

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

«Воронежский государственный технический университет»

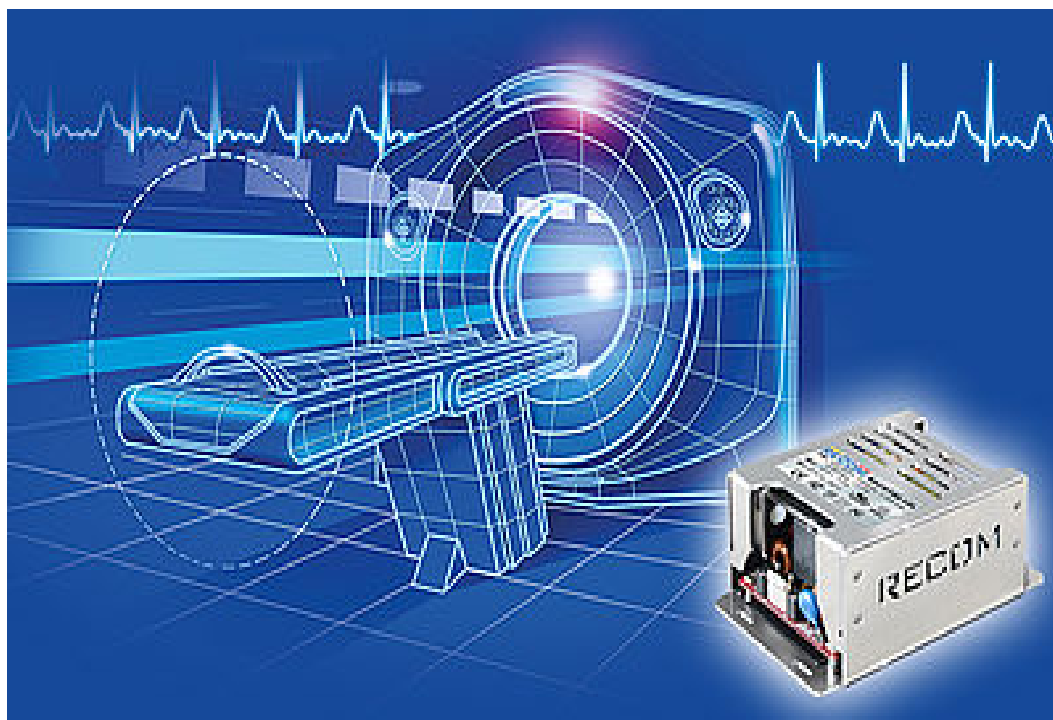
Строительно-политехнический колледж

228-2023

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА БЛОКОВ ПИТАНИЯ
И АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ:
ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ для студентов специальностей
12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт биотехнических
и медицинских аппаратов и систем» и 12.02.06 «Биотехнические
и медицинские аппараты и системы»
очной формы обучения



Воронеж 2023

УДК 621.38(07)
ББК 32.85я7

Составители:

И. М. Винокурова, О. В. Горожанкина, Л. О. Солощенко

Техническая диагностика блоков питания и аналоговых систем: основы технической диагностики: методические указания к выполнению практических работ для студентов специальностей 12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт биотехнических и медицинских аппаратов и систем» и 12.02.06 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы» очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост.: И. М. Винокурова, О. В. Горожанкина, Л. О. Солощенко. — Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2023. — 48 с.

Методические указания разработаны с целью организации процессов подготовки практического обучения для оказания методической помощи студентам при изучении теоретического материала по курсу «Техническая диагностика блоков питания и аналоговых систем» с целью полного освоения материала и успешного выполнения заданий.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям 12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт биотехнических и медицинских аппаратов и систем» и 12.02.06 «Биотехнические и медицинские аппараты и системы» очной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде и содержатся в файле МУ_КПР_ТДБПиАУ_2023.pdf

Ил. 19. Табл. 3. Библиогр.: 20 назв.

УДК 621.38(07)
ББК 32.85я7

Рецензент — *В. А. Небольсин, д-р техн. наук,
зав. кафедрой твердотельной электроники ВГТУ*

*Издается по решению редакционно-издательского совета
Воронежского государственного технического университета*

ВВЕДЕНИЕ

Область применения источников питания обширна и связана с электроникой и радиотехникой. Каждая автоматизированная испытательная система, проверяющая радиотехнические устройства и радиоаппаратуру — начинаются с лабораторного стабилизированного источника питания.

Лабораторный источник питания — это электронное устройство, которое формирует и регулирует напряжение и ток, а при изменении напряжения питающей сети и сопротивления нагрузки, поддерживает заданные значения с высокой точностью. Один из видов источников вторичного электропитания (ИВЭП). Прибор оборудован экраном, кнопками, индикаторами, потенциометрами регулирования, защитными функциями от ошибочного включения и неправильного применения [1-19].

Разберем детально классификацию, конструктивные особенности, основные режимы и возможности блоков питания с регулировкой тока и напряжения. Рассмотрим самые частые вопросы, возникающие при выборе оптимального лабораторного блока питания (ЛБП), который должен снабжать оборудование чистым и стабильным питанием изо дня в день.

Абсолютно все лабораторные БП характеризуются по следующим признакам:

1. По принципу действия: бывают линейные (трансформаторные) или импульсные.
2. По границам изменения тока и напряжения: бывают фиксированные или с выбором пределов мощности в автоматическом режиме.
3. По числу действующих каналов: многоканальные и одноканальные приборы.
4. По изоляции выходных каналов: неизолированные и с гальванической изоляцией.
5. По значению мощности.
6. По имеющейся защитной функции.
7. По постоянному или переменному току и напряжению на выходе.
8. По способам управления: с ручным, комбинированным или программным управлением.
9. По добавочным возможностям: изменение выхода определенных величин, компенсация падения напряжения в проводах присоединения, активация по времени и прочее.
10. По степени надежности устройства: качество элементной базы, достоверный контроль параметров на выходе.

