

Эффективность использования экрана достигает 90 % в зависимости от его толщины и положения относительно дуги статора.

Использование регулировки характеристики выходного напряжения шунтами (экранами) позволяет на 1–2 % изменять крутизну выходного напряжения датчика. Этого бывает достаточно, чтобы компенсировать технологические погрешности при его изготовлении, поскольку погрешность датчика не превышает 0,5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селиванов Н.А. Исследование выходных характеристик двухканального индукционного датчика угловых перемещений // Современные техника и технологии : сб. трудов XIX Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1. Томск: Изд-во ТПУ, 2013. С. 345–346.

2. Савченко М.Г., Марьянов Г.М., Филиппов В.И. Снижение эксплуатационных погрешностей индукционных бесконтактных датчиков положения // Электронные и электромеханические системы и устройства : сб. науч. трудов НПЦ "Полюс". Томск, 1997. С. 250–211.

3. Пульер Ю.В. Индукционные электромеханические элементы вычислительных и дистанционно-следающих систем. М.: Машиностроение, 1964. – 156 с.

4. Селиванов Н.А. Компенсация технологических погрешностей на крутизну характеристики выходного напряжения датчика угловых перемещений // Современные техника и технологии: сб. докл. XX Междунар. юбилейной науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 1. Томск: Изд-во ТПУ, 2014. С. 265–266.

НЕИСПРАВНОСТИ В РАБОТЕ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ. ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЕМ 110-220 кВ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Д.С. Кунулеков, О.П. Муравлев

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, Томск

Надёжность функционирования трансформаторного оборудования непосредственно связана с его сроком службы. От продолжительности эксплуатации силового трансформатора зависят допустимые значения воздействующих режимных факторов и их количество.

Нарастающий характер кривой повреждаемости трансформаторов со временем (или «кривой жизни» конкретного трансформатора) после отработки им нормированного срока службы аналогичен подобным зависимостям

старения всех видов электрооборудования. Основная особенность трансформаторного оборудования состоит в том, что срок службы в большой степени определяется состоянием бумажно-масляной изоляции в процессе ее естественного временного старения и под воздействием внешних факторов.

Цель работы состоит в определении количественных значений показателей эксплуатационной надежности силовых трансформаторов, необходимых для их проектирования и совершенствования системы технического обслуживания и ремонта

Основное, что подвигло в настоящее время к форсированию развития средств и методов контроля состояния трансформаторов, это проблема их эксплуатации за пределами номинальных сроков службы. У большого числа трансформаторов, находящихся в эксплуатации, закончился или подходит к концу номинальный срок службы. Такое положение заставило уделить большее внимание продлению их интегрального срока службы (наработки) за счет эффективного контроля состояния, оптимизации проведения профилактических мероприятий.

По данным эксплуатации силовых трансформаторов в настоящее время на напряжения 110 кВ и выше, 40 % оборудования подстанций напряжением 110-220 кВ прослужили более 25 лет, 35 % - 15-25 лет, около 25 % - менее 15 лет [1]. Это соответствует общему положению со старением оборудования в энергосистемах. По данным эксплуатации известно, что наибольший процент технологических нарушений трансформаторного оборудования приходится на период его эксплуатации от 20 до 30 лет. Своевременное проведение капитальных ремонтов продлевают срок службы трансформатора. Большая часть технологических нарушений связана с повреждениями маслонаполненных вводов, обмоток и устройств регулирования.

Рост повреждаемости при работе за пределами нормированного срока службы увеличивает расходы на текущий ремонт оборудования, повышает вероятность аварийного выхода из строя и из-за этого растет объем профилактических мероприятий.

Таким образом, темпы прироста мощностей во всей мировой энергетике резко снижаются, а прирост выработки электроэнергии достигается главным образом за счет интенсификации использования и улучшения методов эксплуатации оборудования. Заметно растёт доля оборудования, отработавшего установленный стандартами номинальный срок службы. Расчеты показывают, что продление срока службы на 20-30 лет дает большую выгоду, чем замена оборудования на новое.

Проведенный анализ показывает, что в энергетике на сегодняшний день очень высок удельный вес оборудования, исчерпывающий свой нормативный ресурс работы. В ближайшие годы (8-10) лет доля этого оборудования будет увеличиваться, несмотря на предпринимаемые меры по его замене. Это означает, что без специальных мер, предпринимаемых на всех уровнях, количество отказов стареющего оборудования будет возрастать, а энергетика

будет нести значительные убытки. Эти тенденции могут оказать влияние на экономику Республики Казахстан.

