

А.И.Белошистов

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ АППАРАТОВ ЗАЩИТЫ ОТ ТОКОВ УТЕЧЕК

*Минимально необходимое число параметров, контролируемых для обеспечения стабильной работы аппарата защиты от утечек тока. Методы контроля параметров.*

*К л ю ч е в ы е с л о в а:* защита от утечек тока, параметры аппарата, методы контроля

**Постановка проблемы.** Современные аппараты защиты от токов утечки выполняют функции самоконтроля исправности элементов основных узлов, влияющих на защитные характеристики. Но данная функция отвечает только за работоспособность аппарата. Наличие самоконтроля позволяет выявить неисправность аппарата в период между проверками, что позволяет осуществлять ее один раз в сутки. Однако это не решает вопроса о полном соответствии параметров аппарата защитным характеристикам в период между периодическими стендовыми испытаниями. Такие параметры как время срабатывания, уставка срабатывания и сила кратковременного тока утечки не связаны с работоспособностью, а зависят от состояния ряда компонентов аппарата защиты. Выявляются данные отклонения только при испытаниях на специализированных стендах, которые зачастую отсутствуют на угольных предприятиях.

Применение самодиагностирования аппаратов защиты способствовало бы своевременному выявлению отклонений от заданных характеристик, повышению безопасности и надежности, сокращению времени на устранение неисправности при эксплуатации.

**Анализ публикаций и исследований.** Диагностирование работоспособности и проверка на соответствие заданным параметрам электронных устройств давно применяются в различных отраслях промышленности. В зависимости от целевого назначения и функциональных особенностей устройства диагностирования имеют различные характеристики. Применяются устройства как контроля параметров электрической цепи, так и контроля различного рода сигналов, подаваемых на вход или снимаемых с выхода подконтрольных объектов [1]. Существует ряд общих характеристик, присущих любой системе автоматического контроля, что позволяет использовать накопленный опыт проектирования подобных устройств, применив его непосредственно при разработке методов непрерывного диагностирования аппаратов защиты от токов утечки.

На данном этапе развития отечественного аппаратостроения практически отсутствуют аппараты защиты от токов утечки с функцией непрерывно действующего диагностирования защитной характеристики. Успешное применение микропроцессорной техники позволяет решить задачу внедрения таких устройств в аппараты защиты от токов утечки для нужд горнодобывающей промышленности.

**Цель статьи.** Обосновать необходимый перечень параметров для контроля состояния аппарата защиты и разработать методы контроля этих параметров.

**Результаты исследований.** Оценка соответствия параметров аппарата защиты заданным требованиям не может производиться непосредственно на месте его установки без нарушения технологического цикла производства, т.к. о параметрах контролируемого устройства с большой вероятностью можно судить на основании распределения силы тока и напряжения на его элементах, измеряемых на специальных стендах. В отличие от электронных устройств, обрабатывающих одну определенную функцию, аппараты защиты выполняют одновременно несколько, изменяя свои параметры в зависимости от режима работы, что существенно усложняет контроль их работоспособности.

Для автоматического контроля параметров на каждой позиции контроля необходимо иметь информацию, на основании которой выбирается нужная контролирующая цепь, устанавливаются номинальные значения контролируемого параметра и их допустимые отклонения, задается режим работы. Исходными данными для составления алгоритма контроля являются принципиальная схема контролируемого устройства и алгоритм его работы.

На основании проведенного анализа схемных решений серийно выпускаемых аппаратов защиты составлена структурная схема (рисунок 1), позволяющая оценить взаимодействие составляющих его узлов и выявить возможную степень влияния отклонений их параметров.



Рисунок 1 – Структурная схема аппарата защиты от утечек тока

Любой аппарат защиты можно представить как устройство, состоящее из источника питания, источника измерительного тока, элементов сопряжения с контролируемой сетью и схемы измерения, имеющих выход на исполнительный орган. Параметры этих составляющих определяют рабо-

тоспособность аппарата в целом. Для оценки объема контролируемых параметров необходимо определить степень влияния отклонений в работе каждой из частей, составляющих аппарат, на его защитные параметры.

