



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ



1

• ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ • 1984

ОРГАН МИНИСТЕРСТВА ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ СССР
И ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРАВЛЕНИЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА ЭНЕРГЕТИКИ
И ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ИМЕНИ АКАДЕМИКА Г. М. КРЖИЖАНОВСКОГО

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ

ОСНОВАН В 1930 ГОДУ

МОСКВА

ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ

ЯНВАРЬ

1984

1

С Новым годом, дорогие товарищи!

СОДЕРЖАНИЕ

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

- 2 Кириллов А. П., Лукин В. В., Пискарев В. В. — О необходимости проведения испытаний электротехнического оборудования на сейсмостойкость в условиях АЭС
4 Гузунгой Ю. О., Гуревич Г. И., Зарковский Ю. В., Михеев Ю. И., Уставин Г. А., Тыщук О. Л., Черепанов Д. А., Чешева И. И. — Исследование деформации турбоагрегата К-500-65/3000 и его фундамента

ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

- 6 Мадоян А. А., Гречаний А. Н., Балтин В. Н., Чебатуров В. А. — Влияние фракционного состава пыли на экономичность котлов ТП-100, работающих в нестандартных режимах
9 Шинцер И. И. — Исследование процесса горения низкосортных газовых угля
13 Стрелкова К. С., Миронова Н. И. — О прочности коллекторной системы подогревателей высокого давления
17 Гинсбург Г. В., Кириш А. К., Нурик В. И., Сахаров А. М. — Экономичность современных паровых и газовых турбин
19 Берман Л. Д. — О распределении концентраций газов в конденсате, образующемся в конденсаторах паровых турбин
23 Пепинов Р. И., Юсуфова В. Д., Николаев В. А. — Коррозионная стойкость конструкционных материалов в паровой среде Мутиновского геотермального месторождения
24 Носулько Д. Р., Перетятко Д. В. — Освоение и совершенствование системы регулирования парораспределения и защиты энергоблоков 800 МВт Запорожской ГРЭС
27 Сиварт А. А., Данилов А. И., Смоков Т. И. — Наладка и исследование схемы утилизации тепла уходящих газов котла парогазовой установки
29 Азубкин Ю. И. — Допустимая величина балансировочных грузов на консольных роторных бандажах турбогенераторов

ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

- 34 Геллер Р. Л., Кислицкий В. В., Надточий В. М., Цветков В. А. — Оценка состояния стальных конструкций составного статора гидрогенератора
38 Берман И. Б., Лукин Е. М., Макарицкий П. Н., Матвеев В. А., Семенов В. В., Степанов Э. Ф., Червациенна И. М. — Испытания систем группового управления агрегатами Братской ГЭС по активной мощности и частоте
42 Цавришвили Д. Г., Калабеганшвили Н. Г., Жадов Ю. И., Забрина Р. Д. — Очистка системы водяного охлаждения обмоток статоров гидрогенераторов

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЭНЕРГОСИСТЕМ

- 44 Железко Ю. С. — Погрешности учета электроэнергии
46 Изиев С. Г., Христов Х. К. — Устойчивость параллельной работы на общие шины генераторов с сильным и пропорциональным регулированием возбуждения

ДИСПЕТЧЕРСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

- 49 Веневцев Ю. С., Гвоздев Б. И., Нестеренко В. Л., Яковлева Т. С. — Цифровая система автоматического регулирования частоты и активной мощности в энергообъединении Сибири

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

- 53 Базмын Р. В., Данин А. П. — Исследования стойкости изоляционных опор ЭОИЩ-35-3000
56 Конов Ю. С., Малышев А. В. — Повышение надежности работы электроустановок со сдвоенными токоограничивающими реакторами

РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА, АВТОМАТИКА, СВЯЗЬ

- 59 Соколова Г. В. — Защита от замыканий на землю типа ИЭС

ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

- 62 Курносое А. И., Наконечный Я. А., Гальперин Б. М. — Железобетонные опоры ПБ 750-3 на ВЛ 750 кВ Чернобыльская АЭС — Винница
65 Киракосов В. Г., Марков В. А., Строчков В. К. — Устройство контроля угла электропередачи
68 Артемьев А. С., Гутман И. Ю., Соломонович Е. А. — Оценка дуговой стойкости полимерных изоляторов для воздушных линий электропередачи

ОБМЕН ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ОПЫТОМ

- 70 Феофилов Г. П., Козлов С. А., Данилов В. А. — Устройство обнаружения неисправностей электрооборудования стационарных плужных сбросыателей
72 Сураев А. П., Поваров П. А. — Повышение эффективности откачки жидких реакторов
73 Усманов Ф. Х., Байрамгулов Ю. Ж. — Обледенение проводов ВЛ 6—10 кВ сельскохозяйственного назначения

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- 75 Лорданнидзе В. Д. — Об инструкции по проектированию городских и поселковых электрических сетей

ИЗ ИСТОРИИ СОВЕТСКОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

- 76 Воробьев А. П. — Вдрузе в нашей стране

* * *

- 78 Петр Григорьевич Грудинский (к 90-летию со дня рождения)

* * *

- 79 Правила оформления рукописей статьи

кой значений управляющих воздействий u_k для того, чтобы перевод не вызвал скачков внеплановой мощности. Обратный перевод с АСАРЧМ на ЦСАРЧМ осуществляется хотя и по команде, заданной вручную, но более оперативно, так как в ЦСАРЧМ производится автоматическая подстройка к значениям u_k , выданным АСАРЧМ, которые ЭВМ имеют возможность измерять с помощью цепей обратной связи с входа передатчика УТМ (рис. 2). При переходе с АСАРЧМ на ЦСАРЧМ принятые значения u_k «приписываются» на РКМ станций, а регуляторы начинают работу из исходного состояния, т. е. в момент перехода устанавливаются все $u_{jk}=0$.