Удобная эргономика и современный дизайн.

Источники питания применяются как для повседневных задач радиолюбителя, так и для точных производственных испытаний и измерений.

1. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

1.1 Основные понятия, термины и определения

В технической диагностике используются понятия, термины и определения, значения которых установлены ГОСТами [ГОСТ 20911-89, ГОСТ 27.002-89, ГОСТ 27518-87]. Имеется ряд терминов и понятий, которые не вошли в ГОСТы, но используются в научно-технической литературе [2, 5, 10, 19], остановимся наиболее употребляемые термины и определения.

Техническая диагностика (ТД) — область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объекта.

В этом определении ключевым понятием является понятие «техническое состояние». В соответствии с новой редакцией ГОСТа 20911 это понятие определяется следующим образом.

Техническое состояние (ТС) объекта — это состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды, значением параметров, установленных технической документацией на объект.

Недостатком этого определения является то, что понятие «состояние» определяется через одноименное понятие. Поэтому целесообразно напомнить определение ТС, которое дается в старой редакции этого ГОСТа.

Техническое состояние объекта — совокупность подверженных изменению в процессе производства или эксплуатации свойств объекта, характеризующаяся в определенный момент времени параметрами, установленными технической документацией на этот объект.

Процесс определения технического состояния объекта авиационной техники называется **техническим диагностированием** или просто **диагностированием**.

В зависимости от того, для какого времени проводится диагностирование, различают три типа диагностических задач.

Первый тип это задачи определения технического состояния объекта в данный момент времени, которые называются **задачами диагностирования**.

Второй тип это задачи предсказания технического состояния, в котором окажется объект в некоторый будущий момент времени — **задачи прогнозирования**.

Третий тип это задачи определения технического состояния, в котором находился объект в некоторый момент времени в прошлом — **задачи генезиса**.

Первый тип задач важен при выполнении технического обслуживания и принятии решения о дальнейшей эксплуатации. Второй тип задач важен для предсказания (прогнозирования) остаточного ресурса. Третий тип — для расследования авиационных происшествий.

Объект технического диагностирования это изделие и (или) его составные части подлежащие (подвергаемые) диагностированию. То есть имеется материальный объект, у которого определяется техническое состояние и, в ре-

зультате, устанавливается **технический диагноз**. Для постановки диагноза необходимо оценить соответствие параметров состояния требованиям нормативно-технической документации.

Параметр состояния это величина, количественно характеризующая одно из основных свойств объекта или процесса, протекающего в объекте. В качестве параметров состояния могут приниматься масса, коэффициент трения, геометрические размеры, зазоры, электрическое сопротивление и т. п. Эти параметры еще называют **первичными**. Часто на практике невозможно произвести непосредственную оценку (измерение) параметров состояния.

В технической диагностике вводится понятие **диагностических параметров (ДП)**, под которыми понимаются параметры объекта, используемые в процессе диагностирования. В качестве ДП могут использоваться как параметры технического состояния (первичные), так и параметры, которые характеризуют различные процессы, протекающие в объекте диагностирования, и лишь косвенным образом связанные с параметрами состояния. Последние в технической литературе иногда называют **вторичными** параметрами.

Таким образом, оценка технического состояния выполняется на основе информации о величинах диагностических параметров. Следовательно, должна быть известна связь между диагностическими параметрами и параметрами состояния. Указанная связь устанавливается с помощью, так называемых математических (диагностических) моделей.

Математическая модель — формализованное описание объекта, необходимое для решения задач диагностирования.

Математическое описание (модель) объекта диагностирования может быть выполнена как с использованием диагностических параметров, так и с использованием диагностических признаков. Отличие этих двух понятий заключается в следующем. Диагностические признаки формируются (выбираются) на основе диагностических параметров, они образуют дискретное множество, а появление их конкретных значений непосредственно связано с нахождением объекта диагностики в соответствующем классе технического состояния (диагнозе). Например, пусть диагностический параметр выражает температуру газов за турбиной авиационного двигателя. Распределение этого параметра непрерывно. Пусть определены три класса технического состояния двигателя, которые характеризуются соответственно пониженной ($< 450\text{ }^{\circ}\text{C}$), нормальной ($450 - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$) и повышенной ($> 600\text{ }^{\circ}\text{C}$) температурой. Попадание значения температуры газов в один из этих интервалов и есть появление диагностического признака, соответствующего двигателю с пониженной, нормальной или повышенной температурой. Отметим, что принципиальных отличий при описании объекта с помощью параметров или признаков нет.

Назначение **математических (диагностических) моделей (ММ)** не только в установлении связи между параметрами состояния и диагностическими параметрами. **ММ** позволяют составлять алгоритмы технического диагностирования и выбирать диагностическое обеспечение.

Алгоритм ТД — совокупность предписаний, определяющих последовательность действий при проведении диагностирования.

Диагностическим обеспечением (ДО) называется комплекс взаимосвязанных правил, методов, алгоритмов и средств, необходимых для осуществления диагностирования на всех этапах жизненного цикла изделия.

Задачи диагностирования, на заключительном этапе, неразрывно связаны с **задачами классификации**, поскольку по имеющейся информации необходимо установить диагноз, то есть указать класс технического состояния, к которому относится наш объект диагностирования. Для классификации необходимо знать классы (диагнозы), которые устанавливаются до начала диагностирования на основе анализа самого объекта, его функций и отказов, возникающих в нем. В принципе, количество классов может быть бесконечно. Но существуют достаточно общие принципы классификации, известные из теории надежности. В теории надежности введены понятия для четырех видов технического состояния:

- | | |
|----------------------|------------------------|
| 1 — работоспособное; | 2 — неработоспособное; |
| 3 — исправное; | 4 — неисправное. |

В технической диагностике вводится понятие о еще двух видах технического состояния [10, 19]:

- 5 — состояние правильного функционирования;
- 6 — состояние неправильного функционирования.

