

2. Получены решения уравнений математической модели макроскопического электромагнитного поля применительно к плоским многослойным контактными соединениям, что позволило создать основы расчета токораспределения в контактах и определения их электрических характеристик.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бредихин А. М., Хомяков М. В. Электрические контактные соединения. — М.: Энергия, 1980.
2. Хусу А. П., Витенберг Ю. Р., Пальмов В. А. Шероховатость поверхностей: Теоретико-вероятностный подход. — М.: Наука, 1975.
3. Демкин Н. Б., Рыжов Э. В. Качество поверхности и контакт деталей машин. — М.: Машиностроение, 1981.
4. Герасимович А. Н., Герасимович Д. А. Решение краевой задачи токораспределения в шинопроводе прямоугольного профиля итерационным методом // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 1996. — № 3—4. — С. 3—8.
5. Герасимович А. Н., Герасимович Д. А. Электромагнитное поле токопровода прямоугольного профиля // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 1996. — № 5—6. — С. 18—23.
6. Электромагнитные процессы в слоистых проводниках и структурах контактных соединений / А. Н. Герасимович, Д. А. Герасимович, Г. В. Яковлев и др. // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 2001. — № 2. — С. 11—25.
7. Основы расчета токораспределения в плоских контактных соединениях / А. Н. Герасимович, Д. А. Герасимович, Г. В. Яковлев и др. // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 2000. — № 3. — С. 12—24.
8. Герасимович А. Н., Герасимович Д. А., Яковлев Г. В. Токораспределение в плоском контактном соединении разнородных проводников // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). — 2000. — № 5. — С. 13—26.

Представлена кафедрой  
электрических станций

Поступила 20.03.2001

УДК 621.06.064

## АЛГОРИТМ УЧЕТА КОММУТАЦИЙ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ И РАСЧЕТА ИХ ОСТАТОЧНОГО МЕХАНИЧЕСКОГО И КОММУТАЦИОННОГО РЕСУРСОВ

**Канд. техн. наук СОПЬЯНИК В. Х.,  
инженеры АБАТУРИН В. А., ЖУК Е. И.**

*Научно-исследовательское и проектное республиканское  
унитарное предприятие «БелТЭИ»*

Высоковольтные выключатели (ВВ) в процессе эксплуатации участвуют в ликвидации аварий и расходуют свой коммутационный и механический ресурс, который зависит от количества коммутационных операций (включено, отключено) и величин коммутируемых ими токов.

Целью данного алгоритма является повышение эффективности эксплуатации ВВ путем автоматического сбора в АСУ ТП энергоблоков, ОРУ электрических станций и подстанций информации о коммутацион-

ных операциях с ВВ, величинах коммутируемых ими токов и расчета их остаточного коммутационного и механического ресурсов.

Высоковольтные выключатели согласно инструкциям по эксплуатации характеризуются следующими основными параметрами, которые позволяют в АСУ ТП электростанций и подстанций их контролировать, учитывать при расчете и оценке технического состояния ВВ:

номинальным рабочим напряжением и током;

номинальным током отключения  $I_{\text{ном.отк}}$ ;

полным временем отключения, включения, с;

механическим ресурсом  $P_{\text{мех}}$ ;

максимальным допустимым для каждого полюса выключателя без осмотра и ремонта дугогасительного устройства суммарным числом  $S_n$  коммутационных операций типа включено (В) и отключено (О) (коммутационная износостойкость) при токах короткого замыкания в диапазонах  $n$  градаций номинального тока отключения. Следует заметить, что инструкции по эксплуатации некоторых ВВ регламентируют также допустимое количество коммутационных операций типа «О»  $S_{\text{он}}$ ;

сроком службы выключателя до среднего ремонта  $T_{\text{ср.рем}}$ , если до этого срока не исчерпаны механический ресурс или допустимое число операций по коммутационной износостойкости ВВ;

сроком службы выключателя до списания  $T_{\text{к}}$ .

Под механическим ресурсом ВВ  $P_{\text{мех}}$  понимается и задается допустимое количество  $N$  циклов «ВКЛЮЧЕНИЕ – ПРОИЗВОЛЬНАЯ ПАУЗА – ОТКЛЮЧЕНИЕ». Если количество выполненных коммутационных операций ВВ типа «О» обозначить через  $N_0$ , а коммутационные операции типа «В» – через  $N_{\text{в}}$ , то израсходованный механический ресурс ВВ вычисляется по следующей зависимости:

$$P_{(t)\text{изр.мех}} = \frac{N_0 + N_{\text{в}}}{2}, \quad (1)$$

а остаточный механический ресурс при этом равен

$$P_{(t)\text{ост.мех}} = P_{\text{мех}} - P_{(t)\text{изр.мех}}. \quad (2)$$

Коммутационная износостойкость ВВ задается допустимым количеством коммутационных операций типа «О» и суммарным числом операций типа «О» + «В» с учетом градации  $n$  величины номинального тока отключения ВВ, которые различны для различных типов ВВ.