В отличие от этого перевод процесса регулирования с одной ЭВМ на другую как вручную, так и автоматически (в случае отказа ведущей ЭВМ) выполняется не только с сохранением значений u_k , но и с сохранением всех значений u_{jk} . При этом переходе также используются цепи обратной связи, которые позволяют ведомой машине отслеживать динамический процесс изменения u_k . Значения u_{jk} передаются с помощью канала ММО, имеющего более низкое быстродействие. В момент подхвата значения u_{jk} корректируются путем распределения между ними невязки равенства

$$u_k = \sum_j u_{jk}$$

Перевод комплекса из одномашинного в двухмашинный режим осуществляется либо вручную, либо автоматически после запуска второй ЭВМ. Для обеспечения идентичности массивов этот перевод сопровождается операцией «восстановления» массивов путем пересылки их по каналу ММО из рабочей ЭВМ в подключаемую ЭВМ.

Эксплуатационные характеристики комплекса. С 1979 г. ЦСАРЧМ проходила опытную эксплуатацию сначала в одномашинном, затем в двухмашинном варианте. Первоначально ЦСАРЧМ проверялся в условиях работы на сигнал, а с середины 1981 г. периодически включалась в контур регулирования. В процессе опытной эксплуатации ЦСАРЧМ показала достаточно высокую надежность и в 1982 г. введена в постоянную промышленную эксплуатацию.

Одной из основных проблем при внедрении ЦСАРЧМ в составе ИУК являлась проблема ресурсов ЭВМ, связанная с тем, что во время разработки ЦСАРЧМ, информационная система также значительно изменилась как по объему, так и по выполняемым функциям. Задача АРЧМ занимает около 25 % ресурсов времени центрального процессора в ведущей ЭВМ. Нехватка ресурсов приводила к появлению задержек в выполнении информационных задач, в частности задержек в выводе информации на экраны (задача АРЧМ, как более приоритетная, задержек практически не имела).

Для улучшения динамических характеристик ИУК были усовершенствованы системы управления программами. Полученные в результате характеристики ИУК удовлетворяют эксплуатационным требованиям. Далее приведены показатели объема УИК, причем данные о фактическом объеме относятся к 1982 г.

	Число	
	расчетное	фактическое
Программы	240	162
Телеизмерения	500	153
Телесигналы	4000	540
Режимы регулирования	10	5
Регулирующие станции	10	4
Дисплеи	16	12

Динамическая характеристика приведена далее.

Цикл расчета и выдачи воздействий АРЧМ, с	1
Запаздывание в ЭВМ формирования воздействий АРЧМ, с	1,5—2,5
Вывод информации на дисплеи, с	4—5
Цикл обновления информации на дисплеях, с	10—30
Пересылка данных ручного ввода в другую ЭВМ, с	20—40
Перевод процесса регулирования на резервную ЭВМ, с	5—15
Коммутация дисплеев при переводе на резервную ЭВМ, с	20—40
Восстановление двухмашинного режима, с	100—120

Однако при пиковой нагрузке ЭВМ (в моменты высокой интенсивности работы на дисплеях) ресурсы центрального процессора ЭВМ используются практически без остатка, поэтому дальнейшее развитие как информационной части комплекса, так и АРЧМ возможно только за счет дополнительных мероприятий по высвобождению ресурсов ЭВМ. Существенный эффект в этом направлении может быть достигнут с помощью включения в комплекс микро-ЭВМ для приема информации от устройств телемеханики и ее первичной обработки.

В перспективе при интенсивном дальнейшем развитии комплекса проблема ресурсов может возникнуть снова. В этом случае планируется переход от совмещенного варианта комплекса к раздельному. Но и в этом случае можно считать, что первоначальная ориентация на совмещенный вариант сыграла большую положительную роль, обеспечив односторонность математического обеспечения и существенную экономию трудозатрат на разработку.

Выводы

1. Полученные эксплуатационные характеристики комплекса подтверждают возможность совмещения информационных и управляющих задач в случае достаточного большого их объема.
2. Практические результаты подтверждают возможность получения высокого уровня надежности двухмашинного комплекса без использования параллельного счета на основе взаимного контроля и резервирования ЭВМ.

Список литературы

1. Комплексная система автоматического регулирования частоты и активной мощности в Объединенной энергосистеме Сибири/Венецев Ю. С., Кучкин М. Д., Титаренко В. П. и др. — Электрические станции, 1971, № 6.
2. Управление режимом работы энергообъединения по частоте и активной мощности с использованием ЦВМ/Артибидов М. А., Бурлая И. В., Голубин Е. А., Кырчаева З. И. — Электричество, 1975, № 10.
3. Экспериментальная цифровая система автоматического регулирования частоты и активной мощности ЕЭС СССР/Совалов С. А., Беркович М. А., Комаров А. Н. и др. — Электричество, 1979, № 3.

РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

УДК 621.316.37.015

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТИ ИЗОЛЯЦИОННЫХ ОПОР 3×ОНШ-35-2000

Базыкин Р. В., инж., Долин А. П., канд. техн. наук
НИЦ ВВА — МЭИ

В последние годы введены в действие и успешно эксплуатируются ОРУ напряжением 110 и 220 кВ с жесткой ошиновкой. Начало внедрение жестких шин на подстанциях более высоких напряжений. В качестве изоляционных опор для крепления шин жесткой ошиновки в ОРУ 110—220 кВ весьма широко распространение получили шинные опоры, собранные из опорно-штыревых изоляторов ОНШ-35-2000.

Как показывают теоретические исследования, электродинамическая стойкость шинных конструкций существенно зависит от параметров изоляторов. Поэтому задача работы состояла в экспериментальном определении жесткости, разрушающих нагрузок, частоты собственных колебаний опор 3×ОНШ-35-2000, теоретическом обосновании допустимых нагрузок на опоры, а также испытаниями шинной конструкции с этими изоляторами на электродинамическую стойкость, экспериментальном и теоретическом определении допустимых уровней токов КЗ для опытной линии ОРУ напряжением 110 кВ с жесткой ошиновкой. Работа проводилась совместно кафедрой электрических станций МЭИ и лабораторией больших токов Научно-исследовательского центра по испытанию высоковольтной аппаратуры.

В [1, 2] и других работах указывается, что электродинамическая стойкость шинных конструкций зависит от жесткости и частоты собственных колебаний изоляционных опор. Для определения жесткости а также для оценки разрушающих нагрузок на изгиб были проведены испытания составных изоляционных опор на статическую нагрузку. На рис. 1 представлена принципиальная схема экспериментальной установки. Испытуемая опора 2 устанавливалась на основание 1. Нагрузка создавалась ручным приводом 5; прогибы изоляторов под действием приложенной нагрузки измерялись прогибомерами 3 типа ЛИСИ модели ПАО-6, а статическая нагрузка динамометром 4 системы Токаря. Для учета погрешности, связанной с деформациями основания 1,

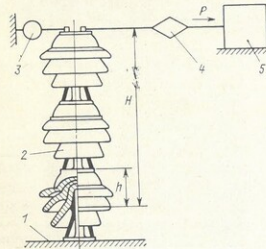


Рис. 1. Схема испытания изоляторов на статическую нагрузку

вблизи места крепления изоляционных опор индикаторами часового типа измерялись прогибы самого основания. На экспериментальной установке снимались упругие характеристики опор, т. е. зависимости статической силы p , приложенной к вершине опоры, от перемещения (прогиба) y головки верхнего изолятора.

Испытания проводились на десяти опорах 3×ОНШ-35-2000 из одной партии изоляторов при значениях затягивающих моментов m крепежных болтов нижних изоляторов к основанию 150, 100 и 75 Н·м. Затягивающий момент болтов устанавливался динамометрическим ключом; болты двух верхних изоляторов в опытах не ослаблялись и их затяжка соответствовала максимально возможной. При каждом нагружении от 0 до максимальной нагрузки p_{max} показания прогибомеров и динамометра снимались в 5—7 точках. На каждой опоре при одном значении затягивающего момента m проводилось три-четыре нагружения. Данные испытания еще раз подтвердили, что упругие характеристики нелинейны, однако кривизна функции $p=p(y)$ невелика. Поэтому вполне оправдано для оценки жесткости изоляторов, т. е. коэффициента пропорциональности между статической нагрузкой p и прогибом y , проводить линеаризацию упругих характеристик. При этом коэффициент жесткости $C_{оп}$, отвечающий среднеквадратичному отклонению экспериментальных точек от графика линеаризованной функции $p=p(y)$, определяется по формуле [3]

$$C_{оп} = \frac{\sum_{i=1}^m p_i y_i}{\sum_{i=1}^m y_i^2} \quad (1)$$

где p_i ; y_i — экспериментально полученные значения силы и прогиба при i -м измерении; m — общее число измерений на опоре (или нескольких опорах) при фиксированном значении затягивающего момента.

Обработка результатов испытаний проводилась на ЭВМ. На рис. 2 представлены зависимости жесткости изоляционных опор 3×ОНШ-35-2000 от затягивающего момента крепежных болтов нижних изоляторов. Сплошная кривая построена в результате обработки данных испытаний всех десяти опор. Пунктирные кривые получены для изоляторов с наибольшим и наименьшим отклонением жесткости от среднего значения.

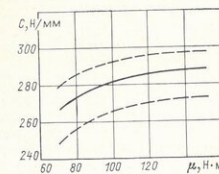


Рис. 2. График зависимости жесткости опоры 3×ОНШ-35-2000 от момента затяжки болтов в основании нижнего изолятора

Анализ полученных результатов показал, что среднее значение жесткости опор 3×ОНШ-35-2000 при высокой степени затяжки крепежных болтов составляет около 290 кН/м. При ослаблении болтов до 75 Н·м жесткость снижается на 7–12 %. Разброс жесткости опор из одной партии изоляторов ОНШ-35-2000 незначителен и составляет не более 6 %.

На установке (рис. 1) проводилось также экспериментальное определение разрушающих нагрузок $R_{разр}$ изоляционных опор.

