

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КАЛИНИНГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

И. Е. Кажекин

Методы диагностики в электроэнергетике

Учебно-методическое пособие – локальный электронный методический
материал по изучению дисциплины для студентов магистратуры
по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника,
программа подготовки Электроснабжение

Калининград
Издательство ФГБОУ ВО «КГТУ»
2023

УДК 631.371

Рецензент

кандидат технических наук, доцент кафедры энергетики
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»
Н. В. Бочарова

Кажекин, И. Е.

Методы диагностики в электроэнергетике: учеб.-методич. пособие – локальный электронный методический материал по изучению дисциплины для студ. магистратуры по направлению подгот. 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, программа подготовки «Электроснабжение» / **И. Е. Кажекин.** – Калининград: ФГБОУ ВО «КГТУ», 2023. – 34 с.

В учебно-методическом пособии по изучению дисциплины представлен тематический план дисциплины, методические рекомендации по изучению каждой темы, а также вопросы для самостоятельной работы. Список литературы – 7 наименований

Локальный электронный методический материал. Учебно-методическое пособие. Рекомендовано к использованию в учебном процессе методической комиссией института морских технологий, энергетики и строительства 31.05.2023 г., протокол № 09

УДК 631.371

© Федеральное государственное
бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Калининградский государственный
технический университет», 2023 г.
© Кажекин, И. Е., 2023 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1 Содержание дисциплины	5
2 Методические указания по изучению дисциплины	25
3 Типовые индивидуальные задания для самостоятельной работы	27
4 Перечень вопросов для самопроверки	30
5 Контроль освоения дисциплины	31
Заключение	32
Библиографический список	32

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Методы диагностики в электроэнергетике» входит в состав модуля «Эксплуатация электротехнических систем» программы магистратуры по направлению 13.04.02. «Электроэнергетика и электротехника».

Целью изучения дисциплины является формирование систематизированных знаний, умений и навыков в области современных электротехнических систем, являющихся основой для решения профессиональных задач в этой области.

В результате изучения дисциплины «Методы диагностики в электроэнергетике» студент должен:

Знать: методы диагностики, применяемые в электроэнергетике.

Уметь: осуществлять контроль технического состояния и решать иные задачи технической диагностики объектов электроэнергетики.

Владеть: навыками технической диагностики объектов профессиональной деятельности в электроэнергетике.

Дисциплина изучается в течение второго курса.

Контроль текущей успеваемости осуществляется по результатам выполнения тестовых заданий, а также заданий по темам лабораторных работ.

По итогам выполнения тестовых заданий оценка выставляется по пятибалльной шкале в следующем порядке при правильных ответах на:

- 85–100 % заданий – оценка «5» (отлично);
- 70–84 % заданий – оценка «4» (хорошо);
- 51–69 % заданий – оценка «3» (удовлетворительно);
- менее 50 % – оценка «2» (неудовлетворительно).

По итогам лабораторных работ выставляется оценка «зачтено» при успешном выполнении задания и «не зачтено» - при неуспешном.

Промежуточная аттестация предусмотрена по модулю *Эксплуатация электротехнических систем*.

В учебно-методическом пособии содержатся:

- перечень тем, изучаемых в дисциплине;
- указания по изучению дисциплины;
- методические указания по выполнению самостоятельной работы;
- библиографический список;
- сведения о контроле освоения дисциплины.

В зависимости от формы обучения освоение каждой из тем может длиться от двух часов (заочная форма обучения) до четырех часов (очная форма обучения) аудиторных занятий.

1. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Общие положения технической диагностики

Форма занятия: лекция

Вопросы для обсуждения:

1. Основные понятия и определения технической диагностики
2. Диагностирование в жизненном цикле элементов электроустановок
3. Особенности диагностирования элементов электроустановок
4. Характеристика методов диагностирования элементов электроустановок

Методические материалы к лекционным занятиям

Техническая диагностика — наука о методах и средствах распознавания технического состояния и обнаружения неисправностей (дефектов) изделий.

Техническое диагностирование — это процесс распознавания состояния объекта, конечным результатом которого служит заключение о техническом состоянии объекта, то есть какой-либо технический диагноз: асинхронный двигатель исправен, в обмотке фазы С1...С4 имеется витковое замыкание; изоляция увлажнена и т. п.

Диагностические и контролируемые параметры (признаки) — это характеристики объекта, используемые для определения его технического состояния. Определяющие диагностические параметры — параметры, по которым получают наиболее полные сведения о работоспособности объекта, оценивают его состояние в целом (например, по температуре нагрева двигателя судят о его общем состоянии). По вспомогательным параметрам оценивают лишь отдельные свойства объекта или место неисправности (например, по сопротивлению изоляции судят лишь о состоянии электрической части электрооборудования).

Способ (алгоритм) диагностирования — это совокупность и последовательность действий (экспериментов), позволяющих определить техническое состояние объекта. При эксперименте на объект подают некоторое воздействие и измеряют диагностические параметры или контролируют диагностические признаки. По результатам наблюдений определяют состояние объекта. Например, испытывая изоляцию повышенным напряжением и наблюдая за током утечки, делают заключение об ее исправности.

Системы диагностирования (СД) — это совокупность объекта, способов и средств диагностирования. По назначению и виду решаемой диагностической задачи их условно разделяют на профилактические, дифференциальные, функциональные и прогнозирующие.

Профилактические СД предназначены для выявления в процессе эксплуатации дефектных деталей и элементов, выработавших свой ресурс, т. е. тех элементов объекта, параметры которых близки к предельно допустимым значениям (для выявления слабых мест объекта без вывода его в ремонт). С этой целью систематически проводят плановые профилактические испытания.

Дифференциальные СД служат для обнаружения отдельных неисправностей при плановом техническом обслуживании и ремонте электрооборудования. По полученным результатам уточняют вид необходимого ремонта (текущий или капитальный) и состав его операций. Для дифференциального диагностирования применяют приборы общего и специального назначения. Простейшими омметрами (мегаомметрами) выявляют неисправности — обрыв, замыкание в проводах, контактах, изолирующих и других элементах электрооборудования. Специальными приборами контроля влажности (ПКВ) определяют степень увлажнения изоляции, а приборами типа высокочастотного измерителя (ВЧФ) — витковые замыкания в обмотках электрических машин. Кроме того, дифференциальное диагностирование проводят при помощи таблиц характерных неисправностей, которые есть в справочной литературе или в техническом описании конкретного электрооборудования.

Функциональные СД предназначены для оценки качества функционирования и работоспособности путем определения комплекса эксплуатационных свойств (характеристик) электрооборудования при контрольных, типовых или специальных испытаниях и сопоставления их с номинальными или нормируемыми значениями. Например, при контрольных испытаниях асинхронного двигателя определяют сопротивление обмоток постоянному току, сопротивление изоляции, ток и потери холостого хода, напряжение и потери короткого замыкания. Если измеренные параметры находятся в пределах установленных допусков, то двигатель признают работоспособным.

Прогнозирующие СД позволяют предсказать состояние изделия в будущем и определить вероятный момент появления отказа. Для этого оценивают остаточный ресурс элементов на основании информации о закономерностях изменения параметров в период, предшествующий прогнозу. Например, для подшипника известно фактическое и предельное значение зазора. Разделив разность этих значений на скорость изнашивания подшипника, получают его остаточный ресурс, по которому легко определить ожидаемую дату отказа подшипника. Однако надежное прогнозирование освоено лишь для простейших случаев. При эксплуатации электрооборудования создание

прогнозирующих СД связано с рядом методических трудностей, обусловленных сложностью процессов старения и износа электроустановок.

В известной мере прогнозирование реализуют при профилактическом испытании, так как статистические данные подтверждают высокую вероятность безотказной работы до очередного испытания того электрооборудования, которое успешно выдержало текущее профилактическое испытание.

Одно из главных направлений дальнейшего совершенствования технической эксплуатации энергооборудования в сельском хозяйстве — более широкое внедрение в практику СД. Уже сейчас в целом в профилактической системе ППР и ТО (планово-предупредительные ремонты и техническое обслуживание) предусмотрен для отдельных видов электрооборудования в составе работ по техническому обслуживанию контроль с целью прогнозирования его состояния до следующего технического обслуживания. В последующем с помощью СД можно перейти к более прогрессивной послеосмотровой эксплуатации.