Состояние правильного функционирования — означает, что объект в текущий момент времени выполняет предписанный ему алгоритм функционирования.

Состояние неправильного функционирования — означает, что объект в текущий момент времени не выполняет предписанный ему алгоритм функционирования.

Если в результате процесса диагностирования определяется один из шести видов ТС, то такая операция называется операцией контроля ТС.

Контроль ТС — это проверка соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации и определение на этой основе одного из заданных видов технического состояния. Например, если в результате оценки технического состояния делается заключение о том, что объект неисправен.

Термин **техническое диагностирование** применяется тогда, когда основной задачей процесса диагностирования является поиск места и определения причины отказа, неисправности или неправильного функционирования.

Существует еще ряд терминов, о которых следует упомянуть.

Метод контроля (диагностики) — правила применения к объекту контроля (диагностики) определенных принципов и средств контроля (диагностики). Выбор метода контроля или диагностики базируется на анализе физических особенностей протекания рабочих процессов и развития неисправностей в диагностируемом объекте.

Средства технической диагностики (контроля) — аппаратура и программное обеспечение, с помощью которых осуществляется определение величины диагностических параметров, их обработка и разделение объектов на классы.

Система технической диагностики (контроля) — совокупность средств, объекта и исполнителей, необходимая для проведения диагностирования (контроля) по правилам, установленным в нормативно-технической документации.

Существует **тестовое ТД** — это диагностирование, при котором на объект подается тестовое воздействие.

Рабочее (**функциональное**) **ТД** — это диагностирование, когда на объект подается только рабочее воздействие, то есть диагностирование осуществляется в процессе непосредственного использования объекта по назначению.

1.2. Место и роль технической диагностики в системе технической эксплуатации медицинской техники

В технической эксплуатации авиационной техники существует такое понятие как стратегия технического обслуживания (ТО). В соответствии с выбранной стратегией ТО определяются принципы и правила назначения сроков и объемов ТО.

В соответствии с действующей нормативно технической документацией различают следующие стратегии:

1. ТО по наработке, при котором перечень и периодичность выполнения операций по обслуживанию определяется значением наработки изделия.

2. ТО по состоянию, при котором перечень и периодичность выполнения операций по обслуживанию определяется фактическим техническим состоянием изделия. Различают ТО по состоянию с контролем параметров и ТО по состоянию с контролем уровня надежности.

Реализация любой стратегии предполагает использование систем контроля и диагностирования. При ТО по наработке параметром, который необходимо контролировать, является наработка. То есть требуются счетчики наработки.

Кроме того, при периодическом ТО, выполняемом в соответствии с данной стратегией через определенные интервалы времени, проводится дефектация элементов и систем авиационной техники. Дефектация проводится с помощью средств ТД.

При ТО с контролем параметров нужны средства измерения параметров и оценки их соответствия нормативным значениям. То есть в этом случае напрямую используются подходы, характерные для технической диагностики.

При **ТО** с контролем уровня надежности необходим первичный материал об отказах для расчета характеристик надежности. Этот материал невозможно получить без регулярного диагностирования технического состояния.

Системы контроля и диагностики в современных условиях являются неотъемлемой частью технической эксплуатации медицинской техники. Поэтому в разработанных в настоящее время сертификационных требованиях к органи-

зациям, занимающимся технической эксплуатацией и ремонтом авиационной техники, указывается на необходимость наличия в их составе подразделения, занимающегося технической диагностикой.

Кроме того, эффективность **ТО** напрямую зависит от эффективности систем контроля и диагностирования. Известно, что 90 % времени при **ТО** занимает процесс обнаружения неисправностей. Чем выше эффективность средств диагностики, тем быстрее проводится **ТО**, тем больше можно обеспечить годовой налет. Таким образом, техническая диагностика является важнейшей составляющей системы технической эксплуатации современных воздушных судов.

Средствами технической диагностики и контроля, на всех этапах эксплуатации авиационной техники (при оперативном **ТО**, при периодическом **ТО**, при расследовании нештатных происшествий и др.) решаются следующие представленные задачи (рис. 1).

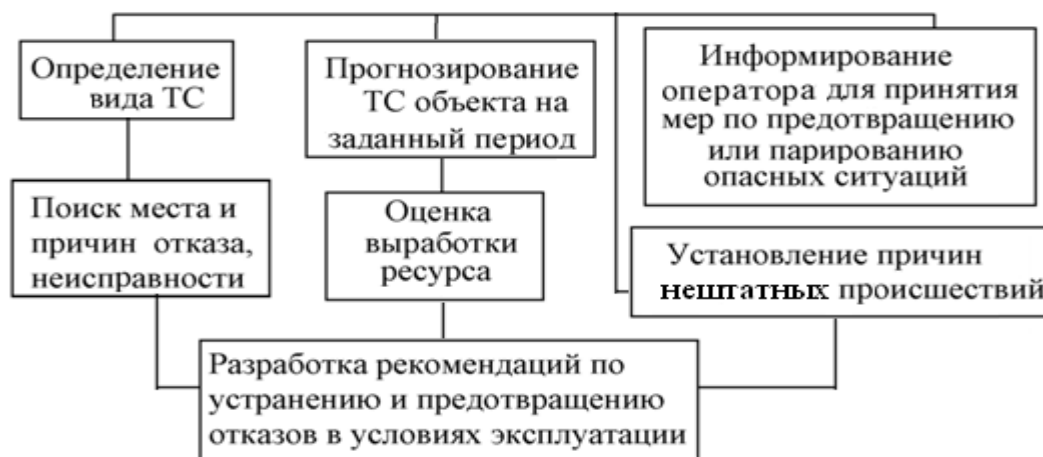


Рис. 1. Эксплуатационные задачи технической диагностики

Внедрение в практику систем технической диагностики и контроля позволяет получить как технико-экономический, так и социальный эффекты.

