

# МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ АВТОМАТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ

Конода М.А., студент гр.241301

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
г. Минск, Республика Беларусь

Ковалевич Д.А. – канд. техн. наук, доцент

**Аннотация.** Актуальность работы обусловлена необходимостью модернизации парка релейной защиты и автоматики на промышленных предприятиях, а также переходом к цифровым подстанциям. В докладе представлено многофункциональное устройство, объединяющее функции токовой защиты, автоматического ввода резерва, управления выключателями и диагностики промышленных сетей.

**Ключевые слова.** Релейная защита и автоматика (РЗА), промышленная сеть, цифровая подстанция, микроконтроллер, токовая защита, АВР, измерение электрических величин.

Промышленные электрические сети 0,4–35 кВ являются критическим звеном в системах электроснабжения предприятий. Аварийные режимы (короткие замыкания, перегрузки, обрывы фаз, несимметрия) приводят к повреждению оборудования, технологическим простоям и значительным экономическим потерям. Устаревшие электромеханические и полупроводниковые устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) не обеспечивают необходимого быстродействия, селективности и возможности интеграции в АСУ ТП. Одним из основных направлений модернизации является внедрение многофункциональных микропроцессорных терминалов, совмещающих функции защиты, автоматики, управления и диагностики.

Целью работы является разработка многофункционального устройства защиты автоматики и управления, пригодного для модернизации систем РЗА на линиях, трансформаторах и электродвигателях в промышленных сетях.

Многофункциональное устройство РЗА – это микропроцессорный терминал, работающий на основе открытых стандартов и алгоритмов цифровой обработки сигналов. Полностью развёрнутое устройство включает до 6 каналов измерения тока, до 4 каналов измерения напряжения, 16 дискретных входов и 10 релейных выходов. Защитные функции реализуются в трёх временных диапазонах: мгновенные токовые отсечки (менее 40 мс), максимальные токовые защиты (0,1–10 с) и тепловые защиты двигателей (до нескольких минут). Диапазоны рабочих токов и напряжений соответствуют классам трансформаторов тока 5 А или 1 А и трансформаторов напряжения 100 В.

Особенностью устройства является поддержка как независимых, так и зависимых времятоковых характеристик (стандартная, очень инверсная, чрезвычайно инверсная), что обеспечивает селективность с плавкими предохранителями и другими терминалами РЗА при модернизации смежных присоединений. Времятоковая характеристика реализуется цифровым методом с шагом уставки по току 1 А и по времени 0,01 с. Устройство может быть представлено как конечный автомат с состояниями, определяемыми комбинацией измеренных токов, напряжений и положений выключателей.

Функция автоматического ввода резерва (АВР) использует двухуровневую логику контроля наличия напряжения на основной и резервной секциях. Контроль синхронизма при двустороннем АВР выполняется по условию:

$$\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 < 15^\circ \quad (1)$$

где  $\Delta\varphi$  – угловое рассогласование между секциями,  $\varphi_1, \varphi_2$  – фазы напряжений. При отсутствии синхронизма включение резервного ввода блокируется. Для управления выключателем применяется алгоритм контроля положения с подтверждением по дискретным входам.

Аппаратная часть устройства построена на базе микроконтроллера STM32F4xx, включающего трёхканальный 12-битный АЦП с частотой дискретизации до 2,4 Мвыб/с. Для измерения токов и напряжений используются измерительные трансформаторы тока и напряжения с гальванической развязкой. Для дискретных входов предусмотрена оптоэлектронная изоляция 2,5 кВ, для релейных выходов – электромеханические реле 8 А при 250 В АС. Интерфейсы связи включают RS-485 (Modbus RTU) и Ethernet (Modbus TCP, IEC 60870-5-104).

Микроконтроллер STM32F4xx обладает следующими характеристиками: ядро Cortex-M4 с тактовой частотой 168 МГц, аппаратная поддержка DSP-инструкций, 12-битные АЦП, до 140 дискретных входов/выходов, потребляемая мощность менее 300 мВт на устройство.

В конфигурации устройства один АЦП используется для оцифровки токов трёх фаз и тока нулевой последовательности, второй – для трёх линейных напряжений. Такое разделение позволяет оптимизировать работу устройства и обеспечить синхронные измерения токов и напряжений, необходимые для расчёта мощности, углов и активных защит.

Программная часть устройства, реализуемая на языке С с использованием RTOS FreeRTOS, включает расчёт действующих значений токов и напряжений по скользящему окну (20 мс), выделение первой гармоники (БПФ, 256 точек), контроль мгновенных значений для отсечек, логику защит и

автоматики, а также обмен данными по Modbus. Время отключения при трёхфазном коротком замыкании не превышает 40 мс.

Результаты работы могут быть использованы для модернизации систем релейной защиты и автоматики на промышленных предприятиях, повышения надёжности электроснабжения, снижения аварийности и развития методов цифрового управления промышленными сетями.

**Список использованных источников:**

1. Чернобровов, Н.В. Релейная защита / Н.В. Чернобровов. – М.: Энергоатомиздат, 2014. – 624 с.
2. Шнеерсон, Э.М. Цифровая релейная защита / Э.М. Шнеерсон. – М.: Энергоатомиздат, 2017. – 548 с.
3. Овчаренко, Н.И. Автоматика электрических сетей / Н.И. Овчаренко. – М.: ИНФРА-М, 2016. – 384 с.
4. Шабад М.А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей/ Шабад М.А. - СПб.: ПЭИПК, 201– 150с.
5. Гуревич В.И. Микропроцессорные защиты электрооборудования/ Гуревич В.И. - М.: Инфра-Инженерия, 2021 – 336с.