Тема 2. Контроль работоспособности

Форма занятия: Лекция

Вопросы для обсуждения:

1. Область и условия работоспособности
2. Запас и степень работоспособности.
3. Методы контроля работоспособности.

Методические материалы к лекционным занятиям

Для каждой машины и механизма определяется совокупность диагностических признаков. По характеру изменения в процессе диагностирования диагностические признаки делятся на параметры и характеристики.

Большинство диагностических параметров, отображающих состояние машин и механизмов, являются неэлектрическими величинами:

- линейные и угловые перемещения,
- вибрация и виброускорения,
- расход газов и жидкостей,
- давление,
- температура,
- время,
- частота вращения,
- угловые скорость и ускорение.

Часть диагностических параметров, которые присутствуют в явном виде в диагностической модели, называют прямыми. Те же параметры, через которые можно оценить прямые косвенным образом, называют косвенными.

Прямыми параметрами могут быть износ, зазор в сопряжении, а косвенными - давление масла, температура, содержание СО в отработавших газах.

Все диагностические параметры делятся на частные и обобщенные. Первые характеризуют состояние отдельных элементов составных узлов и агрегатов машин и механизмов, вторые — общее состояние машин и механизмов.

Информация о состоянии различных элементов и узлов машин содержится в диагностических характеристиках / например, виброакустические сигналы дают информацию о зазорах в сопряжениях /.

Основные показатели вибрационного процесса:

- частота колебаний;
- виброперемещение элемента конструкции /линейное перемещение контрольной точки конструкции/;
- скорость вибрации;
- ускорение;
- относительный уровень вибрации.

Поскольку заданные конструктором параметры не могут быть точно достигнуты при изготовлении, оборудование может оказаться в работоспособном состоянии, но с различным запасом работоспособности. Для оцениваемых признаков (параметров и характеристик) вводятся допуски, представляющие собой допустимые границы изменения, установленные опытным путем или расчетом.

Степень работоспособности определяется величиной запаса работоспособности.

Методы контроля работоспособности, основаны на оценивании реакции объекта диагностирования на рабочие и тестовые воздействия.

Тема 3. Поиск дефектов

Форма занятия: Лекция

Ключевые вопросы темы:

1. Признаки и методы обнаружения дефектов.
2. Алгоритмы поиска дефектов
3. Методы построения алгоритмов поиска дефектов.

Методические материалы к лекционным занятиям

Наличие дефекта - нарушения условий работоспособности, которые привели к отказу или снижению степени работоспособности. Отказ объекта - простейший вид признака наличия дефекта, означающий, что или весь объект, или его часть не выполняют свои функции. Признак наличия дефекта можно представить в следующем виде:

- нарушение условий работоспособности;
- резкое снижение степени работоспособности,
- отказ одной из структурных единиц сложного объекта.

Все методы обнаружения дефектов можно разделить на три группы:

- осмотра;
- индикации;
- поиска.

Если известно, что объект диагностирования отказал, вначале необходимо выполнить визуальный осмотр. При этом часто обнаруживаются поврежденные детали.

Автоматическая индикация. Находит применение для различных объектов диагностирования. В этом случае в объекте изначально предусмотрено размещение определенного количества датчиков в соответствии с определённой рациональной схемой размещения и установки и требуемой глубиной, которые сигнализируют о возникновении дефекта.

При поиске дефект обнаруживается в процессе реализации ряда проверок, объединенных в алгоритм поиска дефекта.

Поиск дефекта выполняется по алгоритму, включающему определенную совокупность проверок.

Проверка - оценка состояния структурной единицы или объекта диагностирования.

При построении алгоритма поиска дефекта стараются выбрать такую последовательность проверок, которая позволяет найти дефект с наименьшими затратами и за минимальное время.

Последовательность выполнения проверок при поиске дефекта может быть представлена в виде графа (дерева), где вершинами являются проверки, а ветви указывают направление перехода в зависимости от результата проверки, конечные вершины - обнаруживаемые дефекты.

Алгоритмы поиска дефектов могут быть трех видов:

- последовательные,
- параллельные,
- комбинированные.

При последовательном поиске каждая проверка выделяет в пространстве поиска один дефект. Удовлетворить это условие можно для ОД, представленного в виде последовательной схемы соединения СЕ.

Если проверяемый узел конструкции машины оказался работоспособным, то переходят к проверке следующего узла.

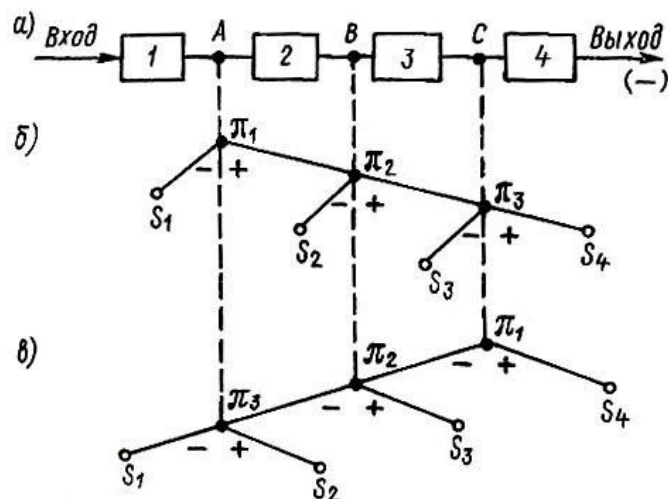


Рисунок 1 – Последовательный поиск дефекта

При параллельном поиске ОД разбивается каждой проверкой на две равные или почти равные части, если соответственно в ОД четное или нечетное число СЕ.

Поиск ведётся в двух направлениях: к началу последовательной схемы и к концу.

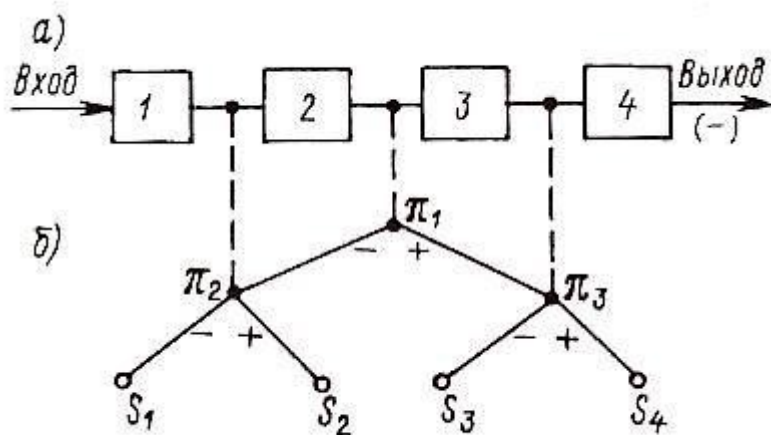


Рисунок 2 – Параллельный поиск дефекта

При комбинированном поиске имеет место сочетание последовательного и параллельного алгоритмов в зависимости от их целесообразности.

Алгоритмы поиска дефектов могут быть построены на основе анализа структуры объекта или использования показателей, характеризующих надежность структурной единицы.

Строить алгоритм поиска дефектов можно на основе известных показателей надежности, в качестве которых используются показатели безотказности и ремонтпригодности. Возможны три способа:

- по показателям безотказности;
- по показателям ремонтпригодности;
- по отношению *время /вероятность отказа*.

Алгоритм поиска дефекта может быть построен на основании известных значений вероятности отказа $Q(t)$ структурных единиц. Строят последовательный вероятностный ряд для всех структурных единиц, а проверку начинают со структурной единицы, имеющей наибольшую вероятность отказа;

Если имеется информация о времени, затрачиваемом на поиск дефекта каждой структурной единицы, то можно построить алгоритм поиска по правилу:

Проверку начинать с структурной единицы, на поиск дефекта которой затрачивается наименьшее время. Зная значения времени, можно расположить их в ряд в порядке возрастания и построить алгоритм поиска.

