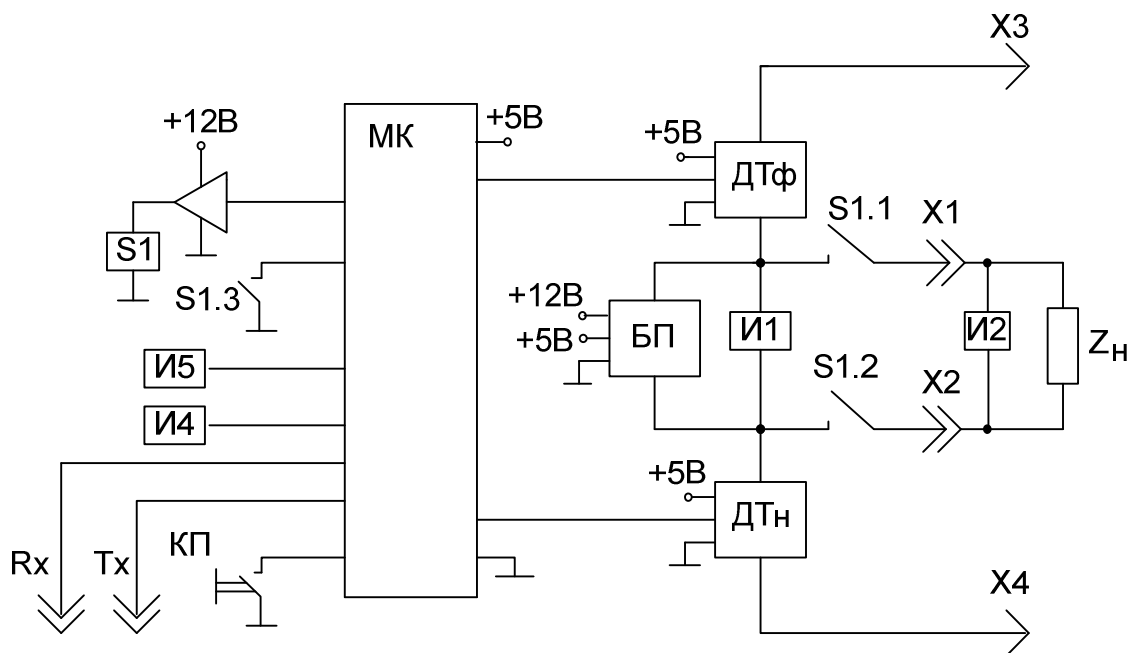


Рисунок 1 - Структурная схема УЗО

На рисунке 2.1 приняты следующие обозначения:

- ДТф, ДТн – датчики фазного и нулевого токов соответственно;
- МК – микроконтроллер семейства STM;
- БП – блок питания датчиков тока и микроконтроллера;
- S1 – контактор;
- $Z_{н}$  – нагрузка;
- КП – кнопка «ПУСК»;
- И1, И2, И4, И5 – элементы индикации: отключения нагрузки, отключения питающей сети, максимальной токовой защиты, защиты от перегрузки по току.
- X1, X2, X3, X4 – клеммы подключения прямой и обратной последовательности сети и нагрузки соответственно;

Rx, Tx выходы последовательного интерфейса стандарта UART.

Устройство работает следующим образом. При наличии напряжения питающей сети, о чём свидетельствует активное состояние индикатора И1, после кратковременного нажатия КП микроконтроллер формирует сигнал включения контактора S1, который через усилитель подаёт напряжение на

обмотку контактора S1. При этом контакты пускателя S1.1, S1.2 замыкаются, подключая тем самым нагрузку к сети, о чём свидетельствует активное состояние И2. Кроме того замыкается блок-контакт S1.3, подключенный ко входу микроконтроллера. В нормальном состоянии контактор S1 остаётся во включенном состоянии до повторного нажатия кнопки КП.

В течение всего времени активного состояния устройства информация от датчиков тока прямой и обратной последовательности обрабатывается в микроконтроллере. Описание алгоритмов обработки токов приведено в третьем разделе настоящей работы.

Контактор S1 аварийно отключается в следующих случаях:

- превышение значения прямого тока над обратным более чем на 30А, в этом случае И1 переходит в пассивное состояние;
- превышение тока прямой последовательности уставки максимальной токовой защиты, при этом И4 переходит в активное состояние.
- превышение тока прямой последовательности уставки «тепловой» токовой защиты, при этом И5 переходит в активное состояние.