Для организации контроля за расходом коммутационной износостойкости ВВ введем понятия остаточный коммутационный ресурс ВВ  $D_{\text{н.ост}}$ , который для нового ВВ или после его капитального ремонта принимается равным 1, и израсходованный коммутационный ресурс  $D_{\text{изр}}$ , соответственно равный нулю для нового ВВ. Учет остаточного и израсходованного коммутационного ресурса производится для каждой фазы ВВ.

Наличие в АСУ ТП энергоблоков, ОРУ цифрового осциллографирования токов КЗ и регистрации коммутационных операций с ВВ позволяет автоматизировать учет коммутационных операций ВВ, величины коммутируемых ими токов и расчет остаточного коммутационного и механического ресурсов каждой фазы ВВ.

Для организации расчета остаточного коммутационного и механического ресурсов ВВ в АСУ ТП создается база нормативно-справочной информации, которая включает:

тип ВВ, дату и место установки и фазу присоединения;

величину номинального тока отключения ВВ;

количество градаций ( $n = 1, \dots, k$ ) по номинальному току отключения и допустимое для каждого полюса ВВ без осмотра и ремонта дугогасительного устройства количество коммутационных операций типа «О» + «В»  $S_n$  и коммутационных операций типа «О»  $S_{On}$  при допустимых значениях коммутируемых номинальных токов отключения с учетом градаций;

начальное значение остаточного коммутационного ресурса ВВ  $D_{н.ост}$ ;

допустимое минимальное значение остаточного коммутационного ресурса исходя из возможных максимального тока короткого замыкания и количества коммутационных операций с учетом наличия автоматического повторного включения (АПВ)  $D_{ост.доп}$ , при достижении которого текущим остаточным ресурсом  $D_{(t)ост}$  выдается сообщение о израсходовании остаточного коммутационного ресурса ВВ;

начальное значение механического ресурса ВВ в виде допустимого числа коммутационных операций  $N = («О» + «В»)/2$ .

Укрупненный алгоритм расчета остаточного коммутационного и механического ресурсов ВВ сводится к следующей процедуре:

1) задается остаточный механический ресурс ВВ в виде допустимого количества  $N$  циклов;

2) рассчитываются удельные расходы коммутационных ресурсов ВВ для каждой градации номинального тока отключения

$$Z_n = \frac{1}{S_n}, \quad n = 1, \dots, k; \quad (3)$$

3) рассчитывается и задается минимально допустимый коммутационный ресурс выключателя при максимальном токе КЗ с учетом возможного количества коммутационных операций ВВ при действии АПВ;

4) фиксируется изменение состояния ВВ по дискретным сигналам, введенным в ИВС АСУ ТП от блок-контактов «Вкл» и «Откл», и время изменения их состояний, определяется вид коммутации и ее продолжительность;

5) анализируется коммутационная операция с ВВ. Если режим был нормальный, то значения коммутируемых токов выбираются из файла значений нормальной эксплуатации. Если же режим был аварийный, то значения токов выбираются из файла действующих значений на момент начала коммутации, сформированного по результатам цифрового осциллографирования токов КЗ;

6) по величинам коммутируемых токов фазами ВВ и типу коммутационной операции «О» или «В» по каждой градации суммируется и фиксируется соответственно число коммутационных операций  $G_{On}$  и  $G_{Vn}$  каждой фазы ВВ;

7) вычисляется суммарный израсходованный коммутационный ресурс ВВ по каждой фазе и выполненным коммутационным операциям типа «О»  $G_{On}$  и суммарный ресурс по операциям «О» + «В»  $G_n$  по следующим зависимостям:

$$D_{(t) \text{ о. изр. } j} = \sum_1^{n=k} (G_{onj} \cdot Z_n), \quad j = A, B, C; \quad (4)$$

$$D_{(t) \text{ изр. } j} = \sum_1^{n=k} (G_{nj} \cdot Z_n), \quad j = A, B, C, \quad (5)$$

где  $G_{on}$  – суммарное количество выполненных коммутационных операций типа «О» по каждой градации  $n = 1, \dots, k$  номинального тока отключения;