Информационный метод поиска дефекта предполагает:

- что отказы всех структурных единиц, последовательно соединённых, равновероятны и образуют полную группу событий;
- перед началом поиска состояние объекта диагностирования характеризуется максимальной энтропией (мерой неопределённости);
- каждая проверка Π_k даёт определённое количество информации о состоянии объекта;
- первой выбирается проверка, несущая максимум информации;
- при проверке Π_k возможны два исхода (1 или 0);
- проводятся три и более проверки;
- окончание процедуры проверок заканчивается, когда энтропия станет равной нулю.

При данном методе применим механизм «половинного разбиения», при котором любая проверка снимает половину неопределённости. Если в точке разбиения проверка даёт положительный результат, то первая половина схемы исключается из дальнейшего рассмотрения.

Кроме того, может быть применен метод анализа чувствительностей функций передачи.

В реальном объекте функция передачи зависят от его структуры и значений параметров. Все качественные и количественные изменения объекта диагностирования приводят к изменению соответствующих функций передачи от узла к узлу. Чувствительность параметров объекта диагностирования определяется чувствительностью функций передач, которые находятся как степени их изменения при изменении какого-либо параметра.

Метод предполагает определение чувствительности функций передач к изменению состояния элементов по соответствующим формулам.

Известен также метод анализа таблиц состояний.

Табличный метод (метод Байеса) основан на анализе статистических данных об изменении структурных и диагностических параметров, полученных при всех видах испытаний дизеля.

В результате обработки данных испытаний заполняются таблицы, и проводятся обследования по m – мерному комплексу параметров $\Pi = (\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_m)$, в которых каждый из признаков имеет μ разрядов. Измеряют и устанавливают разряд каждого признака по формуле Байеса, и определяют условную вероятность диагноза.

Поиск дефекта основан на выборе минимальной совокупности проверок, позволяющих различить дефекты всех структурных единиц.

Помимо этого, применяется также метод последовательного анализа.

Производится выбор между двумя состояниями элемента на моменты проверок, и используются условия вероятности, удовлетворяющие условиям принятия решения.

Проверка фиксирует состояние элемента в определённые моменты времени, характеризующие изменение его состояния по одному или нескольким параметрам. Данные проверки вводятся в ЭВМ, и по результатам решения ряда дифференциальных уравнений определяется тенденция развития дефекта и вероятность отказа элемента. В соответствии с условиями принятия решения, определяемыми степенью вероятности отказа, ставится диагноз.

Тема 4. Прогнозирование изменения состояния технических объектов

Форма занятия: Лекция

Ключевые вопросы темы:

1. Характеристика задачи прогнозирования
2. Аналитическое прогнозирование
3. Вероятностное прогнозирование
4. Прогнозирование методами статистической классификации

Методические материалы к лекционным занятиям

Основой надежной эксплуатации технического объекта является прогнозирование изменения его состояния. Знание состояния позволяет предотвратить аварийные ситуации благодаря своевременной замене элементов, выработавших ресурс.

Точность прогноза зависит от того, какой закон используется и насколько правильно и точно он осознан.

Прогнозирование — составление прогноза развития, становления, распространения процесса, состояния, надежности на основании изучения тщательно отобранных данных.

При решении задачи прогнозирования находят применение два понятия:

Интерполяция - определение промежуточных значений функции по некоторым известным ее значениям,

Экстраполяция - определение значений функции за пределами интервала, где известны ее значения.

Прогнозирование состояния объекта диагностирования основывается на данных об изменениях, происходящих в объекте с течением времени под влиянием внешних воздействий и внутренних необратимых физико-химических превращений.

Физическая картина изменения состояния объектов диагностирования является научной основой, объясняющей происхождение количественных изменений в объекте и возможный переход в другое качественное состояние — неработоспособное. В основе прогнозирования времени безотказной работы объекта диагностирования лежит модель выработки ресурса при различных режимах эксплуатации.

С момента изготовления объекта в нем протекают процессы деградации, причем скорость изменения работоспособности у различных объектов разная. Причинами возникновения отказов являются: деформация и механические разрушения материалов, нарушение электрической прочности (пробой), тепловые разрушения элементов (перегорание, расплавление), износ поверхностей деталей.

Выполнить достоверное прогнозирование можно только в том случае, когда известны условия, в которых объект диагностирования будет применяться. При этом под условиями понимаются: режимы использования, характер нагрузки, внешние факторы (температура, влажность и т.п.).

Прогнозирование возможно, если в случайном процессе, характеризующем изменение параметра, можно выделить *тренд* (тенденцию) к изменению случайной величины в соответствии с изменением параметра, т. е.

принципиальной основой прогнозирования служит предположение о существовании единых закономерностей, определяющих износ или старение.

Прогнозирование подразделяется:

- по назначению - на *индивидуальное* (для конкретного объекта) и *групповое* (для партии однотипных объектов),
- по времени прогнозирования - на *локальное* (время прогноза незначительное) и *глобальное* (до потери работоспособности).

Задача прогнозирования изменения состояния объекта может быть решена методами экстраполяции или классификации.

При *экстраполяции* реализуется принцип переноса на будущее тенденций прошлого. Процедура прогнозирования включает анализ результатов наблюдения, построение аналитического выражения, связывающего результаты наблюдения (интерполяцию) и, экстраполяцию с помощью полученного выражения. Погрешности прогнозирования складываются из погрешностей при измерении результатов наблюдения.

При *классификации* необходимо обнаружить общие черты в различных объектах, их систематизировать и отнести к классу известных. В этом случае необходимо построить множество классов, которые характеризуются определенной совокупностью признаков, оценить признаки и по полученным результатам отнести объект диагностирования к тому или иному классу. При решении задачи требуется обработать большой объем статистических данных, полученных в период эксплуатации объектов.

В зависимости от используемого математического аппарата различают три вида прогнозирования:

- 1) *аналитическое*, основанное на степенных рядах и уравнениях регрессии;
- 2) *вероятностное*, основанное на теории вероятности;
- 3) *статистическая классификация*, основанная на теории распознавания образов.

Решение задачи прогнозирования для конкретного ОД позволяет:

1. Выявить узлы (блоки) объекта, работоспособность которых существенно изменится в ближайшее время;
2. Обосновать количество запасных блоков или узлов перед очередным использованием и объем запасных частей на весь период эксплуатации объекта;
3. Определить сроки проведения профилактических работ, направленных на обеспечение работоспособности объекта.

Аналитическое прогнозирование

Методы экстраполяции, используемые для определения значения прогнозируемой переменной, называются аналитическими, или методами аналитического прогнозирования.

При выборе математического аппарата для решения задачи аналитического прогнозирования необходимо предварительно определить диагностические параметры. Оценить параметры каждого элемента, входящего в объект, технически сложно из-за их большого количества, поэтому необходимо выбрать минимум диагностических параметров, обеспечивающих требуемую достоверность прогнозирования изменения состояния объекта.

Выбранные параметры должны быть чувствительными к изменениям, происходящим в элементах, входящих в объект диагностирования.

Метод экстраполяционных полиномов.

Решением задачи является описание изменения функции каким-либо аналитическим выражением. Ввиду сложности нахождения таких выражений по дискретным точкам, целесообразно определить наилучшую структуру аналитического выражения.

При прогнозировании конкретной функции изменяют базовые элементы, входящие в это выражение.

В интервале Δt по известным значениям диагностических параметров ξ_i необходимо найти функцию, которая с заданной точностью описывала бы процесс изменения состояния объекта диагностирования, т.е. выполнить интерполяцию.

Использование экстраполяционных полиномов для аналитического прогнозирования предполагает:

1. Выбор оптимального выражения с учетом тенденции изменения параметра;
2. Определение коэффициентов для получения точного прогноза;
3. Определение значения параметра в требуемый (прогнозируемый) момент времени; оценивание точности прогноза.

Метод регрессионного анализа.

Он основывается на использовании уравнения регрессии. Для прогнозирования времени безотказной работы машины необходимо знать допустимое значение диагностического параметра.