Испытывались четыре опоры. Разрушающая нагрузка одной из опор составляла 425 даН. Эта опора предварительно успешно выдержала три цикла нагружений до 350 даН. Другая опора выдержала в первом нагружении 400 даН, но при повторном нагружении при этом значении силы разрушилась. Две другие опоры получили видимые повреждения при нагрузках более 375 и 325 даН. В последнем случае опора имела значительный эксцентриситет, обусловленный начальной кривизной осей изоляторов.

Разрушение всех опор сопровождалось предварительным потрескиванием, а затем образованием видимых продольных трещин на последнем фарфоровом элементе нижнего изолятора. Иногда наблюдались разрушения других фарфоровых элементов нижнего, а также среднего изоляторов.

Испытания не подтвердили указанное в некоторых справочниках значение разрушающей нагрузки изоляционных опор 3×ОНШ-35-2000 равное 500 даН. Наиболее близким к результатам испытаний оказалось аналитическое значение $R_{разр}$, которое в соответствии с [4] для колонки, собранной из опорно-штыревых изоляторов, определяется по формуле

$$R_{разр} = R_{разр. на} \frac{h}{H}, \quad (2)$$

где $R_{разр. на}$ — разрушающая нагрузка нижнего изолятора, устанавливаемая заводом-изготовителем, в данном случае равная 2000 даН; h и H — расстояние от опасного сечения нижнего изолятора соответственно до его вершины и до оси приложения нагрузки (рис. 1). При этом опасным сечением опорно-штыревых изоляторов считается сечение, расположенное на уровне нижней плоскости фарфоровой шапки у заделки чугунного штыря (рис. 1).

Расстояние h для изоляторов ОНШ-35-20000 составляет примерно 190 мм. Расстояние от опасного сечения до вершины изолятора

$$H = h + (n-1)H_{ш} + h_m, \quad (3)$$

где $H_{ш}$ — высота одного изолятора; n — общее число изоляторов в опоре; h_m — расстояния от оси шины (точки приложения нагрузки) до вершины опоры.

Для исследованных опор $H \approx 190 + 2 \cdot 400 + 5 = 995$ мм. Таким образом, согласно [2] разрушающая нагрузка опор 3×ОНШ-35-2000 составляет 382 даН. Отклонения $R_{разр}$ от расчетного значения вызваны, в частности, наличием эксцентриситета, а также возможными микротрещинами, образовавшимися при транспортировке изоляторов, и другими факторами. При этом необходимо подчеркнуть, что все десять опор выдержали не менее 9–12 циклов нагружений с наибольшей нагрузкой около 250 даН. Это значение превосходит допустимую нагрузку опоры $R_{доп}$, которая согласно ПУЭ принимается равной 60 % разрушающей нагрузки, т. е. $R_{доп} = 0,6 \cdot 382 \approx 230$ даН. Никаких видимых повреждений, а также характерных для разрушения потрескиваний здесь зафиксировано не было.

Кроме жесткости и разрушающей нагрузки определялась также основная частота собственных колебаний опор. Колебания опор возбуждались импульсной нагрузкой и измерялись частотомером PSU-202 и тензодатчиками активного сопротивления. Измерения показали, что свободные колебания опоры равны примерно 15 Гц.

Для исследования поведения опор в режиме КЗ проводились испытания экспериментальной конструкции с жесткой ошиновкой, собранной на изоляторах 3×ОНШ-35-2000. Испытания проводились на открытой площадке лаборатории больших токов НИЦ ВВА. Опытная линия с жесткой ошиновкой напряжением 110 кВ спроектирована Горьковским отделением Энергосетьпроекта на базе индустриальных конструкций и изготовлена Новосельцевским заводом линейной и подстанционной аппаратуры. Монтаж ошиновки в НИЦ ВВА проводился специалистами треста Электростройподстанции.

Трехролетная конструкция с трубными шинами круглого сечения. Внешний диаметр шин $D = 90$ мм, внутренний — $d = 80$ мм. Шины изготовлены из алюминиевого сплава 1915Т, модуль упругости материала шины $E = 7,1 \cdot 10^4$ МПа, плотность $\rho = 2770$ кг/м³, временное сопротивление разрыву $\sigma_t = 353$ МПа (по ГОСТ 18482-79). Длина всей линии 27 м, состоящей из отдельных шин длиной по 9 м, соединенных с помощью гибких связей. Расстояние между фазами $a = 1,4$ м.

Шины устанавливались в шинодержателях (рис. 3). На одном конце среднего пролета шинодержатель плотно охватывал шину, препятствуя ее продольному перемещению. На другом конце среднего пролета устройство шинодержателей не позволяло плотно зажать шину, что обеспечивало возможность ее продольного перемещения в шинодержателе при тепловых расширениях.

Гибкие связи между шинами пролетов в этих узлах выполняют функции компенсаторов тепловых расширений. Средняя (контрольная) фаза была смонтирована на опорах 3×ОНШ-35-2000, две другие — на изоляторах, обладающих более высокой прочностью. Изоляторы устанавливались на стальных рамах, которые прижимались к земле железобетонными плитами.

Испытания проводились при двухфазном КЗ между фазами А и В, а также между А и С. Ряд опытов был проведен при трехфазном КЗ, а также двухфазном между фазами А и В с переходом в двухфазное между фазами В и С.

