



УДК 621.316

ДИАГНОСТИКА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ НА БАЗЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ



DIAGNOSTICS OF HIGH-VOLTAGE SWITCH BASED ON MICROPROCESSOR RELAY PROTECTION

Киселёв Д.В.

Казанский государственный
энергетический университет
D.kiselev@list.ru

Рябишина Л.А.

доцент кафедры электротехника
и электрооборудование предприятий,
магистрант,
Казанский государственный
энергетический университет
ryabli@yandex.ru

Аннотация. Актуальной задачей в области диагностики высоковольтных выключателей является усовершенствование существующих принципов определения технического состояния высоковольтных выключателей. Для исследований был выбран метод определения сработавшего и остаточного ресурса выключателя – по величине энергии, выделяемой в выключателе при коммутации.

Ключевые слова: сигнал в дальней зоне группы пневмоисточников, сигнал в ближней зоне, гидрофон, итерационный вычислительный процесс.

Kiselev D.V.

Kazan state energy university
D.kiselev@list.ru

Ryabishina L.A.

Assistant Professor of electrotechnics
and electrical equipment of enterprises,
Graduate student,
Kazan state energy university
ryabli@yandex.ru

Annotation. An urgent task in the field of diagnostics of high-voltage switches is to improve the existing principles for determining the technical condition of high-voltage switches. For research, a method was chosen to determine the triggered and residual life of the switch by the amount of energy released in the switch during switching.

Keywords: monitoring, diagnostics, high-voltage switch, resource, switching energy.

Высоковольтные выключатели (ВВ) – основными коммутационные аппараты, которые являются наиболее ответственным оборудованием энергосистемы. ВВ должны обеспечивать высокую надежность выполнения своих функций отключения и включения как в нормальном, так и в аварийном режимах. Соответственно они требуют проведения своевременного и обоснованного технического обслуживания и ремонта. Сложно осуществлять техническое обслуживание и ремонт по техническому состоянию, не располагая современной системой мониторинга и диагностики, способной оценивать техническое состояние и определять расход и остаток ресурса ВВ в автоматическом режиме.

Для создания такой системы необходимо обеспечить поступление диагностических параметров от объекта диагностики. Применительно к ВВ эту задачу можно решить, организовав поток диагностических данных от терминалов микропроцессорной релейной защиты, автоматики и управления (МП РЗАУ), относящихся к данному ВВ.

В современных терминалах МП РЗАУ в структуре автоматизированной системы управления технологическим процессом энергетического объекта функции мониторинга и диагностики ВВ присутствуют в устройствах производителей релейной защиты. Однако их реализация не всегда полноценна и зачастую сводится к ведению статистики работы ВВ. В связи с этим задача усовершенствования существующих принципов определения технического состояния ВВ является весьма актуальной.

Как известно [2], техническое состояние дугогасительной камеры ВВ и его контактной системы отражает коммутационный ресурс ВВ. Коммутационный ресурс задается заводом-изготовителем и определяется допустимым для ВВ количеством операций отключения как при номинальном токе ($I_{ном}$), так и при номинальном токе отключения ($I_{ном.о}$) без осмотра и ремонта дугогасительного устройства.

На предприятиях электроэнергетики определение расхода коммутационного ресурса проводится оперативным персоналом по методике [3]:

$$R = \sum_{i=1}^K R_i = \sum_{i=1}^K \frac{1}{N_i}, \quad (1)$$

где R – расход коммутационного ресурса за K отключений; R_i – расход коммутационного ресурса за одно отключение тока I_i ; N_i – допустимое количество отключений при токе I_i .



Условием вывода ВВ в ремонт является [3]:

$$\sum_{i=1}^K \frac{1}{N_i} > 1 - \frac{1}{N_{min}}, \tag{2}$$

где N_{min} – допустимое количество отключений при наибольшем токе, возможном в месте установки ВВ.

Недостаток данной методики в том, что не учитывается влияние многих факторов, от которых зависит износ дугогасительной камеры ВВ – вида и времени протекания короткого замыкания (КЗ), наличия апериодической составляющей в токе, времени горения дуги и других.

Преимуществом методики [4] является то, что в качестве эксплуатационного фактора, наиболее сильно влияющего на снижение ресурса, может быть использован любой – электрический, тепловой, химический, механический. При этом необходимо определить зависимость срабатываемого ресурса ВВ от этого фактора для вычисления относительного отклонения данного фактора, что является сложной задачей. В работе [4] описано использование данной методики с учетом лишь тока, коммутируемого ВВ. В таком виде данная методика имеет те же недостатки, что и в работе [3].