Метод предполагает:

1. Выбор однотипных объектов диагностирования, эксплуатирующихся в одинаковых условиях;

2. Измерение значений диагностических параметров для всей совокупности объектов диагностирования через определенные интервалы времени;

3. Вычисление средних значений диагностических параметров по всем объекте диагностирования для фиксированного момента времени;

4. Нахождение коэффициента регрессии по значениям параметров в моменты времени;

5. Определение среднего времени отказа;

6. Вычисление допустимого значения диагностического параметра;

7. Нахождение прогнозируемого времени безотказной работы.

Недостатком расчета тренда по линейной регрессии является принимаемая гипотеза о его линейности, так как на практике при износе диагностические параметры могут изменяться по экспоненциальному закону или иметь насыщение.

Вероятностное прогнозирование

Задачи вероятностного прогнозирования сводятся к определению вероятности невыхода (выхода) прогнозируемого процесса за установленные границы.

При этом математическая задача вероятностного прогнозирования формулируется следующим образом:

Для группы однотипных объектов диагностирования известны значения функции времени диагностических параметров. Необходимо определить вероятность того, что значение функции не выйдет за допустимые пределы в определённые моменты времени.

Определить вероятность можно, если известен закон распределения диагностического параметра.

Тема 5. Система диагностирования

Форма занятия: Лекция

Ключевые вопросы темы:

1. Типовые структуры систем диагностирования
2. Объект диагностирования
3. Средства технического диагностирования
4. Человек-оператор

Методические материалы к лекционным занятиям

Система диагностирования объединяет объект диагностирования, средства технического диагностирования и человека-оператора. В зависимости от назначения, специфики использования и расположения объекта система диагностирования может иметь различную структуру.

Структура системы — устойчивая упорядоченность в пространстве и во времени ее элементов и связей. Все возможные структуры с учетом использования технических средств диагностирования (ТСД) можно свести к небольшому числу типовых структур.

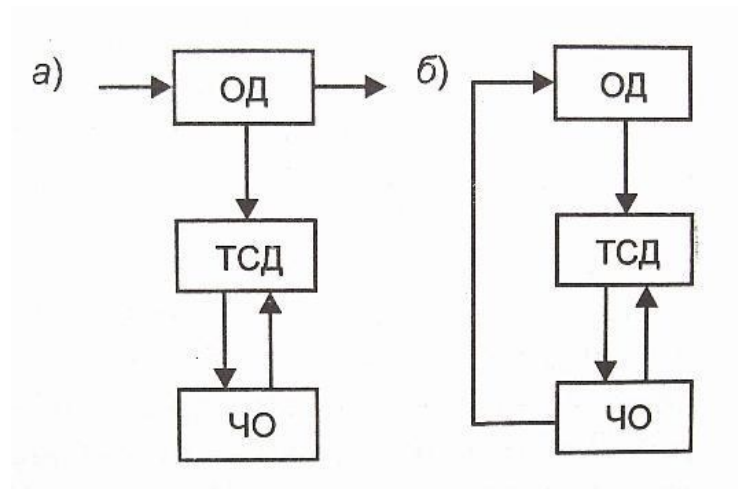


Рисунок 3 – Структурные схемы рабочего диагностирования

а) Диагностирование в этом случае осуществляется в период выполнения объектом его рабочих функций, т.е. является рабочим. ТСД играют пассивную роль при диагностировании, они только воспринимают от объекта и обрабатывают информацию, характеризующую качество выполнения им рабочих функций. Человек-оператор (ЧО) не имеет непосредственного контакта с объектом диагностирования (ОД). Он лишь взаимодействует с ТСД, воспринимает информацию, управляя диагностированием, и принимает решения об использовании ОД.

б) ЧО имеет доступ к ОД для воздействия и имеет двухстороннюю связь с ТСД: возможность воспринимать информацию и управлять диагностированием.

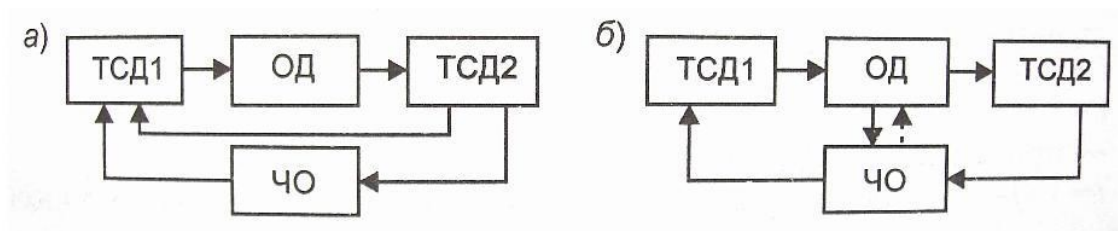


Рисунок 4 - Структурные схемы тестового диагностирования:

ТСД-1 - активные средства в виде генераторов тестовых воздействий;
 ТСД-2 - пассивные средства, принимающие и обрабатывающие реакции на тестовые воздействия

Элементы СД взаимодействуют в процессе оценивания состояния технических объектов, обеспечивая требуемую достоверность диагноза. Для

того чтобы можно было сравнить различные СД между собой и оценить достигнутый ими эффект, используют целый ряд показателей, основные из которых строго определены (ГОСТ 27518-87).

Устройства технического диагностирования представляют совокупность средств, с помощью которых оценивают состояние объекта. Они включают программные средства диагностирования, ремонтно-эксплуатационную документацию и технические средства диагностирования.

Программные средства диагностирования — пакеты программ, используемые для диагностирования. Ремонтно-эксплуатационная документация — таблицы состояний, методики поиска дефекта, ремонтные схемы.

Технические средства диагностирования (ТСД) представляют собой приборы или устройства, предназначенные для решения различных задач, возникающих при определении состояния ОД. Технические средства диагностирования объектов отличаются большим разнообразием. Состав и принцип построения ТСД определяются решаемыми задачами диагностирования:

- степенью воздействия на оборудование;
- степенью встраивания, способами получения информации;
- способами обработки информации о состоянии оборудования;
- степенью автоматизации;
- степенью универсальности и подвижности.

В зависимости от решаемых задач диагностирования можно выделить следующие виды ТСД:

- контроля работоспособности;
- поиска дефектов;
- прогнозирования состояния;
- контроля и прогнозирования состояния;
- контроля работоспособности и поиска дефектов;
- контроля, прогнозирования состояния и поиска дефектов.

В настоящее время на судах в основном эксплуатируются средства контроля работоспособности.

По степени воздействия на оборудование ТСД разделяют на активные и пассивные. Пассивные ТСД выполняют анализ информации о состоянии оборудования, для чего воспринимают, обрабатывают и оценивают диагностические признаки. Активные ТСД воздействуют на оборудование, подавая на отведенные для целей диагностирования входы тестовые сигналы, стимулирующие реакцию оборудования, которая затем оценивается.

Конструктивно ТСД могут полностью или частично относиться к ОД (встроенные) или выполняться отдельно от конструкции ОД (внешние).

По способу получения информации о состоянии оборудования ТСД делятся на средства для определения состояния по совокупности параметров ТСД-П и средства для оценивания состояния по сигналам ТСД-С.

В первом случае обрабатывается информация, снимаемая в контрольных точках, специально предусмотренных в оборудовании.

Во втором случае для возможности оценивания реакции на рабочем выходе объекта в состав ТСД включают эквивалентную модель, а диагноз устанавливают путем сравнения реакции оборудования и модели на одинаковые входные воздействия.

По способу обработки информации ТСД могут быть последовательного, параллельного и параллельно-последовательного действия.

ТСД последовательного действия осуществляют последовательный прием, измерение, контроль и обработку информации. Они отличаются простотой, использованием минимального числа преобразовательных, измерительных средств и средств контроля. При этом способе диагноз формируется по отдельному признаку после каждой проверки.

ТСД параллельного действия осуществляют одновременно измерения и контроль всех параметров, что сокращает время формирования общего диагностического признака, по которому оценивают состояние оборудования. Их обычно используют при жестких ограничениях на время диагностирования.