Токи в шинах при КЗ измерялись воздушными трансформаторами токов (ВТТ) и усилителем постоянного

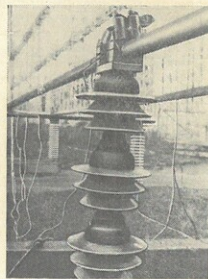


Рис. 3. Опора 3×ОНШ-35-2000

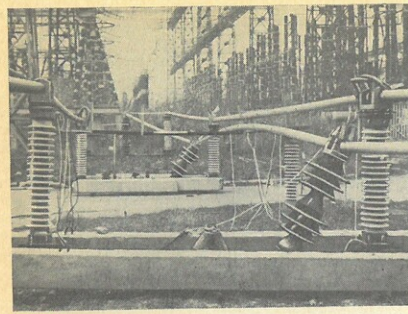


Рис. 4. Повреждение опытной линии с жесткой ошиновкой при воздействии токов короткого замыкания

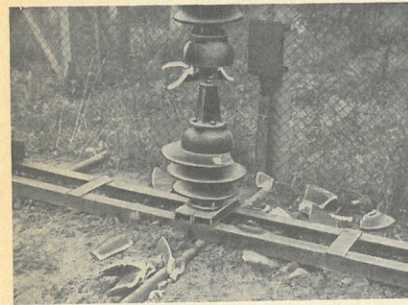


Рис. 5. Характерное повреждение изоляционной опоры 3×ОНШ-35-2000

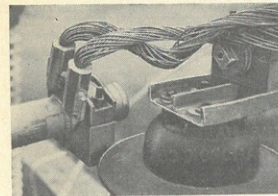


Рис. 6. Повреждение шинодержателя жесткой ошиновки

тока. Механические напряжения, возникающие в материале шин, а также частота колебания шин измерялись тензодатчиками активного сопротивления и усилителем УТС-1-ВТ-12. Кроме того, для измерения отклонений изоляторов в режиме КЗ использовались датчики измерения перемещений реостатного типа и скоростная кинокамера.

Амплитуда тока двухфазного КЗ (ударное значение) изменялась от 50 до 95 кА при действующем значении периодической составляющей тока соответственно от 20

до 39 кА. Ударный ток трехфазного КЗ не превышал 50 кА. Кривая тока в опытах была близка к суммарной кривой периодической составляющей, изменяющейся по гармоническому закону с частотой около 50 Гц, и апериодической составляющей, изменяющейся по экспоненциальному закону с постоянной времени T_a , равной 0,036–0,040 с. Переходный процесс практически затухал через 80 мс. Ударный коэффициент во всех опытах оставался примерно равным 1,75. Испытания проводились при длительностях КЗ от 0,02 до 3,0 с. Источником тока служил ударный генератор ФК-4142.

При испытаниях опытной линии ударным током двухфазного КЗ (между фазами В и С) до 80 кА видимых повреждений в конструкции не наблюдалось. Число опытов при токе 50 кА (ударное значение) было 8; при 70 кА — 8; при 80 кА — 5. При токе 95 кА произошло разрушение изоляторов 3×ОНШ-35-2000, что привело к падению средней фазы линии (рис. 4). На рис. 5 представлено характерное повреждение изоляционных опор 3×ОНШ-35-2000. В этом опыте произошло не только разрушение изоляторов, но и шинодержателя на одной из средних опор (рис. 6). После замены поврежденных изоляторов и шинодержателя была проведена повторная серия опытов при двухфазном КЗ между фазами А и В. Видимых повреждений при токах 50 кА (6 опытов) и 70 кА (5 опытов) не было. При токе 80 кА произошло вторичное разрушение изоляторов, аналогичное приведенным на рис. 4 и 5.

Результаты испытаний показали, что допустимое значение ударного тока двухфазного КЗ для жесткой ошиновки напряжением 110 кВ, собранной на опорах 3×ОНШ-35-2000, составляет не более 70 кА. Основная частота собственных колебаний шиной конструкции равна примерно 4,0 Гц. Среднее значение логарифмического декремента затухания системы шина — изоляторы около 0,51.

По методике, приведенной в [1, 2 и 6], проводились теоретические оценки электродинамической стойкости ошиновки. Наибольшие нагрузки на изоляторы и напряжения в материале шин при КЗ определялись следующим образом.

Момент инерции и момент сопротивления поперечного сечения шины

$$J = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = \frac{\pi(9^4 - 8^4)}{64} = 121 \text{ см}^4 = 121 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

$$W = \frac{2J}{D} = \frac{2 \cdot 121}{9} = 26,9 \text{ см}^3 = 26,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Площадь поперечного сечения шины

$$S = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = 13,35 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

погонная масса шины

$$m = \rho S = 3,7 \text{ кг/м}.$$

Приведенная (средноточечная) масса опоры вычисляется по формуле [2]

$$M = \frac{C_{оп}}{(2\pi f_{оп})^2} = 32,6 \text{ кг}. \quad (4a)$$

Приведенную массу опоры можно также определить приближенно по формуле

$$M = M_{оп} \left(\frac{H_{ш.т.оп}}{H_{ш.т.ш}} \right), \quad (4б)$$

где $M_{оп}$ — масса опоры; $H_{ш.т.оп}$ и $H_{ш.т.ш}$ — расстояние от основания опоры до центра тяжести сечения опоры и шины.

Принимая во внимание, что $M_{оп} = 134$ кг, а отношение $H_{ст. т. оп.} / H_{ст. т. ш.} \approx 0,5$ по формуле (46) получим $M \approx 33,5$ кг. Таким образом, полученные результаты говорят о достаточно высокой точности приближенной формулы (46).

