

Глава первая **ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ**

1.1. СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ

Основные понятия. Надежность оборудования определяется его конструкцией и качеством изготовления. Однако в ходе эксплуатации из-за процессов старения материалов и внешних воздействий надежность оборудования снижается. Создание электрооборудования, показатели надежности которого за весь период эксплуатации не станут ниже допустимых, - задача достаточно трудная и в значительном числе случаев экономически нецелесообразная. Поэтому в ходе эксплуатации оборудования необходимо проведение работ по поддержанию требуемого технического состояния.

Различают несколько основных видов технического состояния: исправность и неисправность, работоспособность и неработоспособность, правильное и неправильное функционирование. Исправным является объект, полностью отвечающий всем техническим требованиям. Работоспособным является объект, у которого техническим требованиям соответствуют лишь свойства, характеризующие способность выполнения заданных функций. Несоответствие между реальными и требуемыми свойствами объекта является дефектом. При возникновении дефекта исправный объект становится неисправным; при этом возможны два состояния - работоспособное и неработоспособное. Переход в работоспособное состояние называется повреждением; переход в неработоспособное - отказом.

В условиях эксплуатации необходимо обеспечивать как минимум работоспособное состояние. Это возлагается на систему технического обслуживания (ТО) и ремонтов. Основное содержание ТО - контроль за состоянием оборудования и собственно обслуживание, т. е. поддержание исправности или работоспособности (чистка, смазка, регулировка и т. п.). Задача ремонта - восстановление исправности или работоспособности.

Исследование технического состояния оборудования является предметом технической диагностики, цель которой - изучение проявлений (признаков) различных технических состояний, разработка методов их определения, а также принципов построения и использования систем диагностирования.

Методами диагностики производится разбиение (классификация) всей совокупности объектов на группы в соответствии с принятыми градациями состояния. Для рассматриваемых объектов установить один обобщенный показатель состояния нельзя. Поэтому основной задачей диагностирования является своевременное обнаружение и поиск дефектов, т. е. определение их наличия, характера и местонахождения. Это производится путем соответствующих испытаний (элементарных проверок).

Алгоритм (правила) диагностирования, определяющий объем, последовательность и взаимосвязь испытаний объекта, устанавливается исходя из его диагностической модели. Модель строится на основании изучения конструкции оборудования данного типа и опыта его эксплуатации. При этом классифицируются выявленные и возможные дефекты, устанавливаются наблюдаемые признаки их появления и методы выявления этих признаков. Признаки дефектов, как правило, проявляются в изменениях наблюдаемых параметров (характеристик) объекта. Поэтому необходимо установление диагностических параметров и их количественной или качественной связи с наличием и степенью развития дефекта.

Значения диагностических параметров, определенные при испытаниях, характеризуют техническое состояние объекта в данный момент времени. Для отнесения объекта к соответствующей группе состояний необходимо установить предельные значения параметров; эти значения и являются признаками дефекта. При периодическом контроле необходимо также учитывать скорость развития дефекта, чтобы неработоспособное состояние не наступило ранее следующего контроля. Поэтому браковочное значение

параметра обычно ниже предельного, устанавливаемого как граница работоспособного состояния объекта.

Диагностирование может быть функциональным (на объект поступают только рабочие воздействия) и тестовым (при подаче специальных воздействий). Соответственно строятся и средства диагностирования: для функционального диагностирования это в основном измерительные устройства; для тестового диагностирования, кроме того, необходим источник тестовых воздействий.

Системы контроля. Эксплуатационный контроль оборудования является системой определения его технического состояния. На основании полученных при контроле данных принимается решение о допустимости дальнейшей эксплуатации оборудования или о необходимости и объеме ремонта. Система эксплуатационного контроля должна обеспечить выявление и идентификацию дефектов (собственно диагностирование), а также прогнозирование их развития.

Необходимый объем испытаний определяется исходя из конструкции оборудования и возможных его дефектов. Как правило, основным при этом является опыт эксплуатации. Периодичность контроля определяется скоростью развития дефектов, устанавливаемой рядом повторяемых испытаний или на основании других данных. Основным при принятии решения о дальнейшей эксплуатации объекта являются результаты диагностирования и прогнозирования, ибо при этом выявляются характер дефекта и опасность его развития.

В дальнейшем термином контроль будем определять всю совокупность процедур, необходимых для принятия решения по обеспечению нормальной эксплуатации оборудования.

В наибольшей степени перечисленным требованиям соответствует контроль по прогнозирующему параметру. Предполагается, что имеется наблюдаемый параметр объекта, который прогнозирует его отказ, т. е. между вероятностью наступления отказа в определенном интервале времени после момента контроля и значением параметра имеется стохастическая связь. Достоверность прогнозирования зависит от того, насколько тесна эта связь.