Источник питания является одной из основных частей, параметры которой определяют работу устройства в целом. Как показал анализ, качество работы этой части существенно влияет на основные защитные параметры аппарата. Отклонения параметров источника питания приводят к таким негативным последствиям, как снижение уставок срабатывания, наличие зон неустойчивой работы и ложных срабатываний, ухудшение защитных характеристик аппарата. Зачастую процесс данных изменений имеет длительный характер и происходит не скачкообразно, а является плавно изменяющимся во времени. Последствия такого процесса выявляются только при стендовых испытаниях аппаратов защиты, которые проводятся не чаще одного раза в два года, и только в том случае, если параметры аппарата уже явно не соответствуют предъявляемым требованиям. Начальные стадии снижения защитных характеристик, обусловленные отклонениями в работе источников питания, можно выявить только при наличии устройства непрерывного самодиагностирования работы аппарата.

Параметры источника питания, подлежащие непрерывному контролю, определяем, проанализировав степень изменений, характер этих изменений и причины, их вызывающие. Качество его работы оценивается по следующим параметрам [2]:

а) входное напряжение –  $U_{вх}$  ;

б) выходное напряжение –  $U_{вых}$  ;

в) коэффициент сглаживания пульсаций –  $q = \frac{U_{вх}^{(n)}}{U_{вх}} : \frac{U_{вых}^{(n)}}{U_{вых}}$  ,

где  $U_{вх}^{(n)}$ ,  $U_{вых}^{(n)}$  – амплитуда пульсации входного и выходного напряжения;

г) коэффициент стабилизации –  $K_{ст} = \frac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}} : \frac{\Delta U_{вых}}{U_{вых}}$  ,

где  $\Delta U_{вх}$ ,  $\Delta U_{вых}$  – изменения входного и выходного напряжения;

д) коэффициент стабилизации при изменении сопротивления нагрузки

$$K_{R_H} = \frac{\Delta R_H}{R_H} : \frac{\Delta I_H}{I_H} ,$$

где  $R_H$ ,  $\Delta R_H$  – сопротивление нагрузки и его изменение;

$I_H$ ,  $\Delta I_H$  – сила тока нагрузки и ее изменение;

е) внутреннее сопротивление постоянному току выпрямителя  $r_{0\text{дин}}$  и стабилизатора  $r_{н.дин}$ , которое определяет импульсные изменения выходного напряжения выпрямителя  $\Delta U_{0и}$  и стабилизатора  $\Delta U_{н.и}$  при им-

пульсном изменении силы тока их нагрузки  $\Delta I_{0u}$  и стабилизатора  $\Delta I_{н.и}$  соответственно при постоянном входном напряжении

$$r_{0 \text{ дин}} = \frac{\Delta U_{0u}}{\Delta I_{0u}};$$

$$r_{н.дин} = \frac{\Delta U_{н.и}}{\Delta I_{н.и}};$$

ж) температурный коэффициент, учитывающий изменение выходного напряжения стабилизатора при изменении температуры окружающей среды  $T_c$  на один градус Цельсия

$$\alpha_n = \frac{\Delta U_n / U_n}{\Delta T_c} 100.$$

Диапазон изменения температуры  $\Delta T_c$  определяется по заданной максимальной  $T_{c.max}$  и минимальной  $T_{c.min}$  температуре окружающей среды:

$$\Delta T_c = T_{c.max} - T_{c.min};$$

з) коэффициент нестабильности по напряжению  $\delta U_n, \%$ , определяемый при  $I_n = const$  и заданном изменении входного напряжения на  $\Delta U_{вх}$ :

$$\delta U_{н(U)} = \frac{(\Delta U_n)U}{U_n} 100;$$

и) коэффициент нестабильности по силе тока  $\delta U_{н(I)}, \%$ , определяемый при заданном изменении силы тока нагрузки на  $\Delta I_n$  при  $U_o = const$ :

$$\delta U_{н(I)} = \frac{(\Delta U_n)I}{U_n} 100;$$

к) суммарная нестабильность выходного напряжения стабилизатора  $\delta U_n, \%$ , при одновременном воздействии всех возмущающих факторов определяется как сумма соответствующих коэффициентов нестабильности для каждого фактора с учетом знака его изменения:

$$\delta U_n = \delta U_{н(U)} + \delta U_{н(I)} + \alpha_n \Delta T_c.$$

Анализ приведенных соотношений параметров источников питания позволяет выделить те, отклонение которых будет оказывать существенное влияние на работу аппарата защиты в целом. К таким параметрам можно отнести выходное напряжение, амплитуду пульсаций выходного напряжения и силу тока нагрузки источника питания. Учитывая, что основной причиной увеличения коэффициента пульсаций и, как правило, снижения качества питающего напряжения аппарата является снижение емкости электролитических конденсаторов фильтров источников питания, непрерывный контроль этого параметра позволит выявить начальную стадию процесса.