Параметры шинной конструкции:

$$M/ml = 0,99; \\ C_{оп} I^3 / EJ = 2461.$$

В качестве расчетной схемы шинной конструкции оправдано выбрать балку с шарнирным опиранием шины на изоляторы пролета [1, 2]. Для указанной расчетной схемы и соответствующих значений $C_{оп} I^3 / EJ$ и M/ml параметр первой (основной) частоты собственных колебаний шинной конструкции f_1 примерно равен 3,0.

Первая частота собственных колебаний шины на упругих опорах определяется по формуле.

$$f_1 = \frac{r_1^2}{2\pi l^2} \sqrt{\frac{EJ}{m}} = 2,7 \text{ Гц.}$$

Разница между теоретическим и экспериментальным значениями частоты собственных колебаний обусловлена, по-видимому, отличием условий опирания шины на изоляторы от идеального шарнира, принятого в начале расчета.

Наибольшие нагрузки на изоляторы при двухфазном КЗ определяются по формуле [2, 6]

$$R_{\max} = \frac{2 \cdot 10^{-7} I^2}{a} I_{уд}^2 R_{\max} \quad (5a)$$

или

$$R_{\max} = \frac{2 \cdot 10^{-7} I^2}{a} I_{уд}^2 \quad (5b)$$

где $I_{уд}$ — амплитуда периодической составляющей тока КЗ: $I_{уд} = K_{уд} I_m$ — ударный ток КЗ; $K_{уд}$ — ударный коэффициент; R_{\max} — относительная максимальная нагрузка на изолятор; η — динамический коэффициент при двухфазном КЗ,

$$\eta = R_{\max} / K_{уд}^2.$$

Согласно приближенным расчетам на основе решения задачи о колебании одномассовой системы [1, 2, 6] динамический коэффициент двухфазного КЗ при $f_1 = 2,7$ Гц и $T_a = 0,04$ с равен 0,38. Принимая во внимание, что расчетная разрушающая нагрузка опор $R_{разр}$ равна 3830 Н, в соответствии с уравнением (5b) ток, при котором следует ожидать разрушение изоляторов, составляет

$$I_{уд. разр} = \sqrt{\frac{R_{разр}}{2 \cdot 10^{-7} \eta}} = 88,5 \text{ кА.}$$

Допустимый ток динамической стойкости шинной конструкции, соответствующий допустимой нагрузке на опоры, $i_{дин} = \sqrt{0,6} I_{уд. разр} = 69$ кА. Таким образом, полученные значения хорошо согласуются с экспериментальными данными.

Необходимо отметить, что расчетный ток электродинамической стойкости ошиновки, вычисленный без учета колебаний шинной конструкции, т. е. при динамическом коэффициенте, равном 1, оказался бы заниженным на 40 %, а расчетные нагрузки на изоляторы выросли бы на 60 %. Следовательно, отказ от учета колебаний ошиновки при оценках электродинамической стойкости конструкций напряжением 110 кВ и выше приводит к неоправданному запасу прочности.

Наибольшие напряжения в материале шин при двух-

фазном КЗ определяются по формуле

$$\sigma_{\max} = \frac{2 \cdot 10^{-7} I^2}{\lambda a W} I_{уд}^2 \quad (6)$$

где $\lambda = 8$ для конструкций с разрезными шинами. Расчетное напряжение при ударном токе КЗ 50 кА составляет, например, 51,1 МПа. Наибольшие напряжения, полученные при испытаниях этим током, оказались равными 43—57 МПа. Расчетное же напряжение в материале шин даже при токе 95 кА составляет 184 МПа, что значительно меньше допустимого напряжения, равного $0,7 \sigma_n = 0,7 \cdot 353 = 247,1$ МПа (σ_n — временное сопротивление разрыву). Следовательно, электродинамическая стойкость шин существенно превосходит стойкость изоляционных опор 3 × ОНШ-35-2000.

выводы

1. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования подтвердили достаточно высокую точность инженерной методики расчета на электродинамическую стойкость шинных конструкций жесткой ошиновки. Приведенный алгоритм расчета может быть рекомендован для практического использования при проектировании ОРУ электрических станций и подстанций с жесткой ошиновкой.

2. Расчетные разрушающие и допустимые нагрузки составных шинных опор, собранных из опорно-штыревых изоляторов, определяются исходя из момента сил в опасном сечении, расположенном на нижней плоскости фарфоровой шапки у заделки чугунного штыря.

3. Электродинамическая стойкость линии жесткой ошиновкой напряжением 110 кВ определяется главным образом прочностью и надежностью опорных изоляторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудрявцев Е. П., Долин А. П. Электродинамическая стойкость жесткой ошиновки 110 кВ и выше. — Электрические станции, 1980, № 1.
2. Кудрявцев Е. П., Долин А. П. Расчет жесткой ошиновки распределительных устройств. М.: Энергия, 1981.
3. Долин А. П. Экспериментальные исследования жесткости опорных изоляторов. — Изв. вузов. Энергетика, 1979, № 8.
4. Долин А. П. К определению допустимых нагрузок на изоляторы и шинные опоры. — Промышленная энергетика, 1981, № 10.
5. Дмитриевский В. С. Расчет и конструирование электрической изоляции. М.: Энергоиздат, 1981.
6. Долин А. П. Расчет электродинамической стойкости ошиновки с учетом ее колебаний при коротких замыканиях. М.: МЭИ, 1981.