Уставки защит вводятся в микроконтроллер посредством последовательного интерфейса в стандарте USART.

Структурная схема алгоритма работы микроконтроллера разрабатываемого УЗО приведена на рисунке 2. После подключения к сети устройство переходит в режим начальной инициализации (блок 1 алгоритма). Здесь настраиваются режимы работы внутренних периферийных устройств микроконтроллера: АЦП, таймеров Т2, Т6, Т7, линий портов ввода, к которым подключены устройства коммутации и индикации (рис. 2.1). Затем программа переходит в режим опроса выключателя КП1 и находится в этом режиме до нажатия КП1 (блок 2 алгоритма). В случае нажатия выключателя КП1 осуществляется переход к блоку 3 алгоритма. В блоке 3 алгоритма осуществляется ожидание опускания КП1, после которого с выдержкой 1-2 секунды происходит подача сигнала на включение контроллера S1 и переход к основной ветви алгоритма (блоки 4-13), при этом подключается нагрузка

потребителя, о чем сигнализирует индикатор И2 (рис. 1).

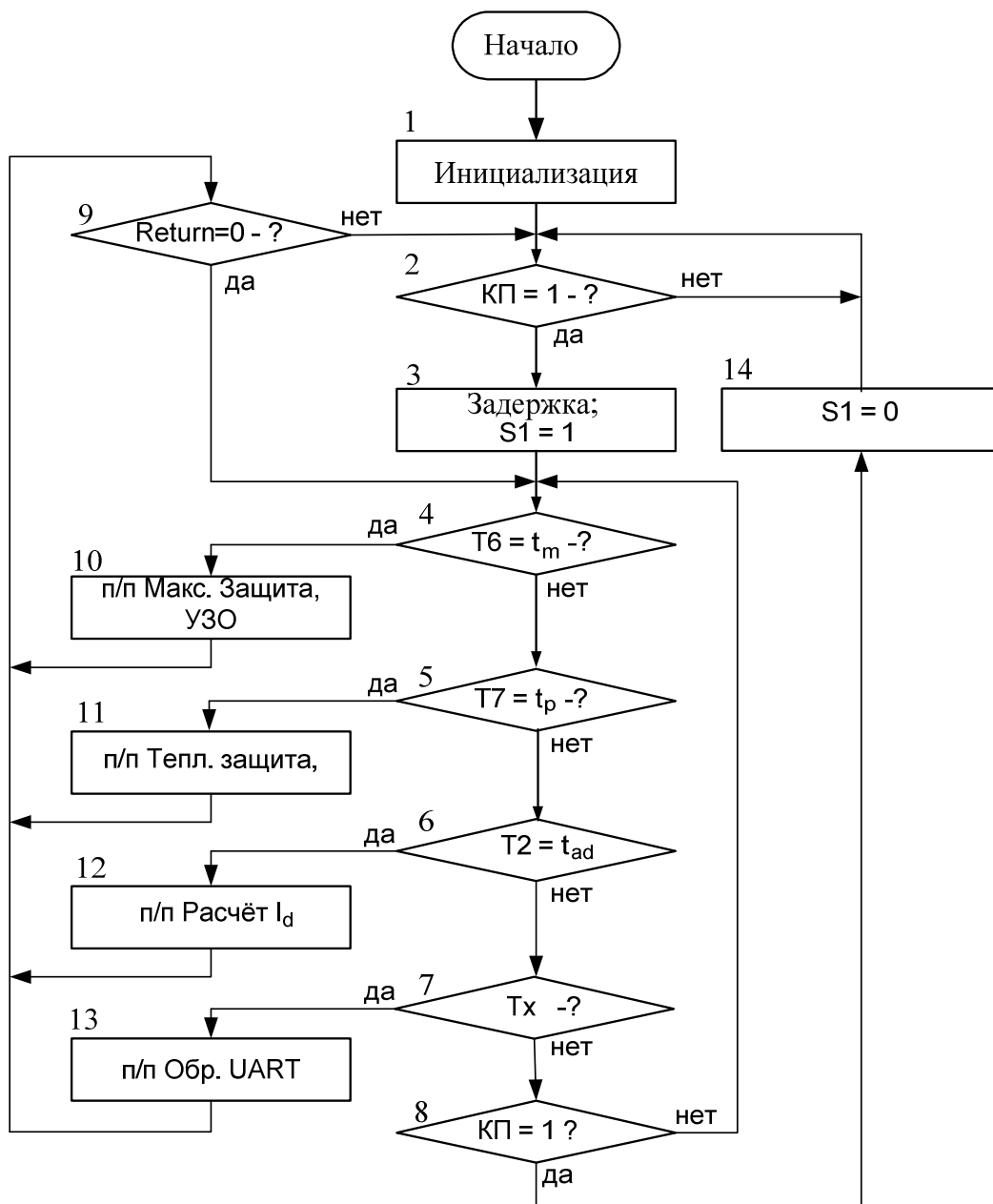


Рисунок 2 - Основной алгоритм работы УЗО

Основная ветвь алгоритма через заданные промежутки времени запускает подпрограммы: опроса АЦП (блок 6), срабатывания тепловой защиты и защиты от превышения разности токов прямой и обратной последовательностей (блок 5 алгоритма), максимальной токовой защиты (блок 4 алгоритма). Так же в основной ветви алгоритма опрашиваются запрос на ввод/вывод по интерфейсу USART (блок 7 алгоритма) и состояние КП1 на предмет отключения нагрузки (блок 8 алгоритма).

