

# Микропроцессорное устройство автоматики ограничения повышения напряжения с контролем ресурса оборудования

инж. Акинин А.А., к.т.н. Иванов И.А, к.т.н. Любарский Д.Р.

**Рассмотрены принципы выполнения и алгоритм функционирования микропроцессорного устройства автоматики ограничения длительности существования установившихся перенапряжений, обусловленных односторонним отключением линии электропередачи. В отличие от известных устройств автоматики аналогичного назначения разработанное устройство обеспечивает учет кумулятивного эффекта воздействия перенапряжений и числа этих воздействий.**

*Введение.* Для ограничения длительности существования установившихся перенапряжений, в частности, вызванных односторонним трехфазным или однофазным отключением линии электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения, предусматриваются автоматические устройства ограничения повышения напряжения (АОПН).

Известны недостатки применяемых до настоящего времени электромеханических и микроэлектронных устройств АОПН, именованных защитами от повышения напряжения (ЗПН).

Устройства ЗПН на основе электромагнитных реле РН-58 реагируют на действующие значения контролируемого напряжения и не защищают оборудование от повышения напряжения из-за наличия высших гармонических составляющих. Кроме того, такие устройства обладают недостаточной чувствительностью из-за низкой величины коэффициента возврата.

Разработанные измерительные органы на основе реле напряжения типа РНВК с высоким коэффициентом возврата не получили применения из-за ряда следующих недостатков: возможности ложного самозапуска из-за неудовлетворительной помехоустойчивости, неустойчивости функционирования при близких к уставке напряжениях, большого времени срабатывания и т.п.

Более совершенное и в настоящее время традиционное решение реализовано на основе микроэлектронной аппаратуры шкафа ШП 2704, в котором рассмотрены чувствительная и грубая ступени измерительных органов напряжения, а также контроль активной и реактивной мощностей защищаемой линии электропередачи [1]. Выдержка времени грубой ступени отстраивается от времени срабатывания линейных разрядников. Выдержку времени чувствительной ступени целесообразно было бы задавать в соответствии с вольсекундной характеристикой оборудования. Однако из-за большой разницы в уставках по величине напряжения срабатывания грубой и чувствительной ступеней, в случае срабатывания последней приходится рассчитывать на наиболее тяжелые по-

следствия, когда контролируемое напряжение превышает уставку чувствительной ступени и близко по величине к уставке грубой ступени. Именно поэтому выдержка времени чувствительной ступени определяется достаточно высокой уставкой по напряжению грубой ступени. С этим связаны излишние нежелательные коммутации защищаемого оборудования.

К существенным недостаткам традиционного исполнения АОПН на базе ШП 2704 относятся:

- излишние отключения защищаемого оборудования;
- невозможность учета кумулятивного (накопительного) эффекта воздействия напряжения и реального числа таких воздействий;
- невозможность контроля повышения напряжения в диапазоне до 1,1 Уф.

В настоящее время приемочной комиссией ФСК ЕЭС принята разработка микропроцессорного устройства автоматики ограничения повышения напряжения с контролем ресурса оборудования (АОПН-М), выполненная ООО «Энергоизмеритель» по техническому заданию ОАО «Институт «Энергосетьпроект».

**Алгоритм функционирования АОПН-М.** Алгоритм АОПН-М разработан в ОАО «Институт «Энергосетьпроект» и реализует многолетний опыт исследований [2] и разработок средств ограничения длительности повышения напряжения для электрооборудования от 110 до 750 кВ, связанных с использованием стандартных табличных зависимостей вольт-секундной характеристики (ВСХ) – «допустимое повышение напряжения - допустимое время» (ГОСТ 1516.3-96 «Электрооборудование переменного тока на напряжения от 1 до 750 кВ. Требования к электрической прочности изоляции»).

Алгоритм основан на определении максимального и действующего значений напряжения и их сравнении со значениями допустимых кратковременных повышений напряжения для электрооборудования классов напряжения от 110 до 750 кВ.