УДК 621.318.4.019.3.002.235

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК СО СДВОЕННЫМИ

ТОКОГРАНИЧИВАЮЩИМИ РЕАКТОРАМИ

Конов Ю. С., канд. техн. наук, Малышев А. В., инж.

Научно-исследовательский центр по испытанию высоковольтной аппаратуры

В настоящее время получили широкое распространение сдвоенные бетонные токограничивающие реакторы. Схемы электроустановок со сдвоенными реакторами, особенности их применения, а также положительный эффект, достигаемый при их использовании, подробно изложены в литературе. Цель данной статьи — анализ причин повреждений сдвоенных бетонных токограничивающих реакторов и разработка мероприятий по повышению их надежности.

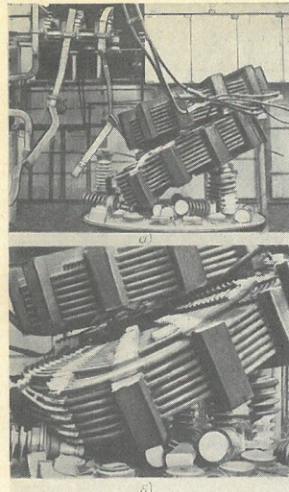


Рис. 1. Характерный вид повреждения сдвоенного токограничивающего реактора: а — общий вид повреждений в распределительном устройстве; б — разрушение бетонных колонок реактора

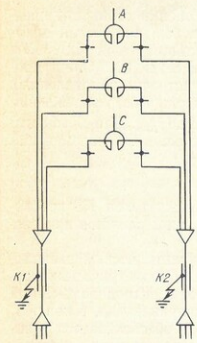


Рис. 2. Возникновение режима встречно направленных токов КЗ в сети со сдвоенным реактором

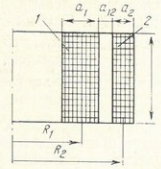


Рис. 3. Сдвоенный реактор с concentрическими обмотками ветвей: 1 — внутренняя ветвь; 2 — наружная

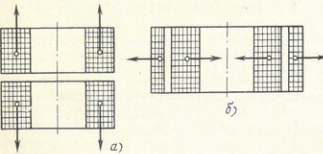


Рис. 4. Характер сил взаимодействия между ветвями сдвоенного реактора в режиме встречно направленных токов: а — бетонный реактор; б — реактор с concentрическими обмотками

Как показывает анализ, наиболее частый вид их повреждения — разрушение бетонных колонок между ветвями [1]. Этот результат подтверждается и динамическими испытаниями. На рис. 1 показаны характерные для сдвоенных бетонных реакторов повреждения, возникающие при протекании по ветвям реактора встречно направленных токов. Величина этих токов регламентирована в ГОСТ 14794-79 относительно максимального ударного тока $i_{дин}$ при КЗ на одной ветви и составляет

$$0,3 i_{дин} \leq i_{дин} \leq i_{дин} \quad (1)$$

где $i_{дин}$ — максимальные ударные значения встречно направленных токов в ветвях реактора.

Для существующей конструкции сдвоенных реакторов этот диапазон гораздо уже и составляет

$$0,3 i_{дин} \leq i_{дин} \leq 0,4 i_{дин} \quad (2)$$

что объясняется низкой прочностью бетона при нагрузке на разрыв.

Увеличение допустимого значения $i_{дин}$ возможно за счет увеличения площади бетонных колонок или их числа, однако при этом значительно ухудшается теплоотвод и увеличивается масса реактора. Вместе с тем увеличение сечения колонок до теоретически возможного предела не обеспечит электродинамической стойкости во всем диапазоне условия (1). Усиление колонок специальной армировкой из латунной проволоки также не дает существенного эффекта.

С целью снижения разрушающих сил при самозапуске выключателей, подключаемых к ветвям сдвоенного реактора, используется блокировка, обеспечивающая неодновременность включения нагрузок ветвей, что дает сниженные рассматриваемых сил вдвое.

Приведенные решения в целом не обеспечивают желаемой надежности работы существующей конструкции сдвоенных реакторов. Полным решением поставленной задачи обеспечения электродинамической стойкости сдвоенных реакторов является разработка новой конструкции.

На необходимость разработки сдвоенных реакторов новой конструкции указывает тот факт, что в условиях эксплуатации режим встречно направленных токов КЗ бывает гораздо чаще, чем предполагалось ранее. Наиболее часто этот режим возникает следующим образом. В сети (рис. 2) на одной из фаз возникает замыкание на землю в точке К1. В большинстве случаев такой режим работы допускается в течение некоторого промежутка времени. При этом из-за перемежающегося характера дуги во всей сети возникает перенапряжения, которые могут вызвать пробой изоляции в точке К2. В результате возникает двухфазное КЗ на землю, что в кабельной сети приводит к возникновению трехфазного КЗ в обеих точках К1 и К2. Возникает режим встречно направленных токов КЗ, который приводит к разрушению реактора.