I

Создание системы контроля оборудования, основанной на прогнозе надежности, возможно лишь в случае, если для каждого вида оборудования будут выявлены прогнозирующие параметры, определены их предельно допустимые значения и разработаны методы их измерения в условиях эксплуатации. Пока таких данных еще нет.

I

Первые партии вводов 500 кВ из-за неудачной конструкции и недостатков технологии имели высокую повреждаемость; в основном наблюдались тепловые пробои [1]. Такой характер развития дефекта связан с ростом диэлектрических потерь; диагностический параметр — $\text{tg}\delta$ изоляции. Можно предположить, что $\text{tg}\delta$ является прогнозирующим параметром. Корреляционная связь между значением $\text{tg}\delta$ и остаточным сроком службы ввода оказалась достаточно тесной [2], что определило высокую эффективность контроля. I Повреждаемость вводов после отбраковки по результатам испытаний существенно уменьшилась (рис. 1.1). Показатель эффективности контроля, определенный как отношение I средних значений эмпирических плотностей распределения отказов до и после отбраковки, $\Pi \sim 4$.

Для вводов 110 кВ использовать в качестве прогнозирующего только параметр $\text{tg}\delta$ нельзя; корреляционная связь его значения со сроком службы недостаточна, что подтверждается и уменьшением показателя эффективности контроля ($\Pi \sim 2$). В этом случае для диагностирования необходимо использование также и других параметров.

Диагностирование дает данные о состоянии объекта в момент контроля, т. е. дает точечную оценку. Для прогнозирования необходимо знание процесса изменения технических характеристик. Проводя диагностирование достаточно часто или используя данные за длительный период, можно накопить сведения, необходимые для оценки хода и тенденций изменения параметров объекта, и при осторожной их экстраполяции получить информацию для прогнозирования. Это и используется в практике эксплуатационного контроля, так как заключение о техническом состоянии оборудования всегда делается не только по значениям контролируемых параметров, но и с учетом характера их изменения.

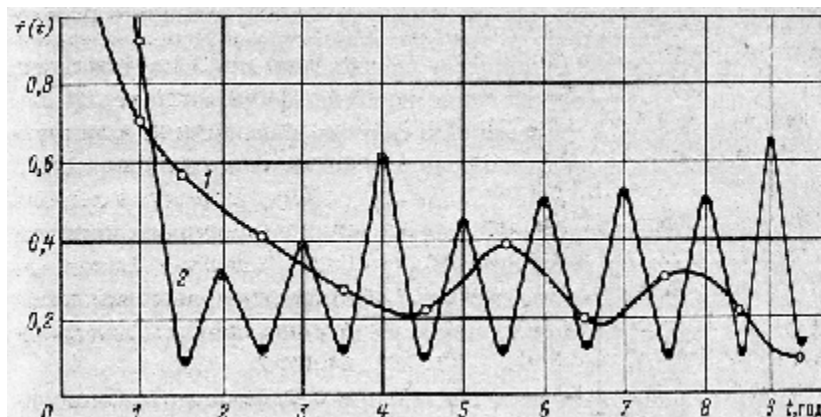


Рис. 1.1. Эмпирическая плотность распределения отказов вводов [2]:
1 - вводы 110 кВ ($f \cdot 10^{-3}$); 2 - вводы 500 кВ ($f \cdot 10^{-2}$)

Достоверность оценки надежности оборудования по результатам диагностирования не всегда достаточна. Для некоторых видов оборудования пределы значений диагностических параметров, характеризующие зону работоспособности, с достаточной достоверностью не установлены. Отказ современного мощного оборудования часто сопряжен с большими экономическими потерями. Поэтому реально реализуемая система эксплуатационного обслуживания оборудования высших классов напряжения ориентирована на поддержание практически неизменного технического состояния, хотя это требует повышенных трудозатрат и не является экономически оптимальным. При этом ТО и ремонты проводятся в заданные сроки независимо от их реальной необходимости.

Соответственно построена система контроля: с жестко регламентированным объемом и периодичностью испытаний и узкими допусками на изменение значений параметров. Кроме того, традиционная система контроля не включает в себя ряд новых методов диагностики, позволяющих обнаружить дефекты, ранее не выявляемые.

Переход к новой стратегии технического обслуживания оборудования — по его состоянию — требует значительного повышения эффективности контроля. На систему диагностики при этом возлагается еще одна задача — определение необходимости отключения объекта. Следовательно, современная система диагностики должна первую очередь быть системой раннего выявления развивающихся дефектов.