Расчет максимальных и действующих значений напряжения осуществляется пофазно. В расчете управления используется упомянутая ВСХ (ГОСТ 1516.3-96, таблица «допустимое повышение напряжения - допустимое время»), представляющая собой данные по оборудованию, для которого повышение напряжения наиболее опасно. Предполагается использовать одни и те же данные как до, так и после отключения линии со стороны установки устройства несмотря на возможность изменения состава оборудования.

На каждом шаге расчета определяется величина текущей допустимой длительности воздействия перенапряжения на изоляцию оборудования. При этом учитывается как отработка на данном шаге расчета, так и «предыстория», в ходе которой напряжение могло изменяться. Величина допустимой длительности воздействия перенапряжения выбирается для наиболее «тяжелой» фазы, для которой эта величина является наименьшей (минимальная допустимая длительность перенапряжения). Принцип действия иллюстрируется на примере оборудования классов напряжения 750 кВ.

В алгоритме устройства предусмотрено 3 ступени управления (предвари-

тельная, первая и вторая), определяемые уровнем контролируемого напряжения. Особенности алгоритма устройства связаны с тем, что внутри каждой ступени управления благодаря используемым программно-техническим средствам имеется возможность реализовать поддиапазоны управления (в соответствии с ГОСТ 1516.3-96), которые позволяют осуществлять управление с учетом ресурса защищаемого оборудования.

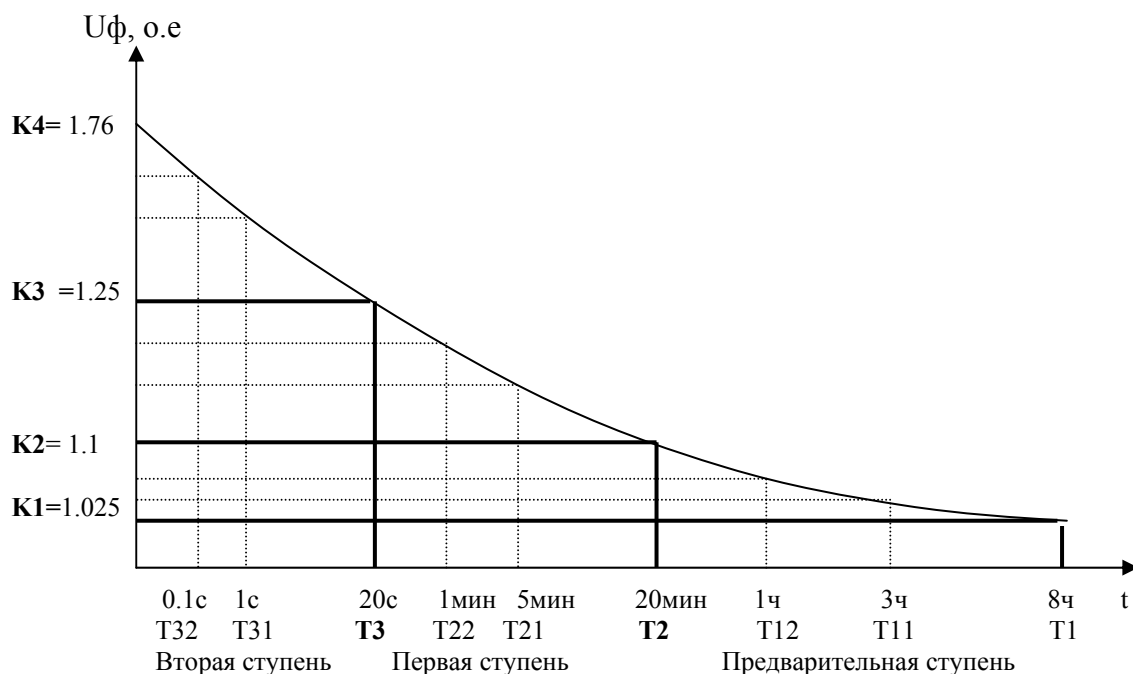


Рис. 1. Вольт-секундная характеристика (ВСХ) защищаемого оборудования (ГОСТ 1516.3-96)

#### *Предварительная ступень управления*

Контролируемые напряжения в диапазоне  $K1 \cdot U < U_{\phi} < K2 \cdot U$  ( $K1=1,025$ ,  $K2=1,1$ ), который соответствует диапазону допустимых времен от  $T1=8ч$  до  $T2=20мин$ , где:

$U$  – наибольшее рабочее напряжение (ГОСТ 1516.3-96, таблица 1);

$U_{\phi}$  – контролируемое фазное напряжение (действующее значение).