Технико-экономический эффект достигается за счет:

- сокращения трудоемкости и времени на **ТО** за счет более быстрого выявления изделий требующих замены или ремонта;
- обнаружения развивающихся неисправностей, запрещение к работе с такими неисправностями, что направлено на предотвращение временных простоев;
- более полного использования ресурса каждого изделий в следствии регулярной оценки его фактического состояния и возможности применения методов эксплуатации по состоянию.

Социальный эффект достигается за счет:

- повышением безопасности работы оборудования;
- повышением регулярности работы оборудования;
- внедрением систем контроля и диагностики способствуют повышению квалификации оборудования.

Внедрение систем контроля и диагностики способствует повышению общей культуры технической эксплуатации, поскольку это внедрение требует выполнения ряда условий.

Во-первых, авиационная техника должна обладать достаточной **контролепригодностью** [10, 19]. Под **контролепригодностью** понимается свойство изделия АТ, характеризующее его приспособленность к измерению параметров самого изделия и его составных частей с целью решения задач контроля и диагностики технического состояния (МТ).

Следующим условием внедрения систем контроля и диагностики является наличие методик и алгоритмов, включающие указания на периодичность контроля, данные о предельных значениях параметров, а также об алгоритмах принятия решения по эксплуатации АТ в соответствии с результатами контроля и диагностики.

Необходимым условием внедрения систем контроля является также налаженное производство средств диагностики и контроля, обеспеченность эксплуатационных предприятий этими средствами и соответствующей документацией.

Важнейшим условием внедрения является наличие в эксплуатирующих предприятиях подготовленных кадров.

Учитывая важность и актуальность задач, стоящих перед системами контроля и диагностики, сложность их внедрения, к этим системам предъявляется ряд специфических требований [19]:

1. Комплектность:

— система контроля и диагностирования должна охватывать как можно большее количество систем МТ;

— система должна обеспечивать одновременное выполнение функций, связанных с формированием решений по ТО, с выдачей команд экипажу, с обменом информацией с наземными средствами и с использованием при расследовании нештатных происшествий.

2. Возможность адаптации к различным типам блоков питания и к их модификациям.

3. Автоматизация обработки информации.

4. Возможность накопления и хранения информации.

5. Наличие собственного автоматизированного контроля этих систем.

Процесс внедрения систем диагностики от постановки задачи и до получения первых результатов практического использования можно разбить на три этапа:

I — этап физического анализа;

II — этап математического анализа;

III — этап технической реализации.

Каждый из этапов имеет свою специфику.

Физический этап предполагает знание объекта и физической сущности процессов, протекающих в нем.

Математический этап требует знания формализованных методов построения диагностических моделей, формирования диагностических признаков, разработки алгоритмов классификации технических состояний.

Этап технической реализации (технический этап) требует выбора аппаратных и методических решений.

Перечень наиболее характерных для каждого этапа задач представлен в табл. 1.

Таблица 1

Общая схема решения задач ТД

I. Физический этап	1. Определение объекта контроля и диагностики. 2. Анализ существующих и возможных отказов и неисправностей. 3. Классификация отказов и неисправностей по степени опасности. 4. Определение отказов и неисправностей, подлежащих диагностированию. 5. Составление логической или словесной модели, устанавливающей связь отказов с параметрами изделия. 6. Определение диагностических параметров, подлежащих измерению. 7. Выбор метод диагностирования по его физической сущности. 8. Определение контролепригодности изделия.
II. Математический	1. Разработка диагностической модели, устанавливающей связь между параметрами технического состояния и измеряемыми диагностическими параметрами. 2. Выбор или разработка диагностических признаков. 3. Разработка методик и алгоритмов диагностирования (классификации). 4. Разработка требований к диагностической и контрольной аппаратуре.
III. Технический	1. Выбор или создание средств ТД и контроля. 2. Разработка метрологического, методического и информационного обеспечения системы ТД.

Несмотря на различие эти три этапа существенно зависят друг от друга. Весь ход решения диагностической задача определяется физической сущность объекта и выбором метода диагностики.

В настоящее время для оценки технического состояния медицинской техники используется широкий спектр методов диагностики. Эти методы весьма разнообразны и сильно отличаются друг от друга физической сущностью и своими характеристиками. Знакомство с методами диагностики будем проводить с учетом существующей в настоящее время системой их классификации.

1.3. Общие сведения о методах диагностики и их классификация

Классификация методов диагностики проводится на основе различных принципов [5, 10, 14, 19]. О некоторых из них говорилось выше. Например, при классификации по глубине выявления отказа или неисправности различают контроль технического состояния (работоспособности) и диагностирование (поиск места и причины неисправности). При классификации по воздействию на объект различают тестовое и функциональное (рабочее) диагностирование.

В зависимости от физической природы диагностических параметров и способа их измерения различают физические и параметрические методы диагностирования [19].

Физические методы основаны на использовании различных физических явлений, сопутствующих работоспособному или неработоспособному состоянию объекта.

Физические методы различают на две группы:

1. Диагностирование и контроль объектов в нерабочем состоянии. С помощью этих методов, как правило, обнаруживают наличие или отсутствие скрытых механических повреждений и дефектов (например: сквозных и несквозных микротрещин, внутренних раковин, надломов и т. д.) в материалах, из которых изготовлены объекты. Эти методы в силу своей специфики еще называют **методами неразрушающего контроля** (МНК).

2. Диагностирование и контроль объектов в рабочем состоянии. Они основаны на анализе характеристик (параметров) физических явлений, сопровождающих работу механизма, но не связанных напрямую с его функциональным назначением. Эти методы обеспечивают, например, выявление повреждений и износов в сопряжениях подвижных деталей механизмов.