ТСД параллельно-последовательного действия осуществляют одновременный прием и обработку информации по нескольким каналам. При этом анализ результатов выполняется после реализации группы проверок, т.е. измерения или контроля группы признаков. Подобные средства сложнее средств последовательного действия, но более эффективны.

По степени автоматизации ТСД разделяются на ручные, автоматизированные и автоматические.

Средства, требующие активного участия человека-оператора при их использовании, относят к ручным. Это все используемые в процессе диагностирования измерительные приборы (осциллографы, генераторы синусоидальных, импульсных сигналов и др.). ТСД, при использовании которых роль ЧО сводится к выполнению отдельных достаточно простых операций (включение, переключение, выключение и др.), относятся к автоматизированным ТСД. Средства, которые функционируют без участия ЧО, относятся к автоматическим ТСД.

По степени универсальности ТСД разделяют на специализированные и универсальные.

Специализированные ТСД предназначены для оценивания состояния однотипного оборудования. Такие ТСД могут включать унифицированные блоки, мини-ЭВМ и микропроцессоры.

Универсальные ТСД предназначены для диагностирования оборудования различного назначения и конструктивного выполнения. Универсальные средства могут быть использованы для сдачи оборудования после изготовления и в период эксплуатации. Такие средства строятся с применением ЭВМ.

Состояние ОД при рабочем диагностировании оценивают по совокупности признаков, преобразуемых в принятый вид сигналов с помощью датчиков.

Самоконтроль ТСД осуществляется подачей собственного тестового сигнала на вход БКИ и сравнением диагноза с известным результатом.

В качестве устройств индикации используются различные табло, цифровые индикаторные приборы, электронные лучевые трубки, которые позволяют визуально оценивать, измерять и анализировать контролируемые параметры и характеристики различной физической природы, что дает возможность оператору принимать решения о состоянии объекта. Регистрирующие устройства, как правило, фиксируют дату диагностирования, номер объекта, шифр операции, номер оцениваемого признака, его измеренное значение и обобщенную оценку состояния объекта (работоспособен или неработоспособен; блок, в котором возник дефект, и т.д.).

В целях повышения достоверности вводится режим самоконтроля. При возможных сбоях необходимо предусмотреть повторение программы самоконтроля.

Эффективность ТСД оценивают совокупностью показателей, основными из которых являются показатели надежности, метрологические показатели и массогабаритные показатели.

Тема 6. Диагностирование изоляции

Форма занятия: Лекция

Ключевые вопросы темы:

1. Диагностирование внешней изоляции
2. Диагностирование внутренней изоляции.

Методические материалы к лекционным занятиям

В изоляции под воздействием электрического поля происходят сложные процессы.

1. Из-за присутствия в диэлектриках свободных зарядов, обусловленных примесями и дефектами строения, в изоляции всегда возникает ток сквозной проводимости.

2. Происходит замедленная поляризация т.е. смещение и поворот связанных дипольных молекул, создающих ток абсорбции.

3. Происходит мгновенная поляризация, представляющая собой упругое смещение и деформацию электронных оболочек атомов и ионов и создающая ток смещения.

Истинное сопротивление изоляции зависит от сквозного тока. В связи с тем, что определение активной составляющей тока через изоляцию связано с определенными трудностями, сопротивление изоляции рассчитывают как частные от деления напряжения на значение тока, установившегося через минуту после включения напряжения. Если же измерения проводить при небольшой выдержке времени, то может создаться неправильное представление о сопротивлении изоляции.

При эксплуатации электрооборудования его изоляции подвергается влиянию рабочего напряжения, кратковременным перенапряжениям от грозовых разрядов и коммутационных операций, механическим и тепловым нагрузкам, загрязнению, увлажнению и др. В результате этого свойства изоляции непрерывно ухудшаются.

К основным методам определения состояния изоляции относятся: измерение сопротивления изоляции, измерение емкости изоляции, измерение диэлектрических потерь, испытание повышенным напряжением постоянного или переменного тока.

Полное заключение о состоянии изоляции делают по совокупности результатов измерений. Но в ряде случаев выделяют отдельные определяющие параметры, которые в некоторых условиях достаточно полно оценивают качество изоляции. Такой подход оправдан для выявления конкретных неисправностей изоляции (увлажнение, старение и т.п.).

Для вето́мо сухой изоляции в процессе измерения суммарный ток будет резко затухать. У влажной изоляции такого же двигателя суммарный ток больше и будет затухать медленнее, потому, что из-за увлажнения прирост тока сквозной проводимости больше, чем прирост абсорбции и тогда при постоянном напряжении мегомметра сопротивление сухой изоляции $R_{\text{сух.}}$ при измерении будет резко увеличиваться, а сопротивление влажной $R_{\text{вл.}}$ будет возрастать незначительно. Следовательно, по состоянию сопротивления изоляции в зависимости от продолжительности измерения можно определить увлажнена изоляции или нет.

Тема 7. Диагностирование кабельных линий высокого напряжения

Форма занятия: Лекция

Ключевые вопросы темы:

1. Основные причины отказов кабельных линий
2. Методы определения мест отказов кабельных линий

Методические материалы к лекционным занятиям

Состояние изоляции кабельных линий можно определить испытанием повышенным напряжением в соответствии с действующими нормативами (ГОСТ, ПУЭ и нормы испытаний электрооборудования), а также с использованием диагностики.

Из практики эксплуатации высоковольтных кабельных линий известно, что положительные результаты испытаний повышенным напряжением промышленной частоты не гарантируют безаварийной последующей эксплуатации. Так, например, после успешных испытаний повышенным напряжением кабельных линий они зачастую выходят из строя в ближайшее время. Установлено, что в большинстве случаев причина этого в интенсивном электрическом старении изоляции, вызванном частичными разрядами (ЧР) в дефектных местах, что приводит к сокращению срока службы кабельных линий. Наиболее опасны такие испытания для кабельных линий с большим сроком службы. Тем более не информативны с точки зрения оценки состояния кабельной линии высокого класса напряжения проверка при вводе в эксплуатацию по принципу выдержала/не выдержала (путем постановки под рабочее напряжение кабельной линии). Кроме того, с помощью таких испытаний невозможно выявление местных дефектов, особенно на ранних стадиях их развития, как из-за неэффективности применяемых для этого методов, так и из-за неправильно выбранной периодичности испытаний. Фактически, затраты на испытания кабельных линий никак не влияют на их надежность, и не позволяют комплексно оценить их состояние.

Исключение повреждений возможно только тогда, когда система эксплуатации и диагностики разрабатывается и устанавливается на основе изучения действительных причин повреждений. Объективные данные о техническом состоянии изоляции силовых кабелей и соединительной арматуры можно получить современными диагностическими методами. Существование системы предупреждающей диагностики позволит исключить повреждения в кабельных системах при минимальных финансовых затратах.

Диагностика, как правило, выполняется неразрушающими методами, т.е. методами, не приводящими к старению изоляции. Она позволяет определить не только техническое состояние, но и локализовать имеющиеся дефекты. Комплексная диагностика различными методами неразрушающего контроля дает возможность оценить степень старения изоляции и ориентировочно рассчитать остаточный ресурс кабеля.

Кроме того, применение диагностических методов позволяет:

- производить Проверку качества монтажа при вводе в эксплуатацию и ремонтах
- предотвратить перебои в подаче электроэнергии;
- экономить затраты на техническое обслуживание;
- экономить затраты за счет частичной замены элементов кабельных систем;
- осуществлять надежный контроль качества после ремонта.

Полный переход на неразрушающую диагностику в данный момент еще не произошел ни в одной стране мира. К наиболее популярным сегодня методам диагностики относятся:

- измерение характеристик частичных разрядов;
- измерение диэлектрических потерь изоляции;
- тепловизионный контроль;
- рефлектометрия.

Тема 8. Определение мест повреждений на воздушных линиях электропередачи

Форма занятия: Лекция

Ключевые вопросы темы:

1. Основные виды отказов элементов воздушных линий 10 кВ
2. Методы и технические средства определения мест повреждения на воздушных линиях в распределительных сетях 6...35 кВ
3. Методы и технические средства определения мест повреждения воздушных линий электропередачи в сетях с заземленной нейтралью (110 кВ и выше)

Методические материалы к лекционным занятиям

В настоящее время для определения мест повреждения на воздушных ЛЭП применяются следующие методы:

- импульсные;
- по параметрам аварийного режима;
- волновые;
- индикация направления короткого замыкания (указатели повреждений).