При истинности события (блоки 4-7 алгоритма) происходит переход на обработку соответствующей подпрограммы, которая возвращает значение 1 при срабатывании защит, в этом случае снимается сигнал разрешения для S1 и нагрузки отключается; в противном случае осуществляется возврат в основной цикл работы. Блок 7 алгоритма, в случае истинности события, осуществляет отключение нагрузки (блок 14 алгоритма) и переход в режим ожидания повторного включения (блок 2 алгоритма).

Все расчеты по определению текущего значения тока осуществляются на основе данных от АЦП, на входы которого подключены датчики тока прямой и обратной последовательности. Структурная схема алгоритма работы подпрограммы «Расчёт  $I_d$ » приведена на рисунке 3.

Расчет действующих значений тока прямой и обратной последовательностей осуществляются в соответствии с выражением:

$$I_d = \frac{1}{T} \sqrt{\int_0^T I(t) dt}$$

Здесь  $T$  – полупериод питающего напряжения;

$I(t)$  – мгновенное значение тока.

В подпрограмме «Расчет  $I_d$  (рисунок 3.2)» формула (1) имеет вид:

$$I_d = \frac{1}{i} \sqrt{\sum_{i=0}^{i=T_j} I_c^2}$$

Здесь  $i$  – номер отсчета;

$I_i$  – мгновенное значение тока, представленное в цифровом виде;

$T_j$  – истинное значение длительности полупериода питающего напряжения.

Значение длительности полупериода питающего напряжения  $T_j$  является величиной переменной в связи с возможным допустимым отклонением напряжения питающей сети  $\pm 2\%$ .

Работа подпрограммы начинается с запуска АЦП и ожидания от него

данных (блоки 1, 2 алгоритма). Время преобразования, в соответствии с паспортными данными микросхемы STM32S107 составляет 1-1,3 микросекунды.