Для этой ступени управления имеются поддиапазоны, определяемые допустимыми временами  $T11=3ч$  ( $1,05U$ ) и  $T12=1ч$  ( $1,075U$ ).

#### *Первая ступень управления*

Контролируемые напряжения в диапазоне  $K2 \cdot U < U_{\phi} < K3 \cdot U$  ( $K2=1,1$ ,  $K3=1,25$ ), который соответствует диапазону допустимых времен от  $T2=20мин$  до  $T3=20с$ .

Для первой ступени управления имеются поддиапазоны, определяемые допустимыми временами  $T21=5 мин$  ( $1,15U$ ) и  $T22=1 мин$  ( $1,2U$ ).

#### *Вторая ступень управления*

Контролируемые напряжения в диапазоне  $K3 \cdot U < U_{\phi} < K4 \cdot U$ , ( $K3=1,25$ ,  $K4=1,67$ ), который соответствует диапазону допустимых времен от  $T3=20с$  до  $T=0$ .

Для второй ступени управления имеются поддиапазоны, определяемые допустимыми временами  $T_{31}=1\text{с}$  ( $1,67U$ ) и  $T_{32}=0,1\text{с}$  ( $1,76U$ ).

Перенапряжение фиксируется, если значение хотя бы одного фазного напряжения превышает наибольшее рабочее напряжение (для сравнения используются действующие значения в относительных единицах). Допустимое значение перенапряжения определяется как минимальное из значений для различных устройств, определяемых ВСХ (ГОСТ 1516.3-96) для каждого класса напряжений. В случае фиксации перенапряжения формируется обобщенный сигнал «Перенапряжение». При этом на передней панели устройства загорается светодиод «Срабатывание» на все время существования перенапряжения.

При уровнях контролируемого напряжения ниже  $1,025U$  управляющие воздействия не предполагается осуществлять.

*На предварительной ступени управления* в диапазоне  $K_1*U < U_{\phi} < K_2*U$  ( $K_1=1,025$ ,  $K_2=1,1$ ), который соответствует диапазону допустимых времен от  $T_1=8\text{ч}$  до  $T_2=20\text{мин}$ , предусмотрена возможность осуществления управления средствами снижения напряжения: форсировкой статических компенсаторов, переключением вольтдобавочных трансформаторов с целью снижения коэффициентов трансформации силовых автотрансформаторов, регулированием возбуждения и т.п. с выдержкой времени  $TS_1$  (до  $30\text{с}$ ).

Если в результате указанного управления напряжение не нормализовалось, то через определенное время  $T_{01}$  производится переход на использование средств управления 1-й ступени – включение шунтирующих реакторов, а именно: включение 1-го реактора с заданной выдержкой времени  $TR_1$  (до  $10\text{с}$ ), затем включение 2-го реактора с заданной выдержкой времени  $TR_2$  (до  $10\text{с}$ ), затем телевключение реакторов удаленного конца (при отключенной линии со «своей» стороны) с заданной выдержкой времени  $TR_3$  (до  $10\text{с}$ ). Если и после указанных мер напряжение не снизилось до нормального, производится отключение линии электропередачи с заданной выдержкой времени  $T_{02}$ .

Величина указанной выдержки времени  $T_{01}$  зависит от поддиапазона ВСХ, в который «попадает» контролируемое напряжение. В поддиапазоне между  $T_1=8\text{ч}$  и  $T_{11}=3\text{ч}$  ( $1,025U < U_{\phi} < 1,05U$ )  $T_{01}=T_{11}-T_2-TS_1=2\text{ч}40\text{мин}-TS_1$ . В поддиапазоне между  $T_{11}=3\text{ч}$  и  $T_{12}=1\text{ч}$  ( $1,05U < U_{\phi} < 1,075U$ )  $T_{01}=T_{12}-T_2-TS_1=40\text{мин}-TS_1$ .