Сработка коммутационного ресурса ВВ происходит в результате оплавления и испарения материала контактов при коммутациях токов КЗ, сопровождающихся электрической дугой внутри дугогасительного устройства ВВ при разрыве его контактов. При больших коммутируемых токах КЗ общий износ ВВ находится в зависимости от энергии, выделяющейся на его контактах [5].

Рассмотрим предлагаемый принцип организации работы функции мониторинга и диагностики высоковольтного выключателя (МДВВ) с использованием методики [4], приняв в ней за наиболее значимый эксплуатационный фактор энергию, выделяемую в ВВ при отключении.

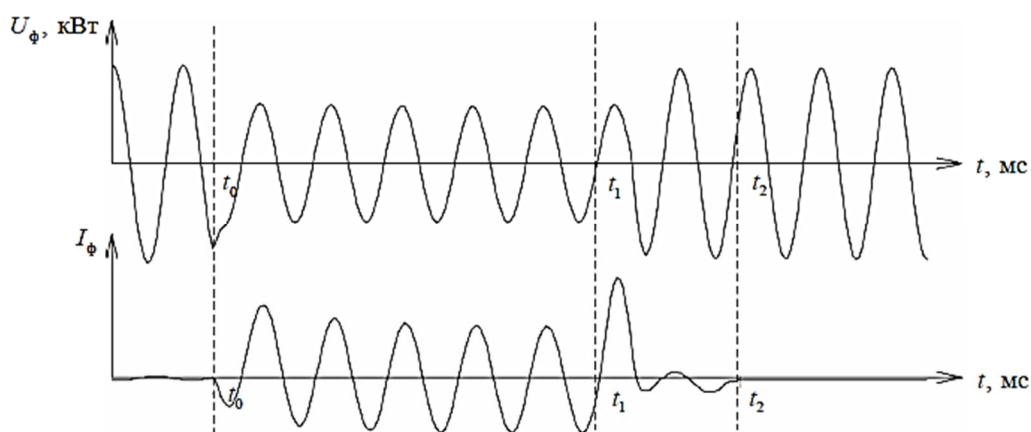
Эта энергия может быть подразделена на две составные части:

- W_1 – энергия, выделившаяся на контактах ВВ в интервале времени от момента КЗ (t_0) до момента начала расхождения контактов ВВ (t_1) (рис. 1);
- W_2 – энергия, выделившаяся в ВВ от момента загорания электрической (t_1) дуги до момента ее погасания (t_2) (см. рис. 1).

Суммарная энергия, выделяющаяся в ВВ при отключении им КЗ, определяется выражением:

$$W_{\Sigma} = W_1 + W_2. \tag{3}$$

Современные терминалы МП РЗАУ осуществляют запись и хранение мгновенных значений токов и напряжений трех фаз в месте установки ВВ в виде осциллограмм, а также запись большого количества дискретных сигналов (срабатывание защит, положение ВВ и др.). Пример осциллограммы тока при отключении однофазного КЗ на линии электропередачи приведен на рисунке 1. Здесь: U_{ϕ} , I_{ϕ} – фазные напряжение и ток; t_0 – время возникновения КЗ; t_1 – время начала размыкания контактов; t_2 – время погасания дуги.



Из данной осциллограммы можно определить величины, необходимые для определения энергии, выделяющейся в ВВ при отключении КЗ: ток через ВВ (i), время существования КЗ до момента размыкания контактов $t_{кз} = t_1 - t_0$ и время гашения электрической дуги $t_d = t_2 - t_1$.

Энергия W_1 , выделившаяся в ВВ за время КЗ, когда его контакты замкнуты, определяется выражением:

$$W_1 = r_k \int_{t_0}^{t_1} i_{кз}^2(t) dt, \tag{4}$$

где $i_{кз}(t)$ – функция тока КЗ; r_k – электрическое сопротивление замкнутых контактов ВВ; t_0 – момент времени начала КЗ; t_1 – момент времени начала размыкания контактов ВВ.



Энергия W_2 , выделившаяся в ВВ за время, когда его контакты размыкаются, определяется накопленной реактивной энергией цепи КЗ:

$$W_2 = EI_{кз}t_d \sin \varphi_{кз}, \tag{5}$$

где E – эдс энергосистемы; $\varphi_{кз}$ – угол короткого замыкания; $I_{кз}$ – действующее значение тока КЗ до момента размыкания контактов.

Значения величин $i_{кз}(t)$, $I_{кз}$, t_0 , t_1 и t_2 определяем из осциллограммы (см. рис. 1), E – из данных электрической сети и, наконец, r_k – из паспортных данных ВВ.

