

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ЭНЕРГОСИСТЕМ

Оценка уровня надежности электроэнергетических объектов является основной в комплексе предъявляемых к ним требований. В некоторых энергетических системах число аварий достигает нескольких десятков в год, а годовой недоотпуск электрической энергии в результате аварий — несколько миллиардов киловатт-часов. При такой высокой аварийности оценка надежности отдельных видов оборудования и установок и поиск возможных путей повышения надежности становятся первоочередными задачами. С другой стороны, оценив ущерб, нанесенный потребителям перерывом электроснабжения, убытки, вызванные аварийным ремонтом, а также расходы, связанные с повышением надежности, можно ставить вопрос об оптимальном уровне надежности электроэнергетических установок. С внедрением новой техники проблема надежности основного оборудования становится одной из главных.

Под *надежностью* понимается свойство оборудования выполнять заданные функции, сохраняя во времени значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих заданным режимам и условиям использования. Надежность является одним из свойств оборудования, которое проявляет себя только в процессе эксплуатации. Надежность оборудования закладывается при его проектировании, обеспечивается при изготовлении и расходуется при эксплуатации. Причинами снижения надежности являются отказы оборудования, ошибки эксплуатационного персонала, снижение ресурсообеспеченности, отклонение условий функционирования от расчетных условий. Для анализа надежности энергосистемы необходимо определение показателей надежности ее основных элементов: трансформаторов, выключателей, воздушных ЛЭП, разъединителей, отделителей, короткозамыкателей и сборных шин.

Рассмотрим трансформатор как элемент, условно состоящий из двух последовательно соединенных элементов, в одном из которых могут появляться внезапные отказы, а в другом — постепенные [4]. Внезапные отказы появляются вследствие резкого, внезапного изменения основных параметров под воздействием одного или нескольких случайных факторов внешней среды либо вследствие ошибок обслуживающего персонала. При постепенных отказах наблюдается плавное, постепенное изменение параметра элементов в результате износа отдельных частей или всего элемента в целом.

Вероятность безотказной работы представим произведением вероятностей

$$P_{mp}(t) = P_e(t) * P_u(t), \quad (1)$$

где $P_e(t)$ и $P_u(t)$ — соответственно вероятности безотказной работы условных элементов, соответствующих внезапному и постепенному отказу вследствие износа.

В теории надежности в качестве основного распределения времени безотказной работы при внезапных отказах принимается показательное распределение

$$P(t > T) = e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Постепенные отказы трансформатора происходят в основном по причине износа изоляции и их можно описать законом распределения Вейбулла-Гнеденко

$$P(t > T) = e^{-c(t-t_0)}, \quad (3)$$

где t_0 — порог чувствительности, при котором элемент гарантировано не откажет в интервале времени от 0 до t_0 , может быть принят равным нулю. Тогда окончательно имеем

$$P_{mp}(t) = e^{-\lambda t} \cdot e^{-ct}. \quad (4)$$

Причинами внезапных отказов трансформатора являются повреждения вводов трансформатора вследствие перекрытия контактных соединений, утечка масла. Причинами постепенных отказов, в свою очередь, будут нарушения изоляции обмоток вследствие возникновения внешних и внутренних перенапряжений, сквозных токов коротких замыканий и дефектов изготовления.

Выключатель также можно рассматривать как элемент, состоящий из двух последовательно соединенных узлов, в одном из которых может появиться внезапный отказ, а в другом постепенный. Постепенные отказы выключателя происходят вследствие износа дугогасительных камер и контактов. Причинами внезапного отказа являются: несрабатывание приводов, механические повреждения, перекрытие изоляции при внешних и внутренних перенапряжениях.

Разъединители, отделители, короткозамыкатели и шины представим как элементы с внезапными отказами, описываемыми по показательному закону.

В качестве основных показателей надежности приняты: параметр потока отказов ω , 1/год; среднее время восстановления T_v , ч; продолжительность ремонтов (планового, капитального, текущего) T_r , ч; частота ремонтов (плановых, капитальных, текущего) μ , 1/год.

Результаты расчетов сведены в табл. 1-4.

Таблица 1. Показатели надежности трансформаторов

Sном, МВ*А	Уном, кВ	ω , 1/год	T_v , ч	μ т, 1/год	$T^*_{рт}$, ч
До 2,5	6-20	0,016	50	0,25	6
	35	0,01	40	0,25	6
2,5—7,5	6-20	0,08	120	0,25	8
	35	0,007	65	0,25	26
	110	0,018	40	0,25	28
10-80	6-10	0,014	70	0,75	28
	20-35	0,035	60	0,75	28
	110-150	0,075	95	1,0	30
	220	0,025	60	1,0	30

Усредненные значения показателей надежности приведены для всех типов трансформаторов независимо от их назначения.