При «попадании» в поддиапазон между  $T_{12}=1\text{ч}$  и  $T_2=20\text{мин}$  ( $1,075U < U_{\phi} < 1,10U$ ) производится переход на использование средств управления 1-й ступени.

Так как традиционными средствами управление в указанном диапазоне напряжений не осуществлялось, в устройстве предусмотрена возможность оперативного вывода управления от предварительной ступени (установкой  $GUP=0$ ). При этом персоналу представляется информация и о допустимом времени существования зафиксированного перенапряжения.

*На первой ступени управления* в диапазоне  $K_2*U < U_{\phi} < K_3*U$  ( $K_2=1,1$ ,  $K_3=1,25$ ), который соответствует диапазону допустимых времен от  $T_2=20\text{мин}$  до

$T_3=20\text{с}$ , осуществляется включение 1-го и 2-го реакторов со «своей» стороны и далее (при отключенной линии со «своей» стороны) реакторов удаленного конца с задаваемыми выдержками времени  $TR_1$ ,  $TR_2$ ,  $TR_3$  соответственно (до 10 с).

Включение реакторов осуществляется в уже рассмотренной последовательности. При фиксации перенапряжений в указанном диапазоне в течение заданного времени  $TR_1$  (до 10с) включается 1-й реактор. Если после этого напряжение не нормализовалось, то в течение заданного времени  $TR_2$  (до 10с) включается 2-й реактор.

Если в течение заданного времени  $TR_3$  (до 10с) после указанных процедур включения реакторов напряжение не нормализовалось (при отключенной линии со «своей» стороны), то производится телевключение реакторов на противоположном конце линии (дублированный сигнал). Включение 1-го и 2-го реакторов, а также телевключение реакторов на противоположном конце линии разрешается (запрещается) оперативно уставками  $SH_1$ ,  $SH_2$  и  $SH_3$  соответственно.

Если в результате указанного управления напряжение не нормализовалось, то через определенное время  $TOL$  производится переход на использование средств управления 2-й ступени – отключение линии.

Величина указанной выдержки времени  $TOL$  зависит от поддиапазона  $BCX$ , в который «попадает» контролируемое напряжение.

В поддиапазоне предварительной ступени между  $T_{12}=1\text{ч}$  и  $T_2=20\text{мин}$  ( $1,075U < U_{\phi} < 1,10U$ )  $TOL=T_2-T_3-30\text{с}$  (30с – суммарная выдержка времени включения реакторов).

В поддиапазоне между  $T_2=20\text{мин}$  и  $T_{21}=5\text{мин}$  ( $1,1U < U_{\phi} < 1,15U$ )  $TOL=T_{21}-T_3-30\text{с}$  (30с – суммарная выдержка времени включения шунтирующих реакторов). В поддиапазоне между  $T_{21}=5\text{мин}$  и  $T_{22}=1\text{мин}$  ( $1,15U < U_{\phi} < 1,20U$ )  $TOL=T_{22}-T_3-30\text{с}$  (30с – суммарная выдержка времени включения реакторов).

При «попадании» в поддиапазон между  $T_{22}=1\text{мин}$  и  $T_3=20\text{с}$  ( $1,20U < U_{\phi} < 1,25U$ ) производится переход на использование средств управления 2-й ступени.

*На второй ступени управления* в диапазоне  $K_3*U < U_{\phi}$  ( $K_3=1,25$ ), который соответствует диапазону допустимых времен менее  $T_3=20\text{с}$ , осуществляется отключение линии электропередачи и передача команды на отключение линии с противоположной стороны (дублированный сигнал).

Отключение линии со «своей» стороны производится с заданной выдержкой времени  $TOL$ , величина которой зависит от поддиапазона  $BCX$ , в который «попадает» контролируемое напряжение.

В поддиапазоне 1-й ступени между  $T_{22}=1\text{мин}$  и  $T_3=20\text{с}$  ( $1,2U < U_{\phi} < 1,25U$ )  $TOL$  не должна превышать  $\approx 19\text{с}$ , в поддиапазоне от  $T_3=20\text{с}$  до  $T_{31}=1\text{с}$  ( $1,25U < U_{\phi} < 1,5U$ )  $TOL \approx 0,8\text{с}$ , в поддиапазоне с  $T_{31} < 1$  ( $1,5U < U_{\phi}$ ) отключение линии производится без выдержки времени.