На практике наиболее полно представлены методы поиска отказов, основанные на измерении временных интервалов распространения электромагнитной волны по кабельным и воздушным ЛЭП. Принцип метода импульсной рефлектометрии линий электропередачи основан на измерении времени между моментами послышки в линию зондирующего импульса и возвращения отраженного импульса от места повреждения линии с их воспроизведением на экране ЭЛТ с временной разверткой луча.

Параметрами аварийного режима (ПАР) называются токи и напряжения или их составляющие, измеренные в период КЗ, а также сопротивления и проводимости элементов сети для этих составляющих. Параметры аварийного режима измеряются и запоминаются с помощью фиксирующих приборов ФИП. Эти приборы измеряют модули составляющих нулевой или обратной последовательности токов и напряжений. Чаще всего используются в качестве ПАР токи и напряжения нулевой и обратной последовательности по концам поврежденной ВЛЭП. В настоящее время методы ОМП по ПАР используются на ВЛЭП в сетях с глухозаземленной нейтралью напряжением 110 кВ и выше для всех видов КЗ в одной точке сети. В сетях с изолированной нейтралью или с компенсацией емкостных токов напряжением 6-35 кВ эти методы используются при междуфазных КЗ. При наличии обрывов проводов однозначность результатов не обеспечивается.

Определение мест повреждения при устойчивых и неустойчивых КЗ с помощью устройств ОМП, производится для ВЛЭП напряжением 110 кВ и выше протяженностью 20 км и более. Устройства для определения мест повреждений на ВЛЭП 110 кВ и выше должны устанавливаться на подстанциях и на электростанциях.

Методы ОМП по параметрам аварийных режимов разделяются на:

- Односторонние - обеспечивают фиксацию полного (индуктивного) сопротивления участка линии, пропорционального расстоянию до места КЗ и симметричных составляющих токов и напряжений на одном конце линии.
- Двусторонние - обеспечивает фиксацию токов, напряжений и других параметров по обоим концам линии с последующим расчётом расстояния до места повреждения.

Определение мест повреждения на основе двусторонних измерений выполняется расчетным путем либо графически.

Расчет производится вручную с использованием простейших вычислительных средств либо на базе ЭВМ. В последнем случае применяются специальные или универсальные программы. Возможно также определение мест КЗ с помощью таблиц, составленных на основе предварительно выполненных расчетов для отдельных ВЛЭП.

Методы с односторонним измерением обеспечивают фиксацию: сопротивления участка ВЛЭП, пропорционального расстоянию до места КЗ, параметров аварийного режима: токов, напряжений и других параметров. При одностороннем измерении параметров наиболее эффективным является использование фиксирующих омметров, показания которых соответствуют расстоянию до места КЗ. Они измеряют расстояние при всех видах КЗ в

километрах. Использование односторонних измерений тока (напряжения) возможно в качестве дополнительного метода на линиях с двусторонним питанием при отсутствии данных измерений на одном из концов, а также на тупиковых ВЛЭП при отсутствии фиксирующих омметров.

В энергосистемах широко применяются методы ОМП с использованием составляющих тока и напряжения нулевой последовательности. Реже используются токи и напряжения обратной последовательности.

Кроме того, при усреднении параметров в общем случае несимметричной ВЛЭП погрешность ОМП на основе составляющих нулевой последовательности не превышает 1,5-2% длины линии.

Методы ОМП, основанные на измерении параметров обратной последовательности, несмотря на более высокую погрешность расчета, 4-6 % длины ВЛЭП, следует применять в оптимальном сочетании с другими методами. Они позволяют определять место повреждения как при однофазных, так и при двухфазных коротких замыканиях.

Для измерения и запоминания токов и напряжений используются полупроводниковые и микропроцессорные фиксирующие приборы. Опыт эксплуатации микропроцессорных приборов ОМП показал, что погрешность определения расстояния до места повреждения не превышает 5 %.

Рассмотренная структура измерений параметров аварийного режима обеспечивается, в частности, фиксирующими индикаторами ФИП, ЛИФМ, ФПТ и ФПН. На ВЛЭП, оборудованных быстродействующими защитами на микроэлектронной элементной базе, время фиксации индикаторов должно быть $t=50$ мс.

Расчетные методы ОМП с использованием параметров нулевой последовательности могут использоваться и применительно к параметрам обратной последовательности.

При повреждении на контролируемой линии средства ОМП осуществляют в темпе процесса лишь функции измерения и запоминания токов и напряжений аварийного режима. Обработка результатов измерения выполняется уже после отключения линии релейной защитой.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

При изучении дисциплины студентам целесообразно выполнять следующие рекомендации.

1. Важнейшим условием для успешного освоения дисциплины «Методы диагностики в электроэнергетике» является прочная теоретическая база. Особенное значение приобретают такие разделы как анализ электромагнитных

полей, методы анализа электрических цепей, знание свойств электротехнических материалов, физики и высшей математики.

2. Самостоятельная работа как вид деятельности аспиранта многогранна и играет определяющую роль в развитии способности самостоятельно решать исследовательские задачи. В качестве форм самостоятельной работы при изучении дисциплины предлагаются: работа с научной и учебной литературой; конспектирование текста; решение задач и упражнений; углубленное изучение вопросов по тематике лекционных и практических занятий; подготовка к зачету. При выполнении самостоятельной работы аспиранту следует сконцентрироваться на: получении навыков научно-исследовательской работы на основании анализа текстов литературных источников и применения различных методов исследования; выработке умения самостоятельно и критически подходить к изучаемому материалу.

3. При самостоятельной работе с научной литературой аспиранту рекомендуется конспектировать изученный материал. Конспекты научной должны быть выполнены аккуратно, содержать ответы на каждый поставленный в теме вопрос, иметь ссылку на источник информации с обязательным указанием автора, названия и года издания используемой научной литературы. Конспект может быть опорным (содержать лишь основные ключевые позиции), но при этом позволяющим дать полный ответ по вопросу, может быть подробным. Объем конспекта определяется самим аспирантом. В процессе работы с учебной и научной литературой аспирант может: делать записи по ходу чтения в виде простого или развернутого плана (создавать перечень основных вопросов, рассмотренных в источнике); составлять тезисы (цитирование наиболее важных мест статьи или монографии, короткое изложение основных мыслей автора); готовить аннотации (краткое обобщение основных вопросов работы).

4. Задачи преподавателя по организации самостоятельной работы аспиранта заключаются в следующем:

- информирование о разделах дисциплины, подлежащих изучению, о формах самостоятельной работы, сроках выполнения и формах контроля;
- разработка и выдача заданий для самостоятельной работы;
- проведение консультаций по вопросам выполнения заданий;
- контроль хода выполнения и результатов самостоятельной работы.

3. ТИПОВЫЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Система автоматического управления технологическим процессом состоит из 14 элементов, соединенных в структурной схеме надежности последовательно

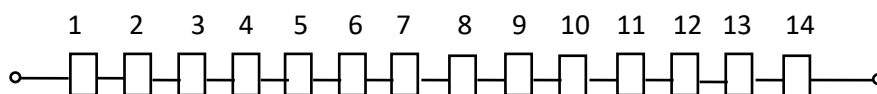


Рисунок 5 - Структурная схема надежности системы автоматического управления

Выход каждого из элементов приводит к отказу системы. Заданы интенсивности отказов элементов ($\lambda_i \cdot 10^{-5} \text{ ч}^{-1}$)

$\lambda_1 = 7, \lambda_2 = 3, \lambda_3 = 4, \lambda_4 = 5, \lambda_5 = 4, \lambda_6 = 5, \lambda_7 = 6, \lambda_8 = 1, \lambda_9 = 1, \lambda_{10} = 2, \lambda_{11} = 1, \lambda_{12} = 2, \lambda_{13} = 2, \lambda_{14} = 1$

Время поиска отказавшего элемента одинаково для всех проверок и составляет 5 мин. Используя метод последовательных поэлементных проверок, установить оптимальную последовательность диагностирования системы управления.