Одним из способов продления эксплуатации силовых трансформаторов является диагностика технического состояния.

В ближайшие годы, как по экономическим, так и по техническим причинам не ожидается существенного обновления отработавших свой срок трансформаторов и на ближайшую перспективу усилия по сохранению работоспособности энергосистем будут направлены в основном на продление срока службы ныне работающих машин.

Первостепенное значение приобретают эффективный контроль состояния трансформаторного оборудования, определение их работоспособности как важнейшие составные части эксплуатации электрических сетей.

Стоимость одного силового трансформатора в среднем достигает 250 тыс. - 1,5 млн. долл. США, а с демонтажем поврежденного трансформатора, транспортными расходами, с работами по восстановлению и монтажом нового – достигает 2,5 млн.

На данный момент в Казахстане (как в прочем и в России) отработали свой нормативный срок службы в 25 лет (ГОСТ 11677-85) большая часть силовых трансформаторов. В связи с этим все большее значение приобретает проблема оценки возможности дальнейшей эксплуатации вырабатывающий свой нормативный ресурс оборудования и продления срока службы[2].

Обеспечение надёжной, бесперебойной работы силовых трансформаторов необходимо, в первую очередь, для предотвращения аварийных последствий, таких как, пожары из-за внутренних повреждений трансформатора или выбросы масла[3].

Во избежание таких повреждений силовых трансформаторов необходимо усиление прочности бака, предотвращение растекания масла, автоматическое пожаротушение, соответствующее устройство мембран, быстродействующие защитные системы. Вопросы транспортабельности требуют тщательной проработки при подготовке к транспортировке и проектировании, так как силовые трансформаторы необходимо перевозить в собранном виде, и транспортные габариты ограничены. Дабы не допустить появления дефектов, которые впоследствии могут привести к аварии.

На работу трансформатора влияют как аномальные режимы работы энергосистемы, так и сильные внешние воздействия. Перечислим основные воздействия и их последствия.

Коммутационные и грозовые перенапряжения, приводящие к повреждениям главной и витковой изоляции при недостаточных запасах их электрической прочности.

Повышения рабочего напряжения вызывающие перевозбуждение трансформаторов. Перевозбуждение магнитной системы приводит к повышенному нагреву не только сердечника, но и конструкционных стальных деталей, что опасно для изоляции.

Токи короткого замыкания, воздействующие на обмотки. Опасное влияние со стороны сети является воздействие на трансформаторы токов коротких замыканий, вызывающих повреждения и деформацию обмоток при их динамической нестойкости.

При включении токи намагничивания, приводят к повреждению обмоток из-за механических и электрических переходных процессов. Причиной броска тока намагничивания сердечника может быть включение силового трансформатора с сеть. Так, для трансформатора мощностью 1000 МВ-А блока АЭС на мгновение по причине броска тока при включении на стороны ВН для генераторов создается режим форсировки возбуждения. Очень много зависит от конструкции сердечника, из-за остаточной индукции в сердечнике трансформатора наблюдаются броски тока при включении. Разрабатываются способы снижения и ликвидации бросков тока.

Перегрузка трансформатора по току. Так же на продолжительность службы силового трансформатора влияет по причине старения режим нагрузки.

В жаркое время года опасное влияние оказывает тепловое воздействие перегрузок, которые становятся причиной выхода из строя герметичных вводов ВН. Наиболее нагретые верхние слои масла нагревают данные вводы в нижней части. В результате таких повреждений образуется желтый налет внутри крышки. [4].

Проанализируем повреждаемость силовых трансформаторов 110 кВ ТЭЦ-3 АО «Павлодарэнерго» и ТЭЦ-1 ОАО «АЛЮМИНИЙ КАЗАХСТАНА», г. Павлодара за 2009-2011 годы. В результате наблюдений за двухлетний период получено сорок пять значений наработок до отказа трансформаторов.

Распределение повреждений в зависимости от места повреждения (узла/системы) трансформатора, приведено в таблице.

Наиболее часто повреждается витковая изоляция – 10 случаев (22%), причиной возникновения неисправности могут быть старение изоляции, постоянные перегрузки, динамические усилия при коротких замыканиях.