Таблица 2. Показатели надежности выключателей

Выключатели	Уном, кВ	Тип выключателя	ω , 1/год	T_v , ч	μ т 1/год	$T^*_{рт}$, ч
Автоматические	До 1	—	0,05	4	0,33	10
Электромагнитные	6—10	ВЭМ-6, ВЭМ-10, ВЭ-10	0,022	11	0,2	24
Маломасляные	10	ВМП-10	0,009	20	0,14	8
		Прочие	0,009	20	0,14	10
	20		0,01	26	0,14	...
	35		0,02	25	0,14	9
	110—150		0,06	20	0,14	30
Масляные баковые	35		0,01	30	0,14	12
	110		0,016	40	0,14	23
	220		0,055	50	0,14	43
Воздушные	15—20		0,04	20	0,2	40
	35		0,02	40	0,2	29
	110		0,02	20	0,2	45
	220	ВВБ	0,02	55	0,2	122
		Прочие	0,02	25	0,2	98

Показатели μ т и $T_{рт}$ приведены для текущих ремонтов, выполняемых в соответствии с требованиями действующих Правил технической эксплуатации электрических станций и сетей (ПТЭС) и Правил организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электрических станций и подстанций.

Для шин: μ к - частота капитальных ремонтов; $T_{рк}$ — продолжительность капитального ремонта.

При обесточении одновременно двух систем шин параметр потока отказов определяется умножением данных, приведенных в табл.4 на коэффициент 0,6 для шин напряжением 110—220 кВ.

Параметр потока отказов определен для схемы РУ с двумя системами шин при обесточивании одной системы шин. При определении параметра потока отказов учитывались отказы собственно шин и электрических аппаратов, подключенных непосредственно (без разъединителей и предохранителей) к шинам, и не учитывались отказы выключателей при отключения ими КЗ на линиях.

Таблица 3. Показатели надежности разъединителей, отделителей и короткозамыкателей

Аппараты	Уном, кВ	ω , 1/год	Тв, ч	μ т, 1/год	Т*рт, ч
Разъединители	6–10	0,01	7	0,166	4
	35	0,01	6	0,166	6
	110	0,01	11	0,166	8
	150	0,01	15	0,166	11
	220	0,01	7	0,166	13
Отделители	35	0,015	3	0,33	7
	110	0,01	3,5	0,33	10
	220	0,01	3,5	0,33	16
Короткоза-мыкатели	35	0,01	4	0,33	8
	110	0,01	6	0,33	6
	220	0,01	6	0,33	8

Таблица 4. Показатели надежности шин

Уном, кВ	ω , 1/год	Тв, ч	μ к, 1/год	Трк, ч
6	0,03	5	0,166	5
10	0,03	7	0,166	5
20—35	0,02	7	0,166	4
110—150	0,016	5	0,166	4
220	0,013	5	0,166	3

ЛИТЕРАТУРА

1. Биллингтон Р., Аллан Р. Оценка надежности электроэнергетических систем: пер. с англ./Под ред. Ю.А. Фокина. М.: Энергоатомиздат, 1988. 288 с.
2. Руденко Ю.Н., Ушаков И.А. Надежность систем энергетики. М.: Наука, 1986. 252 с.
3. Чукреев Ю.Я. Модели обеспечения надежности электроэнергетических систем. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1995. 176 с.
4. Гук Ю.Б. Основы надежности электроэнергетических установок. – Л.: ЛГУ. 1980 – 478 с.
5. Зорин В.В., Тисленко В.В., Клеппель Ф., Адлер Г. Надежность систем электроснабжения. – Киев.: Вища школа, 1984. – 19

Резюме

Электрэнергетикалық объектілердің сенімділік деңгейін бағалаудағы кешендегі ұсынылатын талаптардың негізі болып табылады. Кейбір энергетикалық жүйелердегі авариялар саны ондаған, авариялар нәтижесін жылына бірнеше киловатт-сағатты құрайды. Бұндай жоғары авариялық жағдайда жеке құрылғылардың сенімділігін бағалау, орнату және сенімділікті жоғарылату жолдарын іздеу бірінші кезекті мәселе болады.

Summary

The reliability evaluation of electric power facilities is a major requirement in the imposed complex. Some power systems have several accidents an year, and annual shortage for several billion kilowatt-hour of electricity as the result of accidents. Because of high failure rate certain types of equipment and facilities assessment of the reliability and search for the ways of improving reliability are the top priorities.

КазНТУ им. К.И. Сатпаева

Поступила 10.01.11