2. Основными элементами электропривода вентилятора (рис. 6) являются: аппарат защиты от токов короткого замыкания (1), вводное коммутационное устройство (2), силовые контакты магнитного пускателя (3), электродвигатель (4), устройство дистанционного включения и отключения электропривода (5), катушка магнитного пускателя (6).

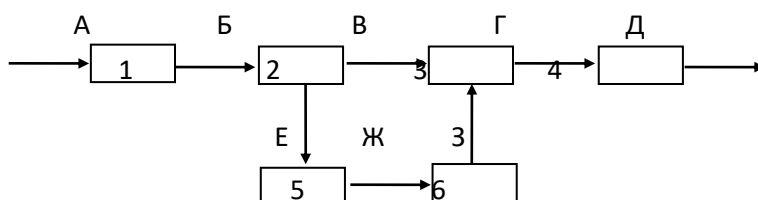


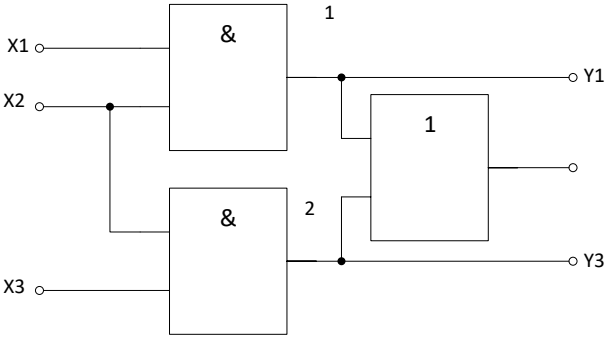
Рисунок 6 - Функциональная схема электропривода вентилятора

Буквами А, Б, В, Г, Д, Е, Ж, З обозначены входные и выходные сигналы элементов. Известны коэффициенты отказов элементов $\alpha_1 = 0,3$, $\alpha_2 = 0,1$, $\alpha_3 = 0,1$, $\alpha_4 = 0,2$, $\alpha_5 = 0,1$, $\alpha_6 = 0,2$. Используя метод групповых проверок, требуется составить алгоритм поиска отказавшего элемента, обеспечивающий минимальное среднее количество проверок.

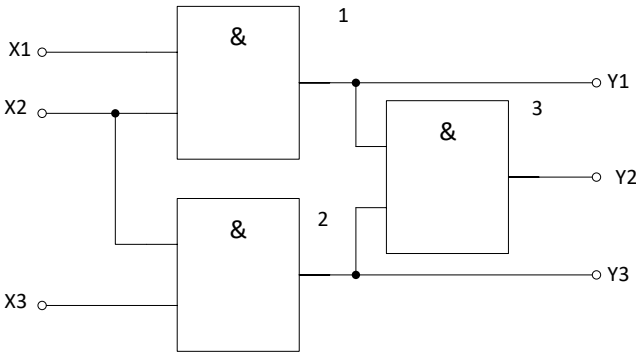
3. Получить минимальную входную последовательность двух векторов, обеспечивающую диагностирование работоспособности объекта, имеющего следующую схему.

Варианты:

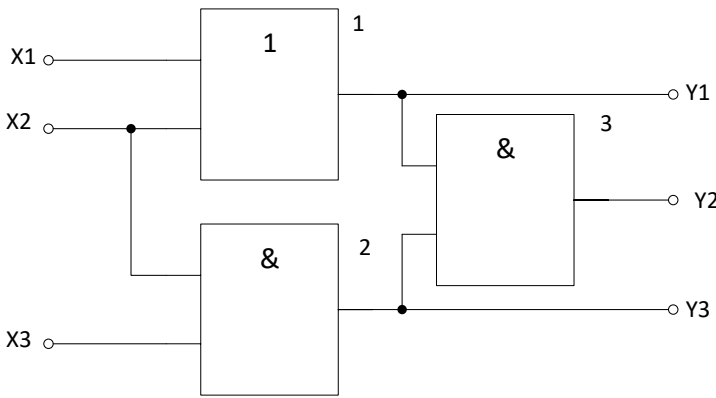
1.



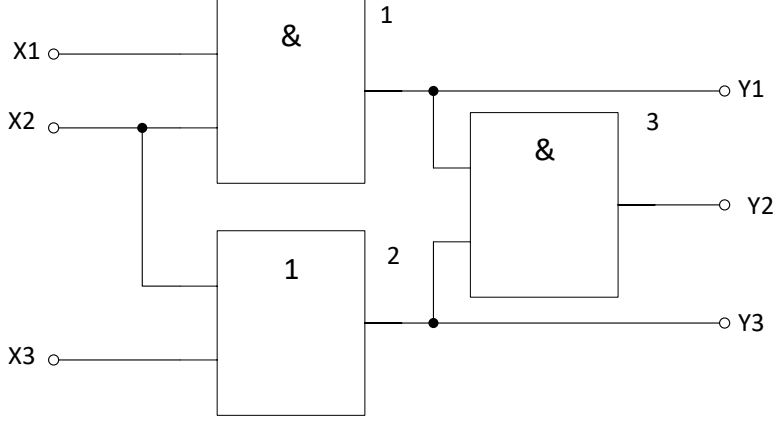
2.



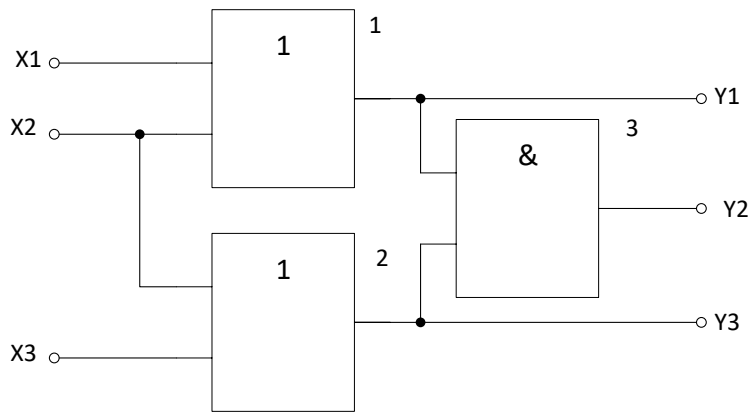
3.



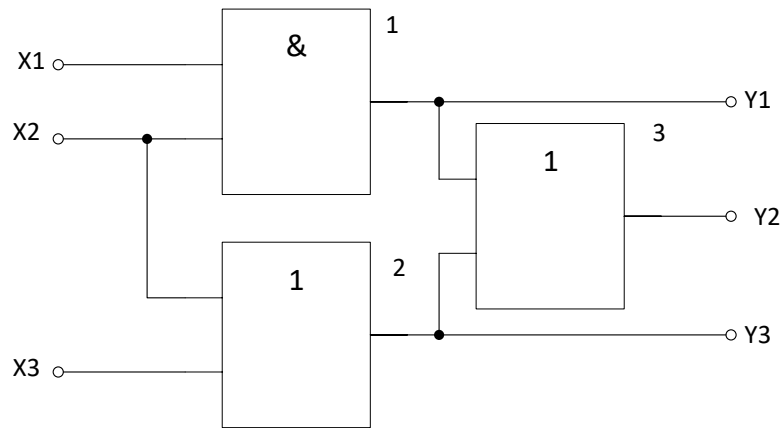
4.



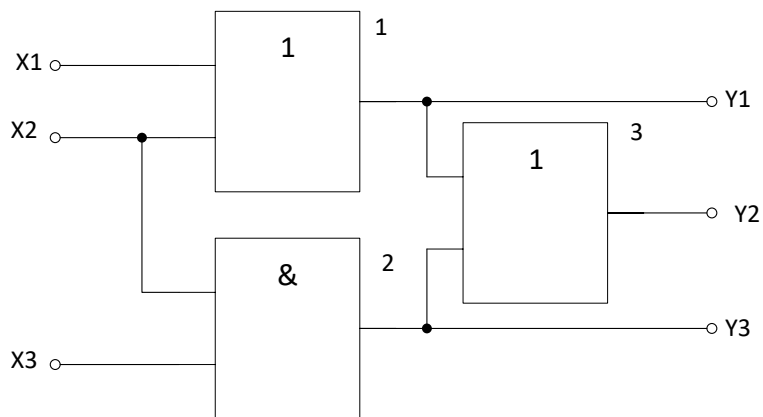
5.