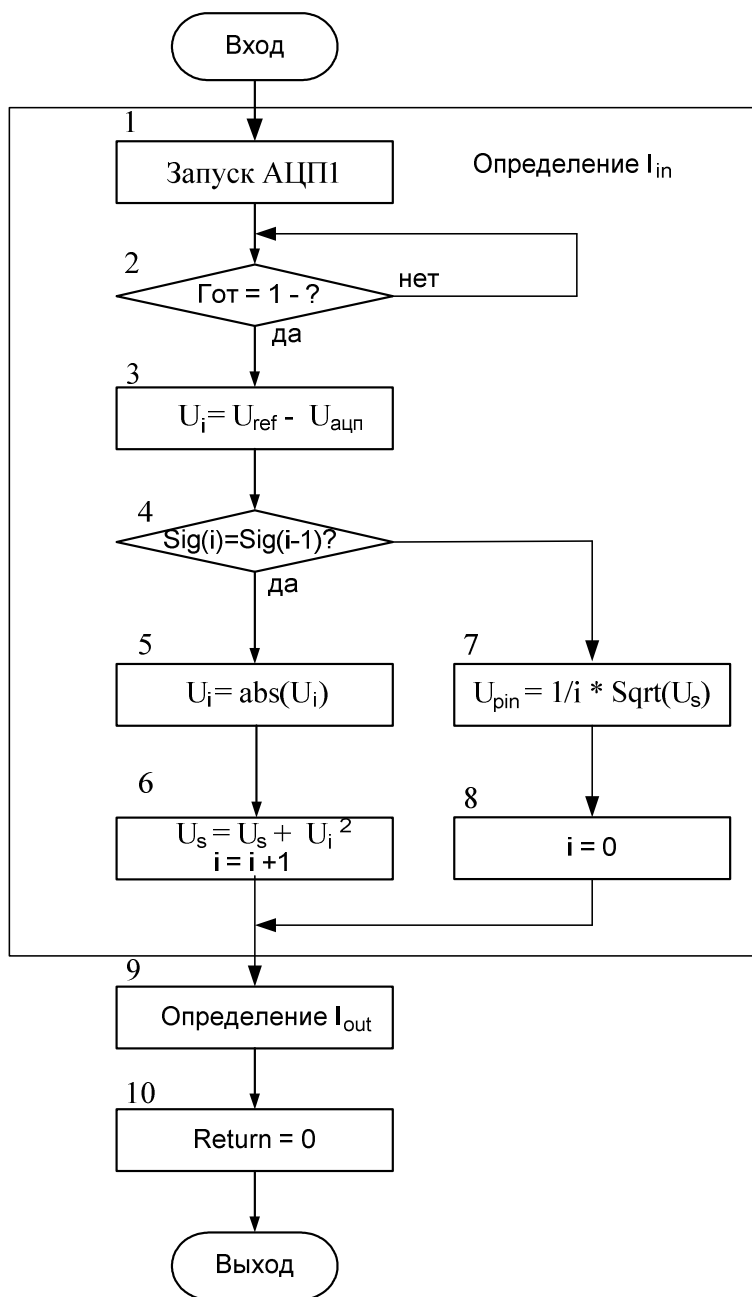


Рисунок 3 - Структурная схема алгоритма работы подпрограммы «  
Расчёт  $I_d$ »

При этом на вход АЦП микроконтроллера подключен выход датчика тока прямой последовательности. Частота опроса АЦП принята равной 20 кГц, что соответствует  $t_d = 50$  мкс. (блок 6 алгоритма, рисунок 3.1). частота выборки определена в соответствии с рекомендациями, изложенными в [3],

при этом погрешность определения  $I_d$  составляет менее 0,5%.

Блоки 3,4 алгоритма определяют точки перехода через 0 кривой прямого тока. При определении смены полярности сигнала (блок 4 алгоритма) осуществляется расчет действующего значения тока в соответствии с выражением (3.2) (блок 7 алгоритма) и обнуляется значение номера отсчета  $i$  (блок 8 алгоритма). При отсутствии перехода через 0 сигнала осуществляется цифровое интегрирование входного тока (блок 6 алгоритма) и затем переход к измерению обратного тока по аналогичному алгоритму и выходу из подпрограммы (блоки 9,10 алгоритма). В этом случае на вход АЦП подключается выход датчика ДТн.

Разработаны также алгоритма определения токов утечки, максимальной защиты и алгоритм работы тепловой защиты.

В квалификационной работе проведен анализа современного состояния конструкций устройств защитного отключения. Решена задача синтеза аппаратной части системы устройства защитного отключения с функциями дифференциальной, максимальной и тепловой токовой защит, а также функцией индикации причины срабатывания на базе микроконтроллера.

Приведены результаты разработки алгоритмов работы программной части устройства. Данная работа может послужить основой для разработки натурального образца автоматического выключателя с функциями автоматического выключателя.

## Литература

1. Б.Ю. Липкин Электроснабжение промышленных предприятий и установок. 1990 г., с86.
2. ГОСТ 21.613–88 Силовое электрооборудование, рабочие чертежи. Государственный строительный комитет СССР. Москва.
3. Г.Ф. Куценко Монтаж, эксплуатация и ремонт электроустановок. 2003 г., с. 182.



4. Правила устройства электроустановок – М.: Главгосэнергонадзор,  
2000 г..