$G_n$  – суммарное количество выполненных коммутационных операций типа «О» + «В» по каждой градации  $n = 1, \dots, k$  номинального тока отключения;

$Z_n$  – удельный расход коммутационного ресурса ВВ по каждой градации  $n$  номинального тока отключения;

8) вычисляются остаточный коммутационный ресурс ВВ по каждой фазе

$$D_{(t) \text{ ост. } j} = D_{\text{н. ост. } j} - D_{(t) \text{ изр. } j} \quad (6)$$

и остаточный ресурс по результатам коммутационных операций типа «О»

$$D_{(t) \text{ ост. } j} = \frac{S_{\text{оп}}}{S_n} D_{\text{н. ост. } j} - D_{(t) \text{ о. изр. } j} \quad \text{при } n = 1; \quad (7)$$

9) сравнивается остаточный коммутационный ресурс ВВ с минимально допустимым ресурсом, и если  $D_{(t) \text{ ост. } j} < D_{\text{мин. доп. } j}$  или  $D_{(t) \text{ о. ост. } j} < D_{\text{мин. доп. } j}$ , то выдается сообщение о том, что ВВ выработал свой коммутационный ресурс и подлежит выводу в ремонт;

10) сравнивается израсходованный механический ресурс  $P_{(t) \text{ изр. мех.}}$ , вычисленный по зависимости (1), с допустимым, и в случае

$$P_{(t) \text{ изр. мех.}} \geq P_{\text{мех.}}$$

считается, что выключатель выработал свой механический ресурс и подлежит выводу в ремонт;

11) сравнивается текущий срок эксплуатации выключателя до среднего ремонта  $T_{(t) \text{ рем}}$  с допустимым сроком эксплуатации до среднего ремонта  $T_{\text{ср. рем}}$ , и если  $T_{(t) \text{ рем}} \geq T_{\text{ср. рем}}$ , то выдается сообщение о необходимости вывода его в ремонт. После ремонта ВВ  $T_{(t) \text{ рем}}$  принимается равным нулю;

12) сравнивается текущее время эксплуатации ВВ  $T_{(t) \text{ экс}}$  с допустимым сроком эксплуатации  $T_k$ , и если  $T_{(t) \text{ экс}} \geq T_k$ , то выдается сообщение, что срок эксплуатации ВВ истек и он подлежит демонтажу.

Разработанный алгоритм расчета остаточного коммутационного и механического ресурсов ВВ реализован в АСУ ТП ОРУ-750 кВ Курской АЭС для выключателей ВВВ-750.

Алгоритм расчета остаточного коммутационного ресурса ВВ реализован также в автономном режиме на ПЭВМ для выключателей

типа У-110-2000-50, установленных в ОРУ-110 кВ одной из ТЭЦ РАО ЕЭС.

Программная реализация алгоритма на ПЭВМ допускает обработку до 40 ВВ и включает окна: ВВОД ДАННЫХ; ПРОСМОТР; ПЕЧАТЬ; ОЧИСТКА; ВЕДЕНИЕ НСИ; СПРАВКА.

Окно «ВВОД ДАННЫХ» включает следующие операции:

выбор номера ВВ на схеме, ввод величин коммутируемых токов по фазам, дату и время коммутационной операции;

выбор первой коммутационной операции, выполненной ВВ. Последующие коммутационные операции определяются автоматически, т. е. за первой коммутацией типа «О» следует коммутационная операция «включить» и т. д.;

ввод принятой информации.

Окно «ПРОСМОТР» обеспечивает просмотр:

всего архива по всем ВВ;

всего архива по всем ВВ в диапазоне указанных дат;

всего архива по одному заданному выключателю;

архива по одному заданному ВВ в диапазоне указанных дат.

Окно «ПЕЧАТЬ» обеспечивает распечатку:

всего архива по коммутационным операциям с ВВ;

архива по всем ВВ в диапазоне указанных дат;

всего архива по заданному ВВ;

архива по заданному ВВ в диапазоне указанных дат.

Окно «ОЧИСТКА» позволяет очистить архив по коммутационным операциям ВВ с учетом тех возможностей, что заложены при просмотре или распечатке.

Окно «ВЕДЕНИЕ НСИ» позволяет просмотреть, изменить, корректировать НСИ по каждому ВВ.

Окно «СПРАВКА» позволяет познакомиться с описанием технологического алгоритма расчета остаточного коммутационного ресурса ВВ.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

1. В ы к л ю ч а т е л и высоковольтные трехполюсные серии ВНВ на напряжение 330, 500, 750 кВ: Техн. описание и инструкция по эксплуатации. — М., 1985. — 57 с.

Поступила 20.03.2001