Обзор методов диагностирования начнем с физических методов неразрушающего контроля, поскольку эти методы наиболее широко используются в эксплуатации медицинской техники [3, 15, 19].

Дадим краткую характеристику этим методам.

Оптико-визуальный метод контроля основан на применении оптических приборов для осмотра наружных и внутренних поверхностей деталей и агрегатов.

Этим методом обнаруживают следующие дефекты: коррозия, раковины, трещины, вмятины, местный наклеп, подгары, окисления, электронная эрозия деталей электрических узлов и т.д. Техническими средствами, которые используются для реализации этого метода являются:

- оптические лупы (налобные, телескопические, обзорные);
- механические управляемые зеркала (с изменяемым углом наклона);
- механические эндоскопы (жесткие и гибкие).

С помощью эндоскопов производится осмотр внутренних поверхностей емкостей, трубопроводов, проточной части авиационных двигателей.

Упомянутые выше **параметрические методы** основаны на измерении диагностических параметров, которые напрямую связаны с функциональным назначением объекта (например: температура газов за турбиной, давление мас-

ла, КПД и т. п.). Эти методы также могут быть, как тестовые, так и функциональные.

Чаще всего параметрические методы применяются к работающим объектам. При этом измеряемые параметры напрямую связаны с функциональным назначением диагностируемого объекта, а в ряде случаев непосредственно характеризует его техническое состояние. Параметрические методы наиболее широко применяются при диагностировании механического, гидравлического и электрического оборудования и поэтому они достаточно полно отражены в литературе [1, 8, 10, 12, 17, 18, 19].

В параметрических методах часто используется понятие **определяющий параметр** [8]. В случае, если техническое состояние объекта диагностируется по небольшому количеству параметров (чаще всего по одному) и эти параметры являются параметрами технического состояния или непосредственно с ними связаны, то такие параметры называются **определяющими**. Если диагностирование и контроль ведется на основе измерения и преобразования функциональных определяющих параметров, то алгоритм принятия решения о техническом состоянии (решающее правило) может оказаться весьма простым.

Приведём некоторые примеры.

Контроль по допуску на определяющий параметр

Пусть имеется объект, на вход которого подается воздействие x . Техническое состояние объекта описывается внутренним параметром z . Выходным или диагностическим параметром является y . Пусть нормативно-технической документацией установлены нормативные значения на параметр технического состояния z_0 , на диагностический параметр y_0 и соответствующие допуски Δz_0 и Δy_0 . Тогда схему контроля по допуску на определяющий параметр можно представить следующим образом (рис. 2).

По такой схеме чаще всего контролируются устройства, у которых возможно непосредственное измерение внутренних параметров z (параметров технического состояния), а измеряемые выходные (диагностические) параметры y в явном виде характеризуют техническое состояние объекта.

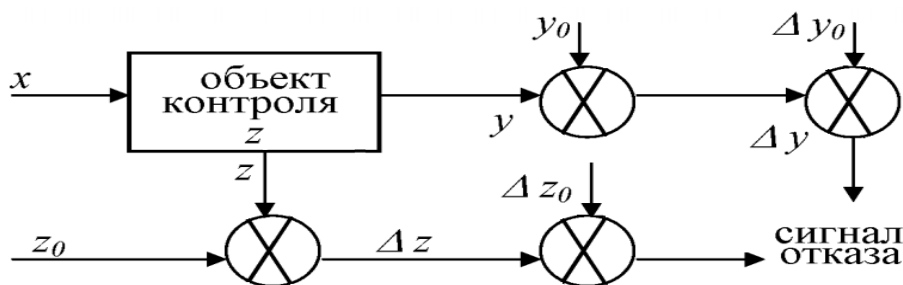


Рис. 2. Схема контроля по допуску на определяющий параметр

При этом вычисляют разницу между измеренным значением параметра и нормативным значением. Полученную разницу сравнивают с допуском. Сигнал отказа формируется в случае если полученная разница превышает величину допуска, то есть если $|z - z_0| = \Delta z > \Delta z_0$ или $|y - y_0| = \Delta y > \Delta y_0$.

В этой схеме контроля основная проблема связана с установлением величин допусков. Возможно установление нескольких значений допусков.

Контроль двух параллельно работающих элементов

Метод контроля по допуску на определяющий параметр в упрощенном виде можно распространить для контроля двух параллельно работающих взаимно резервируемых объектов. Сравнению подлежат выходные параметры y_1 и y_2 объектов (рис. 3). Разность этих параметров сравнивается с допуском Δy_0 . Если $|\Delta y| - |\Delta y_0| > 0$, то выдается сигнал отказа.

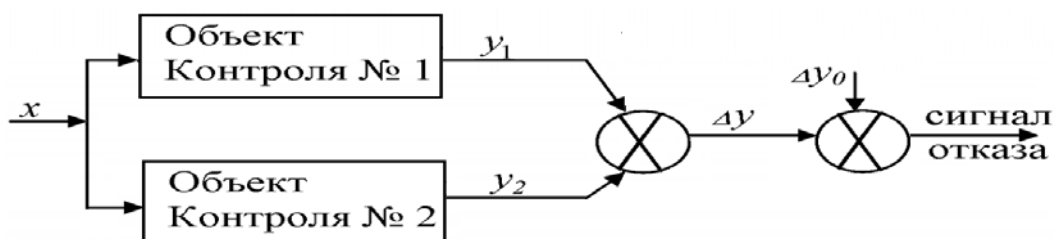


Рис. 3. Схема контроля взаимно резервируемых объектов

Этот метод можно расширить, если в качестве второго объекта использовать физическую модель, которая моделирует передаточную функцию контролируемой части объекта. Кроме того, данный подход можно использовать и для проведения текстового диагностирования, если на вход диагностируемого объекта и модели подавать текстовое воздействие.