Команда на отключение линии с противоположной стороны производится без выдержки времени и может быть оперативно введена/выведена ( $OL2=1/OL2=0$ ).

Включенное состояние контролируемой линии, повышение напряжения на которой произошло из-за отключения с противоположной стороны, фиксируется по факту превышения величины реактивной мощности, направленной от линии к шинам. Уставка  $Q_C$  выбирается в соответствии со следующим условием избирательности

$$Q - K_T * |P| = Q_C,$$

где  $Q$  – реактивная мощность, направленная от линии к шинам;  $|P|$  – модуль активной мощности в линии;  $K_T$  – коэффициент торможения;  $Q_C$  – мощность срабатывания устройства при  $P = 0$ .

Контроль условий избирательности служит для выявления линии, вызвавшей повышение напряжения, путем фиксации протекания значительной по величине реактивной мощности от линии к шинам подстанции в условиях повышенного напряжения на этих шинах. Контроль условий избирательности особенно необходим в условиях, когда от подстанции отходит несколько линий. При этом только для отключенной с противоположной стороны линии значительная по величине реактивная мощность будет направлена к шинам.

Условия избирательности контролируются пофазно, так как возможны неполнофазные односторонние отключения выключателей линии.

Составляющая  $K_T * |P|$  в условии избирательности обеспечивает тормозное действие в работе избирательных органов. Такое тормозное действие повышает надежность несрабатывания устройства работающей линии, если на ней напряжение повысилось из-за одностороннего отключения смежной линии. Коэффициент торможения выбирается при конкретном проектировании устройства.

Отключение линии со «своей» стороны может быть разрешено ( $OL1 = 1$ ) или запрещено ( $OL1 = 0$ ).

В АОПН-М реализован традиционный алгоритм устройства резервирования при отказе выключателей линии (УРОВ). Отказ любого из двух выключателей фиксируется по факту наличия тока в любой из фаз через заданное время  $TU$  после формирования сигнала на отключение линии со «своей» стороны. Уставка  $TU$  может регулироваться в пределах от 0 до 0,5с с дискретностью 0,05с.

При обнаружении неисправностей в циклах периодического контроля формируется сигнал «Неготовность». Вид неисправности фиксируется и сохраняется в архиве.

## Схема подключения и структурная схема функционирования Схема подключения АОПН-М приведена на рис. 2.

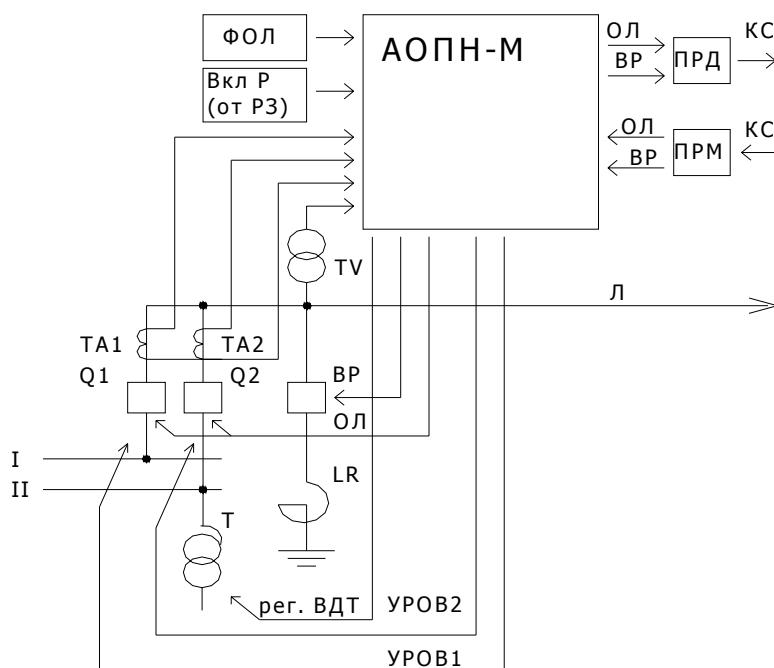


Рис. 2 Схема подключения устройства АОПН-М

Устройство АОПН-М фиксирует повышение напряжения на линии Л, соединённой с системами шин I и II через выключатели Q1 и Q2. Напряжение и ток защищаемой линии подключаются к АОПН-М через трансформаторы напряжения TV и тока ТА1, ТА2 соответственно. С помощью устройства фиксации отключения линии (ФОЛ) в сочетании с контролем тока (реактивной мощности) линии фиксируется её включенное (отключенное) состояние.