Этот режим необходимо учитывать при разработке новой конструкции сдвоенных реакторов и в качестве диапазона, аналогичного условию (1), обеспечивать

$$i_{дин} \leq i_{дин} \quad (3)$$

так как ток КЗ в этом режиме может быть несколько больше, чем при КЗ на одной ветви из-за наличия индуктивной связи между ветвями реактора. Для определения верхней границы диапазона (3) запишем отношение

$$\frac{i_{дин}}{I_{дин}} = \frac{(x_c + x_{0,5})}{2 [x_c + x_{0,5} (1 - k_{св})]} \quad (4)$$

**ПО СТРАНИЦАМ БЮЛЛЕТЕНЯ
«ОТКРЫТИЯ, ИЗОБРЕТЕНИЯ, ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОБРАЗЦЫ, ТОВАРНЫЕ ЗНАКИ»**

Авторское свидетельство № 823607 с приоритетом от 6 апреля 1976 г.

Безлепкин В. П., Барабанов Э. Л., Жарков Р. А., Ткачук А. Г.

НПО по исследованию и проектированию энергетического оборудования им. И. И. Ползунова.

Способ работы парогазовой установки.

Установка содержит нагнетательный трубопровод водяного тракта котла, а также газовой и водовоздушный теплообменники, объединенные по воде в замкнутый циркуляционный контур путем поддержания давления в контуре на заданном уровне.

В целях повышения эксплуатационной надежности давление в замкнутом контуре поддерживают равным давлению в нагнетательном трубопроводе водяного тракта котла путем постоянного самопроизвольного перепуска из этого тракта в замкнутый контур и обратно.

Авторское свидетельство № 823623 с приоритетом от 4 апреля 1977 г.

Лукин И. Н., Жуковский В. Ф.

Гидропроект, Ленинградское отделение.

Радиально-осевая гидротурбина.

Турбина содержит статор с нижним кольцом и направляющий аппарат, снабженный поворотными лопатками с цапфами и образующий с рабочим колесом полость, связанную при помощи сливного трубопровода с отсасывающей трубой.

В целях повышения надежности при переводе гидротурбины в режим синхронного компенсатора в нижнее кольцо статора на входе сливного трубопровода установлен отсечный клапан с приводом, выполненным в виде шарнирно соединенных толкателя и рычага, одно плечо которого подпружинено, а другое соединено тягой с цапфой одной из лопаток направляющего аппарата.

Авторское свидетельство № 823742 с приоритетом от 31 июля 1979 г.

Мамонов В. П., Слугин В. П., Пахомова А. М.

Теплопроект, Новокузнецкое отделение.

Установка для нанесения тепловой изоляции на трубу.

Установка включает загрузчик тепловой изоляции, питатель, смесительную камеру с нагнетателем смеси тепловой изоляции и отводящие патрубки.

В целях повышения производительности установка снабжена узлом распушки тепловой изоляции, выполненным в виде приводного подающего барабана и подбарабана, установленных с регулируемым зазором относительно друг друга между питателем и смесительной камерой и снабженных коническими штифтами, расположенными на их поверхностях с наклоном в противоположные стороны.

Предложенная установка отличается также тем, что штифты на поверхности барабана установлены по винтовой линии в шахматном порядке.

Авторское свидетельство № 823750 с приоритетом от 12 декабря 1977 г.

Плоткин Г. Л., Немерский Б. В., Ицксон Ю. Б., Мельченко Н. Е.

УралВТИ.

Система автоматического регулирования

Авторское свидетельство № 823761 с приоритетом от 18 июля 1979 г.

Будницкий А. М., Кацнельсон В. Б., Миусских М. Е.

Уралтехэнерго.

Система регулирования процесса горения в парогенераторе.

Система содержит датчик концентрации кислорода в дымовых газах, соединенный с регулятором подачи основного топлива и регулирующим органом подачи дополнительного топлива, снабженным датчиком положения, включенным на вход регулятора подачи основного топлива.

В целях повышения качества управления процессом горения в парогенераторе при переходных режимах работы система дополнительно содержит два усилителя с зоной нечувствительности. При этом первый усилитель установлен между регулятором и датчиком концентрации кислорода, а второй — между регулятором и датчиком положения регулирующего органа.

Авторское свидетельство № 823804 с приоритетом от 5 июля 1979 г.

Кондратьев А. Д., Курнык Л. Н., Белянин В. М., Ларионова Л. Е.

УралВТИ

Подогреватель смешивающего типа (преимущественно для деаэрации).

Подогреватель содержит водораспределитель, переливную и барботажную тарелки, встроенный в барботажную тарелку пароперепускной байпасный гидрозатвор, образованный поддоном с опущенной в него вертикальной перегородкой и водосливное устройство с порогом.

В целях расширения диапазона рабочих режимов и уменьшения сопротивления поддон пароперепускного байпасного гидрозатвора выполнен перфорированным на участке между порогом водосливнового устройства и примыкающей к барботажной тарелке вертикальной перегородкой.

Авторское свидетельство № 824357 с приоритетом от 9 июля 1979 г.

Овсянников А. И., Кутернин В. А., Буньков Г. А., Саханов А. И.

Проектно-технологическое бюро ВНИИПроектэлектромонтажа.

Устройство для прокладки кабеля в местах поворота трассы.

Устройство содержит по меньшей мере четыре ролика, установленных на основании с возможностью поворота в плоскости, перпендикулярной плоскости основания, и расположенные по контуру трапеции в ее вершинах.

В целях повышения уровня механизации прокладки кабеля устройство снабжено поворотными валами и общим стопором для предотвращения поворота валов при перемещении кабеля вдоль трассы в процессе прокладки, а ролики закреплены на концах валов.

Авторское свидетельство № 824358 с приоритетом от 10 июля 1979 г.