Контроль одинаковых объектов, работающих параллельно

На современном оборудовании широкое распространение имеет многократное резервирование наиболее ответственных агрегатов. Например, при работе трех объектов, работающих параллельно. Выходной сигнал каждого канала является средним значением сигналов всех трех. Для получения среднего значения используется схема кворум элемента (рис. 4)

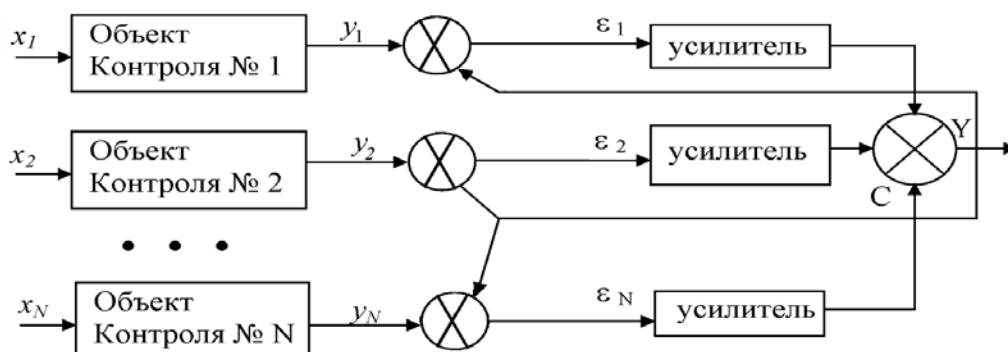


Рис. 4. Контроль параллельно работающих объектов на основе схемы кворум элемента

Капиллярные методы предназначены для обнаружения поверхностных дефектов и основаны на проникновении специальных индикаторных жидкостей

в несплошности объектов контроля (трубопроводы, корпусные детали, лопатки компрессоров и турбин авиационных двигателей и т. п.). Сущность метода заключается в следующем:

- контролируемая поверхность детали очищается от покрытий или загрязнения и обезжиривается;
- на обработанную поверхность наносят слой индикаторной жидкости, которая проникает в полость дефекта;
- через некоторое время избыток индикаторной жидкости удаляется;
- на поверхность наносят специальный проявитель;
- проявитель обладает свойством вытягивать индикаторную жидкость из полости дефекта (индикаторная жидкость сорбируется проявителем);
- в результате на поверхности возникает рисунок дефекта.

В зависимости от применяемой индикаторной жидкости или проявителя повреждение видно невооруженным глазом или под воздействием ультрафиолетового излучения.

Метод обеспечивает обнаружение поверхностных трещин глубиной от 0,01 мм и шириной раскрытия от 0,001 мм.

Метод **магнитного контроля** применяется для обнаружения повреждений в деталях из ферромагнитных сплавов. Это наиболее распространенный метод, суть которого в следующем. Деталь, которая подвергается дефектации, намагничивается. Если на пути магнитных силовых линий детали имеется дефект (трещина, раковина, немагнитное включение), то в этом месте силовые линии искривятся, огибая место дефекта. На поверхности детали создаются локальные магнитные полюса с соответствующими полями рассеивания. Это локальное рассеивание магнитного поля над дефектом можно обнаружить с помощью магнитного порошка. Искривление магнитных силовых линий вызывает соответствующую концентрацию порошка в месте расположения дефекта. При этом образуется рисунок дефекта — магнитограмма. Метод позволяет выявить трещину глубиной от 0,005 мм и шириной раскрытия от 0,0001 мм.

Метод **вихревых токов** позволяет обнаружить повреждение в деталях из магнитных и немагнитных токопроводящих материалов. Повреждения могут обнаруживаться под слоем окислов и лакокрасочных покрытий. Глубина расположения дефекта (трещин, пустот, неметаллических включений) 1 – 3 мм.

Физическая сущность метода состоит в изменении характера распределения вихревых токов в контролируемом объекте в зависимости от его сплошности. На контролируемый участок поверхности детали изделия воздействуют переменным магнитным полем. Источником этого поля является катушка, помещенная в измерительную головку и питаемая током высокой частоты. Под действием этого поля в детали возникают вихревые токи, образующие свое магнитное поле. В результате суммарный магнитный поток (Φ_{Σ}) получается как разность магнитных потоков, создаваемых соответственно измерительной головкой ($\Phi_{и.г.}$) и вихревыми токами ($\Phi_{в.т.}$)

$$\Phi_{\Sigma} = \Phi_{и.г.} + \Phi_{в.т.}$$

Логические методы контроля (знаковые).

Если объект контроля обладает линейной функцией преобразования входного сигнала в выходной, то знак приращения определяющего выходного параметра должен совпадать со знаком приращения входного параметра. В этом случае применяется правило знаков:

- если отклонение $+\Delta x$ ($-\Delta x$) вызывает появление отклонения $+\Delta y$ ($-\Delta y$), то объект исправен;
- если отклонение $-\Delta x$ ($+\Delta x$) вызывает появление отклонения $+\Delta y$ ($-\Delta y$), то объект неисправен.

Приведенные выше методы применимы в простейших случаях, когда можно выделять определенные параметры диагностирования. Если количество диагностируемых параметров велико и их связь с параметрами технического состояния не явна, то такие методы не применимы. В этих случаях решение задач диагностики требует создания специальных математических (диагностических) моделей.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

2.1. Виды систем технической диагностики

Понятия «техническая диагностика» и «контроль технического состояния» определяются согласно ГОСТ. Объект диагноза (ОД) представляют в виде устройства (рис. 5), имеющего входы и доступные для наблюдения выходы. Процесс диагноза представляет собой последовательность операций, каждая из которых предусматривает подачу на входы объекта некоторого воздействия и определения на выходах реакции на это воздействие. Такую элементарную операцию называют проверкой **р**. В качестве выходов наблюдения могут служить основные или рабочие выходы системы, а также и дополнительные (контрольные) выходы.