Для создания эффективной системы эксплуатационного контроля электрооборудования необходимо:

- обобщить и проанализировать опыт эксплуатации, выявить дефекты, приводящие к отказам, причины их возникновения и ход развития;

- определить наблюдаемые характеристики (параметры) оборудования, изменение которых связано с возникновением и развитием дефектов;

- выявить связи между значениями параметров и техническим состоянием оборудования; установить предельные значения параметров, характеризующие переход объекта в другой класс технических состояний;

- разработать методы измерения этих параметров в условиях эксплуатации, выявить источники помех, определить реально выявляемые изменения параметров (чувствительность метода измерения);

- исходя из взаимосвязи изменений совокупности наблюдаемых параметров и технического состояния оборудования, определить объем и периодичность испытаний, а также их последовательность (алгоритм контроля);

- установить критерии браковки, учитывающие всю совокупность наблюдаемых изменений технического состояния, оценку их тенденций и условий эксплуатации.

Повреждения по характеру их развития можно разбить на следующие основные группы: повреждения, при которых переход из исправного (работоспособного) состояния в

неработоспособное (отказ) происходит очень быстро (мгновенный отказ);

локальные повреждения (дефекты), которые развиваются до отказа в течение нескольких суток или месяцев;

повреждения (дефекты) с длительным периодом развития до нескольких лет, которые можно рассматривать как процесс ускоренного старения.

В первом случае контроль с целью выявления дефектов невозможен. Это область действия защиты сети от развития повреждений. При быстро развивающихся локальных дефектах необходимы автоматизированные системы диагностики, обеспечивающие непрерывный или достаточно частый контроль. В третьем случае достаточен периодический контроль.

Контроль оборудования без отключения. Большинство методов контроля оборудования без вывода его из работы, под напряжением развито сравнительно недавно. Не все они широко применяются в системе диагностики, хотя уже ясно, что использование таких методов существенно повышает эффективность контроля и открывает возможность его автоматизации. Кроме того, снижаются трудозатраты на проведение испытаний и улучшаются условия труда персонала.

Контроль оборудования без отключения можно вести, проводя анализы периодически отбираемых проб, а также измеряя характеристики объекта в процессе его функционирования. Развитие получили методы измерений характеристик изоляции оборудования при рабочем напряжении на нем, а также контроль проб изоляционного масла.

Повышение эффективности контроля обеспечивается за счет увеличения частоты испытаний, так как при этом повышается вероятность своевременного обнаружения дефектов, а также появляется возможность выявления зависимостей наблюдаемых параметров от времени, температуры и т. п., которые обладают большей информативностью по сравнению с точечными оценками. Кроме того, используется ряд эксплуатационных факторов, позволяющих повысить чувствительность методов контроля (например, обнаружение увлажнения изоляции путем измерений при повышенной температуре, выявление частичных разрядов при рабочем напряжении и т. п.).

Снижение трудоемкости контроля обеспечивается применением стационарных схем измерений и отсутствием необходимости в подготовке объекта к испытаниям. Улучшение условий труда определяется снижением объема работ, проводимых в зоне высокого напряжения на месте установки оборудования, а также безопасностью стационарных измерительных систем.

Автоматизация измерений и анализов обеспечивает не только снижение объема работ персонала и возможность непрерывного контроля. Принципиальным отличием такой системы контроля является возможность передачи соответствующему устройству значительной части функций собственно диагностики, т. е. функций идентификации дефектов и оценки технического состояния объекта. Такими возможностями обладают диагностические системы на базе ЭВМ. Эти системы могут проводить измерения и математическую обработку полученных данных с целью снижения помех, анализ результатов измерений и сравнение их с нормами. При необходимости автоматическая система диагностики меняет тактику (алгоритм) контроля (периодичность измерений, способ оценки их результатов) и выдает оператору сообщение вместе с протоколом, содержащим данные для принятия решений по эксплуатации данного объекта.

Возможны два способа организации контроля оборудования под напряжением:

ранняя диагностика, т. е. выявление признаков ухудшения технического состояния, вызывающих изменения значений контролируемых параметров;

сигнализация предельных состояний, т. е. выявление, признаю ухудшения технического состояния, являющихся опасными с точки зрения надежности оборудования.

Оба способа взаимно дополняют друг друга, обеспечивая возможность выявления

тенденций и скорости изменения диагностических параметров, а также своевременное получение сигнала об опасности отказа оборудования. Это позволяет лучше планировать ремонты оборудования и при необходимости производить срочное отключение объектов, находящихся в предаварийном состоянии.