Поскольку принцип измерения сопротивления изоляции контролируемой сети под рабочим напряжением большинства аппаратов защиты основан на наложении на сеть переменного тока оперативного постоянного напряжения, приложенного между защищаемой сетью и землей, то следующим параметром, подлежащим непрерывному контролю, является источник опорного напряжения  $U_{вых.оп}$ . Для него сила тока нагрузки – величина переменная и является функцией сопротивления изоляции сети. Она контролируется измерительной схемой аппарата и предопределяет его основные защитные параметры. Поэтому для данного источника в качестве параметра, подлежащего контролю, рационально использовать коэффициент сглаживания пульсаций  $q_{оп}$  и напряжение  $U_{вых.оп}$ . Контроль перечисленных параметров обеспечит стабильную работу источника питания.

Измерительная схема любого аппарата защиты определяет его защитные характеристики и в наибольшей мере подвержена воздействиям, связанных с изменениями параметров составляющих элементов, в основном под воздействием окружающей среды и времени. Последствием данных изменений становится зачастую снижение помехоустойчивости аппарата защиты и изменение защитных характеристик, связанных с его временными параметрами. Данные отклонения в работе аппарата защиты приводят к неоправданным простоям в работе и могут быть выявлены только при стендовых испытаниях.

Обеспечение помехоустойчивости и временных характеристик аппаратов защиты, применяемых в настоящее время на предприятиях горно-рудной промышленности, осуществляется в основном за счет R-С-цепей. Контроль параметров данной цепи в значительной степени затруднен и возможен только по её реакции на определенный входной сигнал. Это связано с тем, что входным сигналом является сила измерительного тока аппарата защиты, зависящая от состояния изоляции контролируемой сети, и нелинейной зависимостью времени срабатывания аппарата защиты – от силы измерительного тока. Как показывает анализ измерительных схем аппаратов защиты, при наличии нескольких каналов контроля силы измерительного тока, имеющих обособленные времязадающие цепочки, невозможно получить однозначный ответ о соответствии параметров цепей предъявляемым требованиям. Это объясняется тем, что каналы контроля в данных измерительных схемах работают параллельно и входной сигнал подается одновременно на оба канала. Отличие каналов заключается только в пороге срабатывания, постоянной времени времязадающих цепей и функциональном назначении.

Измерительную схему можно представить в виде порогового элемента, на вход которого подключена времязадающая цепь, состоящая из активных сопротивлений R и емкостей C. Порог срабатывания измерительной схемы задается напряжением заряда конденсатора времязадающей цепи, которое изменяется по закону [3]:

$$U_c = U(1 - e^{-\frac{t}{T}}).$$

Учитывая, что реальные схемы имеют определенное входное сопротивление, напряжение на конденсаторе изменяется в соответствии с выражением:

$$U_c = \left[ \frac{Ur_2}{r_1 + r_2} \right] - \left[ \frac{Ur_1}{r_1 + r_2} \right] e^{-\frac{t}{T}},$$

где  $r_1$  – сопротивление зарядной цепи;

$r_2$  – входное сопротивление исполнительного устройства;

$U$  – входное напряжение.

Постоянная времени процесса заряда конденсатора до уставки срабатывания равна:

$$T = \frac{r_1 r_2}{(r_1 + r_2)C}.$$

При постоянных значениях входного сопротивления исполнительного устройства, сопротивления зарядной цепи и заданных значениях входного напряжения можно контролировать основной параметр измерительной схемы, предопределяющий временные характеристики аппарата защиты. Контроль параметров времязадающих цепей измерительной схемы позволит обеспечить устойчивую к переходным процессам работу аппарата при выполнении требований по обеспечению его быстродействия.