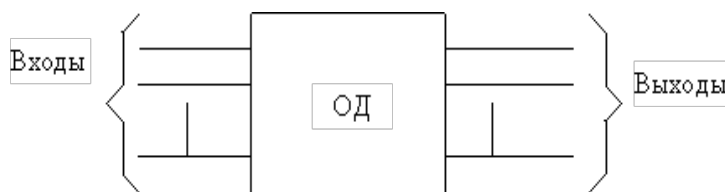


Рис. 5. Объект диагноза

Совокупность проверок, позволяющую решать какую-либо из задач диагноза, называют тестом: $T = p_1, p_2, \dots, p_n$. под длиной теста L понимают число входящих в него проверок.

По назначению тесты делят на проверяющие и диагностические. Проверяющий тест T_n - это совокупность проверок, позволяющая обнаружить в системе любую неисправность из заданного списка (множества). Проверяющий

тест решает задачи проверки работоспособности (в список включают только те неисправности, которые приводят к отказу системы).

Диагностический тест **ТД** — это совокупность проверок, позволяющая указать место неисправности с точностью до классов эквивалентных неисправностей. Он позволяет решать задачу поиска неисправностей.

С помощью теста строят процедуру диагноза, в основе которой лежит алгоритм диагноза, представляющий собой последовательность элементарных проверок, составляющих тест, и правила анализа результатов этих проверок. Алгоритм диагноза реализуется специальными устройствами, называемыми средствами диагноза. Взаимодействующие между собой объект диагноза и средства диагноза образуют систему диагноза.

В общем случае процесс диагноза представляет собой многократную подачу на объект определенных входных воздействий и многократное измерение и анализ ответов (выходных сигналов) на эти воздействия, которые могут поступать на входы объекта от средств диагноза или являться внешними (рабочими) сигналами, определяемыми рабочим алгоритмом функционирования устройства. Измерение и анализ ответов объекта всегда осуществляется средствами диагноза.

Системы технической диагностики, по своему функциональному назначению, подразделяются на два вида:

1. **Тестовые.** К ним относятся стационарные системы технической диагностики **СТД**, устанавливаемые, как правило, в специализированных помещениях, например, ремонтно-технологических участках, контрольно-измерительных пунктах (рис. 6, а) и т. д.

2. **Функциональные.** Это, как правило, встроенные системы технической диагностики, контролирующие правильность работы аппаратуры ЖАТ (рис. 6, б).

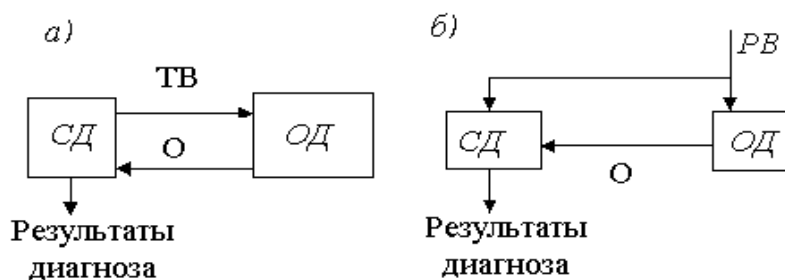


Рис. 6. Система тестового (а) и функционального (б) диагнозов

Система тестового диагноза предусматривает взаимодействие между средствами диагноза **СД** и объектом диагноза **ОД** (рис. 6, а). Тестовые воздействия **ТВ** на **ОД** поступают только от **СД**. Поэтому как состав, так и последовательность подачи этих воздействий можно выбирать исходя из условий эффективности организации процесса диагноза. При этом каждое очередное воздействие можно назначать в зависимости от ответов **О** объекта на предыдущие воздействия. Воздействия в такой системе называют тестовыми.

В системе функционального диагноза (рис. 6, б) СД не формирует воздействий на ОД. На ОД и СД поступают только рабочие воздействия **РВ**, предусмотренные рабочим алгоритмом функционирования объекта. Система диагноза работает в процессе рабочего функционирования и поиска неисправностей, нарушающих нормальное функционирование.

В функциональной схеме системы тестового диагноза (рис. 7, а) блок управления **БУ** служит для хранения алгоритма диагноза и управления работой средств диагноза. Источник воздействия (**ИВ**) вырабатывает воздействия **а_ж** элементарных проверок, входящих в тест, и в соответствии с алгоритмом диагноза в определенной последовательности подает их через устройство связи (**УС**) на объект диагноза (**ОД**), а также на модель объекта диагноза (**МОД**).

Блок **МОД** вырабатывает информацию о возможных технических состояниях объекта в виде возможных результатов **б_ж*** элементарных проверок, входящих в тест. Объект диагноза в ответ на воздействия **а_ж** формирует фактические результаты **б_ж** элементарных проверок, которые через устройство связи **УС** и измерительное устройство **ИУ** поступают на вход блока расшифровки результатов **БРР**. В этом блоке сравниваются результаты элементарных проверок, снимаемых с выходов **ОД** и формируемых **МОД**. Результат сравнения запоминается в **БРР**, после чего **БУ** назначает очередную элементарную проверку, входящую в тест. Если назначение очередной проверки зависит от результата предыдущей, то между блоками **БРР** и **БУ** устанавливается прямая связь (показана штриховой линией).