Выражение (3) для фактического сработанного ресурса при учете фактора – коммутируемой энергии W_Σ – примет вид:

$$R = R_0 + \sum_{j=1}^K \left(\int_0^{R_j} \exp\left(\frac{W_\Sigma - W_0}{\Delta W}\right) dr - R_j \right), \tag{6}$$

где W_0 – нормативное значение энергии; ΔW – относительное отклонение энергии (при каждом увеличении фактора W_Σ на величину ΔW фактический сработанный ресурс ВВ увеличивается в e раз, а при уменьшении – уменьшается в e раз).

Нормативный коммутационный ресурс ВВ R_0 определяется, как ресурс ВВ в номинальных условиях эксплуатации, и равен $N_{ном}$ – допустимому количеству отключений ВВ при токе $I_{ном}$. Однако если требуется рассчитать фактический ресурс за наработку, отличную от наработки в объеме нормативного ресурса R_0 , то в выражении (6) необходимо принять значение R_0 , равное этой наработке [4].

Коммутационный ресурс на ВВ дается заводом-изготовителем в виде зависимости допустимого количества отключений ВВ $N_{ном}$ при токе $I_{ном}$ и $N_{ном.0}$ при токе $I_{ном.0}$. Расход коммутационного ресурса за одно отключение тока $I_{кз} = I_{ном}$ с учетом выражения (1):

$$R_{ном} = \frac{1}{N_{ном}}, \tag{7}$$

Выражение (8) для фактического сработанного ресурса учитывает основные факторы, от которых зависит износ дугогасительной камеры ВВ – ток КЗ, время гашения дуги, а также фактический угол КЗ. В результате увеличивается точность оценки технического состояния ВВ.

ВВ должен быть выведен в ремонт, если при следующем отключении полюсом ВВ тока КЗ расход его коммутационного ресурса может превысить 100 %. Таким образом, условие вывода ВВ в ремонт после K отключений по аналогии с (2) имеет вид:

$$R > \left(1 - \frac{1}{N_{ном.0}}\right) 100 \%, \tag{8}$$

где $N_{ном.0}$ – допустимое количество отключений ВВ при токе $I_{ном.0}$.

В случае выполнения условия (8) функция МДВВ выводит сигнал предупреждения о критическом значении коммутационного ресурса ВВ.

Основные преимущества данного метода:

1. Диагностика и мониторинг ведутся в автоматическом режиме, без вывода ВВ из работы.
2. Необходимую диагностическую информацию несут только величины, получаемые из осциллограмм терминала МП РЗАУ, то есть нет необходимости в специфических датчиках.
3. Данная методика подходит для различных типов ВВ.
4. Возможность продления срока эксплуатации ВВ по результатам вычислений.

Литература

1. Гловацкий В.Г., Пономарев И.В. Современные средства релейной защиты и автоматики электросетей. – Киев : Энергомашвин, 2003. – 534 с.
2. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ и 110–1150 кВ. – М. : Папирус Про, 2005. – Т. 5. – 608 с.
3. Рассальский А.Н. Методы непрерывного контроля и оценки состояния высоковольтного оборудования подстанции / А.Н. Рассальский, С.П. Конограй, А.А. Сахно // МА «ТРАВЭК»: IV междунар. науч.-техн. конф. «Силовые трансформаторы и системы диагностики», 22–23 июня 2010 г.: докл. – 39. – 2010. – 9 с.
4. Назарычев А.Н., Андреев Д.А., Таджикибаев А. Справочник инженера по наладке, совершенствованию технологии и эксплуатации электрических станций и сетей. – М. : Инфра-Инженерия, 2006. – 928 с.
5. Чунихин А.А. Электрические аппараты. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.

References

1. Glovatsky V.G., Ponomarev I.V. Modern means of relay protection and automation of electric networks. – Kiev : Energomashvin, 2003. – 534 p.



2. Makarov E.F. Handbook of electrical networks 0,4–35 kV and 110–1150 kV. – М. : Papyrus Pro, 2005. – Vol. 5. – 608 p.
3. Rassalsky A.N. Methods of continuous monitoring and evaluation of the state of high-voltage equipment of a substation // A.N. Rassalsky, S.P. Konogray, A.A. Sakhno // MA TRAVEC: IIV Int. scientific and technical conf. «Power transformers and diagnostic systems», June 22–23, 2010: dokl. – 39. – 2010. – 9 p.
4. Nazarychev A.N., Andreev D.A., Tadzhibaev A. Reference engineer on the adjustment, improvement of technology and operation of power plants and networks. – М. : Infra-Engineering, 2006. – 928 p.
5. Chunikhin A.A. Electrical apparatus. – М. : Energoatomizdat, 1988. – 720 p.