На входе устройства предусмотрено также подключение сигнала от релейной защиты шунтирующих реакторов.

Структурная схема пофазного функционирования АОПН-М приведена на рис.3.

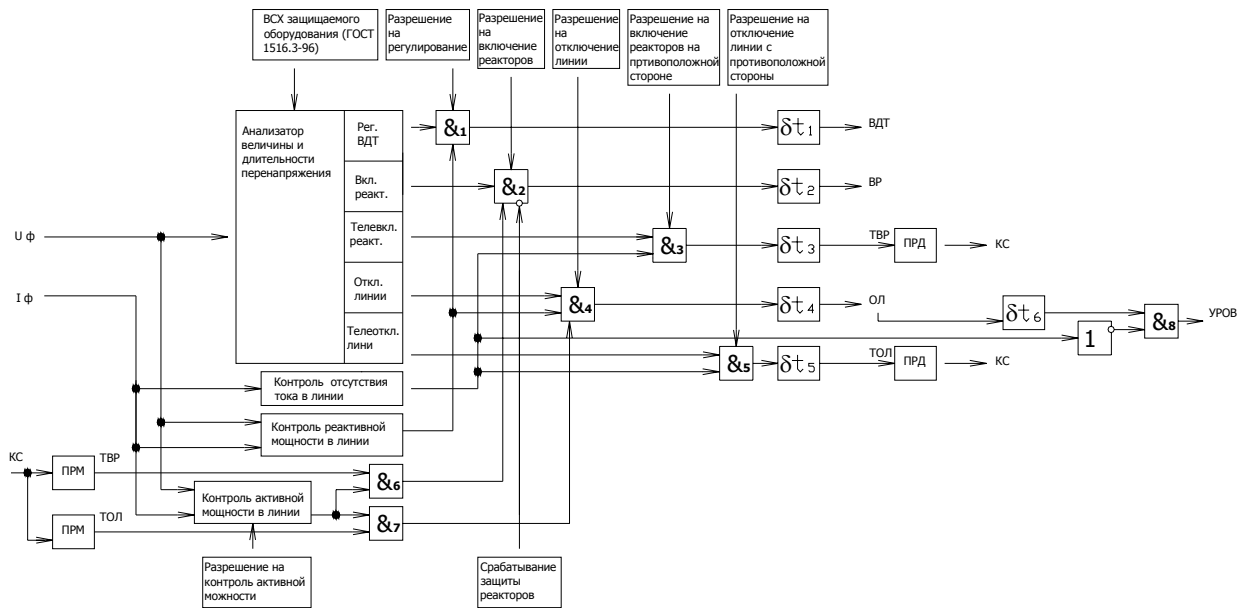


Рис. 3 Структурная схема пофазного функционирования АОПН-М

В качестве способов управления в АОПН-М, осуществляемых с согласованными выдержками времени в соответствии с ранее рассмотренным алгоритмом, предусмотрено:

- регулирование напряжения (переключение вольтдобавочного трансформатора **ВДТ** с целью уменьшения коэффициента трансформации автотрансформатора);
- включение одного и при необходимости и наличии другого шунтирующего реактора (**ВР**);
- отключение линии (**ОЛ**).

При отказе выключателя линии с дополнительной выдержкой времени действует **УРОВ**.

В АОПН-М предусмотрено взаимодействие с аналогичным устройством противоположного конца линии посредством высокочастотных (ВЧ) каналов связи **КС**:

- передача через ВЧ-передатчик (**ПРД**) на противоположный конец линии телесигналов управления **ТВР**, **ТОЛ**;
- прием через ВЧ-приемник (**ПРМ**) с противоположного конца линии телесигналов управления **ТВР**, **ТОЛ**.