Методы контроля параметров аппаратов защиты, которые могут быть использованы для самодиагностирования, должны основываться на минимизации затрат на их реализацию. Самыми распространенными и позволяющими получить хорошие результаты являются амплитудно-фазовый и время-импульсный методы контроля [4]. При амплитудно-фазовом методе контролируемые параметры или их отклонения от заданных значений преобразуются в общем случае в напряжение. Полученный в результате преобразования сигнал удобен для дальнейшей обработки микропроцессорным устройством. Время-импульсный метод основан на использовании реактивной составляющей сопротивления контролируемой цепи. Наиболее удобными для контроля данным методом являются цепи, состоящие из параллельного или последовательного соединения резистора и конденсатора. К таким цепям относятся времязадающие цепи аппаратов защиты с постоянной времени, находящейся в пределах допуска. При время-импульсном методе параметры контролируемой электрической цепи сначала преобразуются в напряжение, а последнее – во временные интервалы.

Исходя из условий эксплуатации, диагностирование аппарата защиты можно проводить в следующих режимах:

а) при его включении;

- б) при периодических проверках;
- в) непрерывное при его работе.

Перечень проверяемых параметров в каждом из режимов определяется, исходя из принципиальной схемы аппарата. При диагностировании аппарата при его включении необходимо проверять максимальное количество параметров, отвечающих за работу аппарата в целом. Периодические проверки работоспособности аппарата защиты можно совместить с проверками временных защитных параметров. Непрерывное диагностирование работоспособности должно охватывать параметры, отвечающие за уставки срабатывания и контроль силы входного тока ( $I_{вх.ис.}$ ) измерительной схемы.

На основании анализа выбран перечень параметров для аппаратов защиты, подлежащих контролю устройством его диагностирования (таблица 1). Использование устройства позволит предотвратить эксплуатацию этих аппаратов с отклонениями защитных характеристик и обеспечить их своевременную замену.

Таблица 1

Контролируемый параметр	Допустимые границы изменения параметра	Периодичность контроля
$U_{вх}$ $U_{вых}$ $U_{вх}^{(n)}$ $U_{вых}^{(n)}$ $I_H$ $U_{вых.оп}$ $q_{оп}$ $I_{вх.ис.}$	$U_{max1} > U_{вх} > U_{min1}$ $U_{max2} > U_{вых} > U_{min2}$ $U_{вх\ max}^{(n)} > U_{вх}^{(n)} > U_{вх\ min}^{(n)}$ $U_{вых\ max}^{(n)} > U_{вых}^{(n)} > U_{вых\ min}^{(n)}$ $I_H > I_{max1}$ $U_{max3} > U_{вых.оп} > U_{min3}$ $q_{max} > q_{оп}$ $I_{max2} > I_{вх.ис} > I_{min2}$	Постоянно при включении
$T$	$T_{max} > T > T_{min}$	Периодически при проверках
$U_{вх}$ $U_{вых}$ $I_H$ $q_{оп}$	$U_{max1} > U_{вх} > U_{min1}$ $U_{max2} > U_{вых} > U_{min2}$ $I_H > I_{max1}$ $q_{max} > q_{оп}$	Постоянно

## **Выводы:**

1. Проведен анализ возможных отклонений в работе аппарата защиты от утечек тока на землю при его эксплуатации за счет изменений параметров комплектующих элементов. Определено минимально необходимое количество параметров, подлежащих контролю для обеспечения стабильной работы аппарата защиты.

2. Предложены методы контроля параметров электрических цепей аппарата защиты.

## **Список литературы**

1. Автоматический контроль радиоэлектронного и электротехнического оборудования / [Мартяшин А.И., Рыжевский А.Г., Чернецов К.Н., Шляндин В.М.] .–М.:Энергия, 1972.

2. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. Г.С.Найвельта.– М.: Радио и связь,1986.– 586с.

3. Лысенко Е.В. Функциональные элементы релейных устройств на интегральных микросхемах / Е.В. Лысенко.- М.: Энергоатомиздат, 1990. – 192с.

4. Белошистов А.И. Разработка системы диагностирования пускорегулирующей аппаратуры горнодобывающей промышленности / А.И. Белошистов, А.В.Савицкий // Взрывозащищенное электрооборудование: сб. науч.тр. УкрНИИВЭ. -Донецк: ООО «Юго-Восток, Лтд», 2008.-С.83-88.