Второе место среди причин повреждений занимают вводы – 8 случаев (17%), основные неисправности связаны с увлажнением и загрязнением изоляции негерметичных вводов, что приводит к развитию теплового и электрического пробоя изоляции ввода. Также неисправности связаны с отложением осадка на внутренней поверхности фарфора и на поверхности остова. Они адсорбируют влагу и загрязнения, в том числе металлосодержащие. И приводит к возникновению проводящих дорожек, развитию разрядов и пробоем масляного канала ввода. Также случаи течи масла из вводов через резиновые прокладки. Возможно вызванные дефектами монтажа, ремонта и эксплуатации. Что приводит к снижению давления масла, нарушению герметичности, попаданию влаги и воздуха во ввод (табл. 1).

Третье место занимают по повреждаемости обмотки – 7 случаев (15%). Наиболее часто обмотки выходят из строя по причине плохих контактных соединений и витковых КЗ.

Следующее место среди причин повреждения занимают недостатки переключающих устройств, которые начинаются с 14 лет эксплуатации. Максимальное количество повреждений переключающих устройств при 15-23 годах эксплуатации трансформаторов. Неисправности связаны с отсутствием контакта и оплавлением контактной поверхности.

Таблица 1.

Распределение повреждений

Поврежденный узел	Количество	%
Междуфазная изоляция	2	4,45
Обмотки и изоляция (из-за динамических усилий)	7	15,55
Витковая изоляция	10	22,23
Переключатели ответвлений	6	13,33
Активная сталь	1	2,23
Вводы	8	17,77
Отводы	1	2,23
Токоведущие части	3	6,66
Бак	3	6,66
Радиаторы	1	2,23
Прочие	3	6,66
Итого	45	100

Дефекты проходной изоляции, бака, фильтров, радиаторов, неисправности системы охлаждения малочисленны, но не менее опасны.

Не редко, трансформаторы отключаются в результате недостатков релейной защиты. В последнее время наблюдается возрастания таких отказов, что, скорее всего связана с нехваткой квалифицированных релейщиков и большой текучкой кадров в группах РЗиА. Хотя такая тенденция характерна для всего обслуживающего персонала ТЭЦ-1 и ТЭЦ-3.

Проанализировав собранные данные, определим вероятность безотказной работы трансформаторов 110 кВ (тип ТДТН-80000/110) ТЭЦ-3 АО «Павлодарэнерго» и ТЭЦ-1 ОАО «АЛЮМИНИЙ КАЗАХСТАНА», г. Павлодара за двухлетний период. Времени $t_i = 4000, 10000, 18000$ ч, если интенсивность отказов $\lambda = 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$. Закон распределения отказов экспоненциальный.

При экспоненциальном законе распределения справедливы соотношения:

$$P(t) = e^{-\lambda t}; f(t) = \lambda e^{-\lambda t}; T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda}; \lambda = \text{const.}$$

Отсюда:

$$T_{\text{ср}} = \frac{1}{\lambda} = \frac{10^4}{2.4} = 4166 \text{ ч};$$

$$P(4000) = \exp\left[-\frac{4000}{4166}\right] = e^{-0.96} = 0.625;$$

$$P(10000) = \exp\left[-\frac{10000}{4166}\right] = e^{-2.4} = 0.427;$$

$$P(18000) = \exp \left[-\frac{18000}{4166} \right] = e^{-4.32} = 0.284.$$

В результате полученных расчетных данных строим график зависимости вероятности безотказной работы от времени $P(t) = e^{-\lambda t}$ трансформаторов 110 кВ (рис. 1).