**Программно-технические средства АОПН-М.** Ввод токов и напряжений энергообъекта осуществляется через согласующие трансформаторы тока и напряжения, обеспечивающие гальваническую развязку аппаратуры устройства от первичных трансформаторов тока и напряжения. Цепи переменного тока устройства выдерживают ток 1,1-ном длительно, и без повреждения ток до 40-ном в течение 1 с. Цепи переменного напряжения длительно выдерживают 1,15-ном и кратковременно (в течение 1 с) – 1,8-ном.



В устройстве предусмотрен приём до 16 независимых дискретных сигналов напряжения 220 В с током потребления не более 5 мА и гальванической развязкой 2500 В.

Интерфейс "человек-устройство" обеспечен защитой от несанкционированного доступа и осуществляет следующие функции:

- ввод и отображение уставок и других параметров настройки;
- отображение контролируемых аналоговых величин;
- ввод в действие и вывод из действия отдельных функций, выполняемых устройством;
- вывод кода неисправности, выявленной средствами внутренней диагностики;
- отображение текущего времени.

Питание устройства может осуществляться от источника переменного, постоянного или выпрямленного тока напряжением от 85В до 242В с возможностью подключения любого из перечисленных источников (при этом полярность подключения источника постоянного тока не имеет значения).

Программное обеспечение (ПО) включает ПО устройства и ПО ЭВМ верхнего уровня.

ПО устройства осуществляет:

- выполнение технологических алгоритмов в соответствии с назначением устройства;
- диагностирование и локализацию неисправностей;
- восстановление функционирования устройства при сбоях;
- ведение протокола событий с привязкой к астрономическому времени;
- интерфейс «человек-устройство»;
- интерфейс связи с верхним уровнем при функционировании в составе АСУ ТП энергообъекта по последовательному каналу RS-232 (485) (протокол связи согласуется с Заказчиком).

ПО ЭВМ верхнего уровня обеспечивает:

- программную оболочку удаленного доступа к устройству;
- ввод и редактирование блоков уставок;
- запрос на получение текущей рабочей информации от устройства;
- ведение базы данных и архива рабочей информации.

Устройство снабжено ЖКИ-дисплеем (4 строки по 16 символов) и 4-х кнопочной клавиатурой.

В устройстве предусмотрено формирование:

- обобщенных сигналов "Срабатывание" и "Неисправность" для центральной сигнализации на щите управления энергообъекта;
- подробной информации на дисплее устройства о неисправности с точностью до сменного блока и о выполнении функций в соответствии с задачами устройства;
- диагностической информации о состоянии устройства для персонала любого уровня, в том числе, передаваемой в устройство верхнего уровня.

В устройстве предусмотрены выходные реле (напряжение изоляции катушка-контакт 5 кВ переменного тока), обеспечивающие исполнительные воздействия противоаварийного управления в соответствии с назначением устройства.

Контакты выходных реле обеспечивают коммутацию нагрузки 30 ВА в цепях постоянного тока с постоянной времени не более 0,04с при напряжении не выше 250 В (при активной нагрузке обеспечивается коммутация тока до 0,3 А при напряжении постоянного тока до 300 В).

### **Заключение**

Разработанное устройство АОПН-М в отличие от традиционно используемых средств обеспечивает:

- учет кумулятивного (накопительного) эффекта воздействия напряжения и реального числа таких воздействий;
- контроль повышения напряжения с диапазоне 1,025 Uф.

### **Список литературы**

**1. Ю.И. Лысков, Н.Н. Соколов** «Внутренние перенапряжения и защита от них в дальних электропередачах 500 кВ» (Дальние электропередачи 500 кВ./под редакцией А.М. Некрасова и С.С. Рокотяна издательство «энергия» Москва 1964г.) с.153.

**2. Ф.М. Роземблум, В.Г. Салова, Г.Л. Брухис, В.А. Гладышев, И.З. Глушкин** Устройство автоматического ограничения повышения напряжения на базе шкафа автоматики ШП2704.- Электрические станции, 1989, №4, с.60-65.