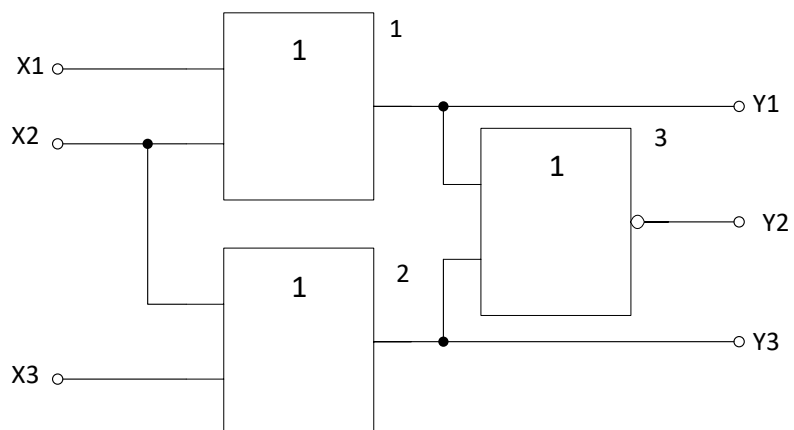
6.



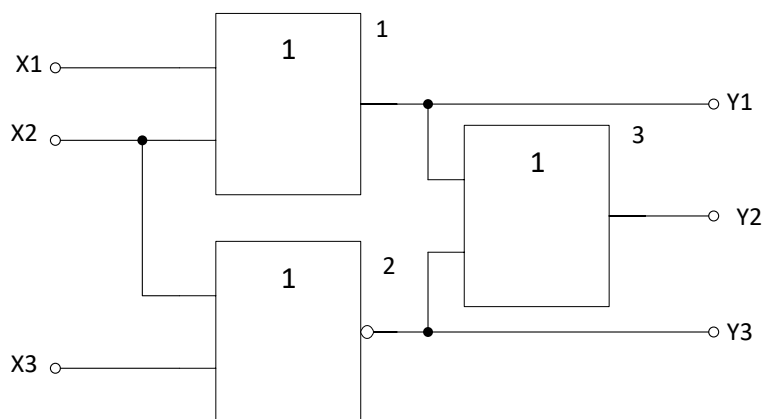
7.



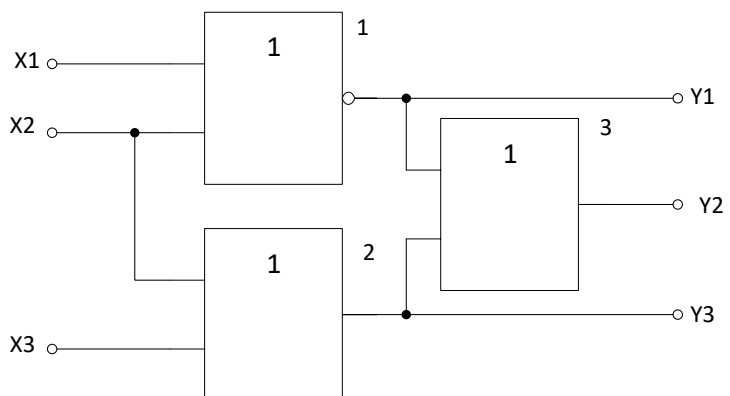
8.



9.



10.



4. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Средства технического диагностирования.
2. Условия вскрытия масляных и автотрансформаторов, масляных реакторов.

3. Типовые структуры систем диагностирования.
4. Методы оценки, измерения и испытания, определяющие состояние электрооборудования и его элементов.
5. Технические средства поиска дефектов.
6. Методы прогнозирования неисправностей электрооборудования.
7. Маслоочистительные установки для очистки масла центрифугированием.
8. Методы построения алгоритмов поиска дефектов.
9. Меры безопасности при работе с механизмами и установками.
10. Критерии и задачи организации системы диагностирования.
11. Способы построения диагностических моделей.
12. Связь процесса диагностирования и структуры технических средств диагностирования.
13. Высоковольтные испытания кабельной линии.
14. Диагностическая модель распределительной сети.
15. Объекты диагностирования элементов электроустановок.
16. Диагностические модели линий и трансформаторов.
17. Количественные показатели надежности.
18. Общие принципы и методы выявления дефектов оборудования.
19. Диагностическая модель трансформатора.
20. Процедура и методы анализа диагностических моделей.
21. Методы поиска дефектов. Объясните назначение тестового контроля в технических системах.
22. Какие отказы называют скрытыми?
23. Трансформаторы оперативного постоянного тока и собственных нужд.
24. Методы и средства, применяемые при диагностике коммутационных аппаратов ВН на ПС
25. Методы и средства, применяемые при диагностике линий электропередач.

5 . КОНТРОЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Для оценки результатов освоения дисциплины используются задания для самостоятельной работы и вопросы для самопроверки. Задания для самостоятельной работы выполняются студентами индивидуально с целью приобретения умений применять теоретические знания на практике для решения прикладных задач. Индивидуальные задания выполняются в рамках, предусмотренных программой типовых заданий для самостоятельной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. После изучения какого-либо раздела по учебнику рекомендуется по памяти записать определения, выводы формул, начертить схемы, графики и ответить на вопросы для самопроверки. Такой метод даст возможность проверить усвоение материала и запомнить основные элементы прочитанного.

2. Проводимые на лабораторных занятиях несложные исследования дают возможность непосредственно наблюдать явления и процессы, изучать средства технической диагностики, описание которых излагается в учебниках и на лекциях. Поэтому студенты должны активно участвовать в выполнении всех лабораторных работ.

3. При изучении методов диагностики главное внимание следует уделять разбору происходящих в них физических процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Основная литература:

1. Техническое обслуживание релейной защиты и автоматики электростанций и электрических сетей. Ч.4. Электроавтоматика сост.: Ф. Д. Кузнецов, А. К. Белотелов, Б. А. Алексеев. - Москва: НЦ ЭНАС, 2001. - 66 с.

2. Техническое обслуживание релейной защиты и автоматики электростанций и электрических сетей Ч. 1: Электромеханические реле / сост.: Ф. Д. Кузнецов, А. К. Белотелов; под ред. Б. А. Алексеева. - Москва: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. - 94 с.

3. Техническое обслуживание релейной защиты и автоматики электростанций и электрических сетей. Ч. 2: Реле дифференциальных, направленных и фильтровых защит / сост.: Ф. Д. Кузнецов, А. К. Белотелов; под ред. Б. А. Алексеева. - Москва: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. - 85 с.

4. Техническое обслуживание релейной защиты и автоматики электростанций и электрических сетей Ч. 3: Статические реле. / сост.: Ф. Д. Кузнецов, А. К. Белотелов; под ред. Б. А. Алексеева. - Москва: Изд-во НЦ ЭНАС, 2000. - 91 с.

Дополнительная литература

1. Эксплуатация электрических систем: учеб. пособие / Я. Д. Баркан. - Москва: Высшая школа, 1990. – 304 с.

2. Ремонт электрооборудования промышленных предприятий: учеб. для ПТУ / В. Б. Атабеков, 5-е изд., испр. - Москва: Высшая школа, 1985. - 175с.

3. Система технического обслуживания и ремонта оборудования энергохозяйств промышленных предприятий (система Топ ЭО) / Н. А. Афанасьев, М. А. Юсипов. - Москва: Энергоатомиздат, 1989. - 527 с.

Локальный электронный методический материал

Илья Евгеньевич Кажекин

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Редактор И. Голубева

Уч.-изд. л. 2,3. Печ. л. 2,1.

Издательство федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Калининградский государственный технический университет».
236022, Калининград, Советский проспект, 1