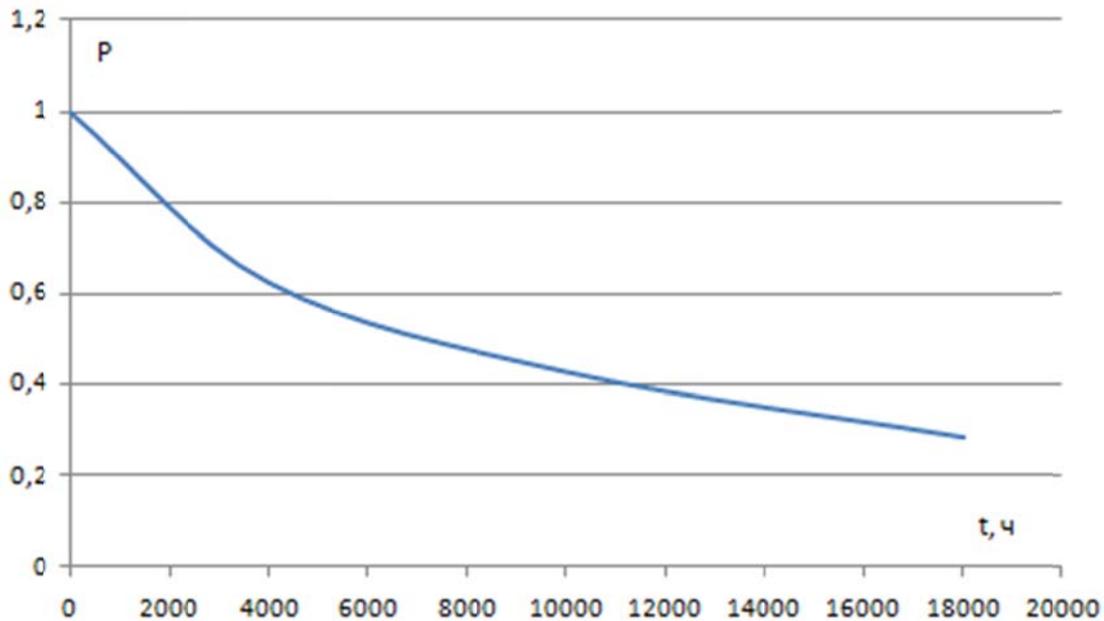


Рис. 1. Вероятность безотказной работы трансформаторов

Заключение

Таким образом, можно сделать вывод о том, что с увеличением времени эксплуатации трансформаторов (находящиеся в работе более 25 лет), вероятность безотказной работы будет, снижается согласно кривой рис.1. Следовательно, требует более тщательного обслуживания, проведения капитальных ремонтов или замены устаревшего оборудования, в случае нерентабельности дальнейшей эксплуатации.

Обеспечение надёжной работы трансформаторов необходимо, прежде всего, для предотвращения катастрофических последствий, таких как выбросы масла или пожары из-за внутренних повреждений трансформатора.

Во избежание таких повреждений трансформаторов требуются усиление прочности бака, соответствующее устройство мембран, предотвращение растекания масла, автоматическое пожаротушение, быстродействующие защитные системы. Вопросы транспортабельности требуют тщательной проработки при подготовке к транспортировке и проектировании, так как трансформаторы необходимо перевозить в собранном виде, и транспортные габариты ограничены. Дабы не допустить появления дефектов, которые впоследствии могут привести к аварии. Уделить большее внимание продлению их интегрального срока службы (наработки) за счет эффективного контроля состояния, оптимизации проведения профилактических мероприятий.

На основании проведенных исследований можно обобщить следующие выводы:

1. Учитывая объективную необходимость эксплуатации трансформаторов со сверхнормативным сроком эксплуатации, для повышения надежности их работы целесообразно проводить в процессе эксплуатации комплексные диагностические обследования, позволяющие получить объективную оценку состояния трансформаторов и осуществить правильное планирование ремонтов.

2. Реализовывать программы по внедрению систем автоматизированного мониторинга и диагностики на трансформаторах 35-220 кВ и систем on-line диагностики на трансформаторах 6-20 кВ для своевременного выявления и устранения неисправностей.

3. Для существенного снижения затрат на эксплуатацию и ремонт силовых трансформаторов необходима реализация долгосрочной программы модернизации с применением современного высоконадежного оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев Б.А., Несвижский Е.И. Система контроля и диагностики состояния трансформаторов // Электрические станции. – 2000. – №3. – С. 48-50.

2. Чупак Т. М. Прогнозирование технического состояния силовых маслонаполненных трансформаторов дис. канд. тех. наук. – Красноярск, 2007. – 196 с.

3. Аль Хамри Саид Сейф Сабир Исследование дефектов в силовых трансформаторах и разработка мероприятий по повышению эффективности их диагностирования: дис. канд. тех. наук. – Иванова, 2005. – 152 с.

4. Ярославкина Е. Е. Информационно-измерительная система стендовых испытаний силовых трансформаторов в режимах холостого хода и короткого замыкания: дис. канд. тех. наук. – Самара, 2010. – 168 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ СТАТОРА С ПОМОЩЬЮ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

Л.Ю. Бурцев, А.Б. Серов, Д.Э. Асатурян

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, Томск

Введение

Однофазные асинхронные электродвигатели применяются в различных сферах применения, преимущественно бытовых, таких как холодильные установки, стиральные машины, станки по обработке дерева и металла, системы вентиляции и отопления, а также в других сферах. Для большинства перечисленных устройств важно, чтобы электродвигатель имел высокий номинальный момент, а также обладал высокой кратностью пускового