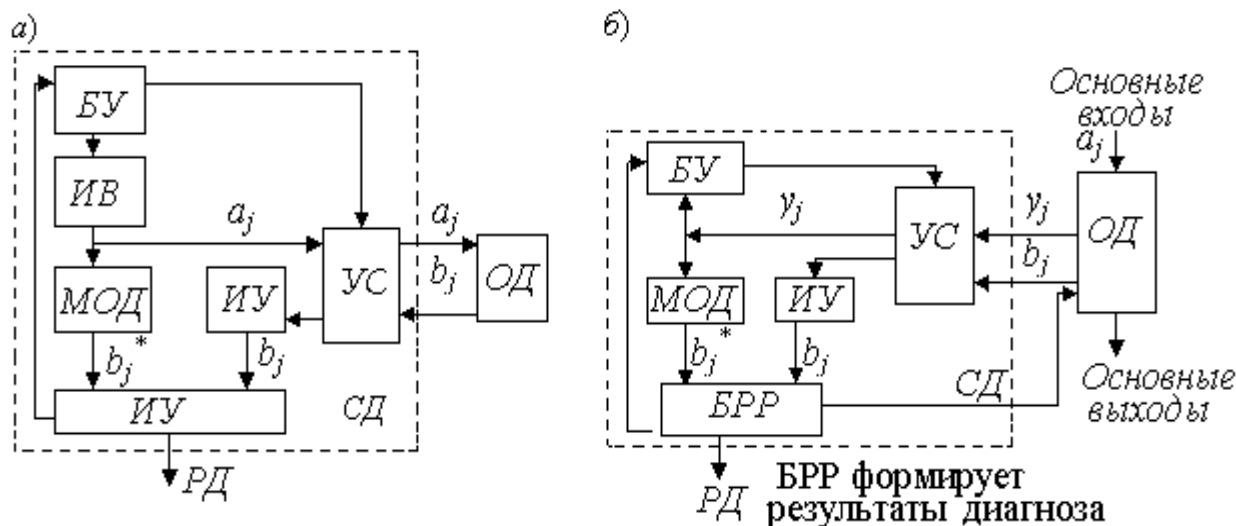


Рис. 7. Схемы систем тестового (а) и функционального (б) диагнозов

В функциональной схеме системы функционального диагноза (рис. 7, б) рабочие воздействия **а_ж** поступают на основные входы объекта **ОД**, с которого снимаются сигналы **у_ж** управления средствами **УС** диагноза и сигналы **б_ж** ответов **ОД** на воздействия **а_ж**. Сигналы **у_ж** управляют блоками **БУ** и **МОД** в зависимости от режима работы объекта, при этом на входы **МОД** поступают воздействия **а_ж**. Между блоками **БРР** и **ОД** устанавливается прямая связь, если на сис-

тему диагноза возлагается защита объекта управления от неправильного воздействия со стороны ОД при его повреждениях.

В конечном итоге процедура диагноза сводится к сравнению работы идеального устройства (задается модель ОД) и реального исследуемого устройства. Число неисправностей в реальном устройстве, как правило, велико, поэтому процедура диагноза сложна и требует большого числа измерительных и вычислительных операций. Для проведения процедуры диагноза требуется решение основных задач: выбор и построение модели ОД, синтез теста, построение алгоритма диагноза, синтез и реализация средств диагноза.

2.2. Математические методы принятия решения в системах технической диагностики и контроля

Для диагностирования устройств ЖАТ используют два основных метода: комбинационный и последовательный.

При комбинационном методе на определенные входы объекта подают соответствующие электрические сигналы с последующей регистрацией характера выходных сигналов. Сравнением полученных выходных сигналов с теми, которые должны быть, судят об исправности данного блока, узла или подсистемы. Такой метод применяется при проверке блоков на специальных стендах.

Последовательный метод используют при наличии факта отказа и неисправности. Различают такие разновидности этого метода как внешний осмотр, замена неисправных элементов и измерение параметров. Для наиболее рационального поиска и устранения неисправностей используют последовательный перебор, при котором поочередно проверяют все элементы схемы. Для оптимизации процесса проверки в качестве критерия наиболее рациональной последовательности проверок выбирают отношение

$$t_i/P_i,$$

где t_i — время необходимое для проверки и устранения неисправности;

P_i — вероятность возникновения данной неисправности.

Проверку начинают с минимального значения этого соотношения.

К последовательному относится и метод «средней точки», который имеет несколько разновидностей, различающихся по количеству элементов и вероятностям отказов. Суть его состоит в разделении всех элементов системы на группы. Каждая из групп последовательно делится на два по количеству элементов и, таким образом, локализуется место возникновения неисправности. Существуют и вероятностные подходы к реализации этих методов [19].

Анализ приведенных методов диагностирования показал неэффективность их применения к внедряемым на сети железных дорог усовершенствованным системам ЖАТ, реализованных на электронной элементной базе с использованием микропроцессоров.

Большинство систем строятся с использованием микропроцессоров, цифровых и аналоговых сборок. Высокая степень интеграции снижает достоверность и глубину оценки состояния устройства при помощи измерения парамет-

ров на доступных выводах, затрудняет определение степени влияния на диагностируемый модуль смежных с ним узлов. В силу огромного числа состояний дискретных устройств («проклятия размерности») невозможно произвести их полный перебор. Экспертная оценка электромехаников, выполняющих проверку, не всегда достоверна вследствие присутствия человеческого фактора, недостаточной квалификации. В связи с этим, для диагностики современных систем **ЖАТ** необходимо использовать самоорганизующиеся методы принятия решений.

Перспективным направлением для развития отвечающим этим требованиям **СТД**, является использование теории искусственных нейронных сетей (**ИНС**) и метода группового учета аргументов **МГУА** [13]. Анализ архитектур различных нейронных сетей и алгоритмов, применение которых целесообразно в системах диагностики и контроля **СЖАТ**, позволяет разбить их на следующие категории (рис. 8).

В иностранной литературе такое направление получило название «теория искусственных нейронных сетей» (Neural Networks Theory). Любая подобная структура может рассматриваться как направленный граф со взвешенными связями.

Одной из разновидностей многослойных **ИНС** является сеть, построенная на основе методики **МГУА** (метод группового учета аргументов). Существует несколько разновидностей таких структур. Нейронная сеть позволяет на основе обучающей выборки построить зависимость одного параметра от других в виде полинома и найти скрытые зависимости в данных. Важнейшим фактором в **процессе принятия решения** здесь является выбор класса опорных функций.

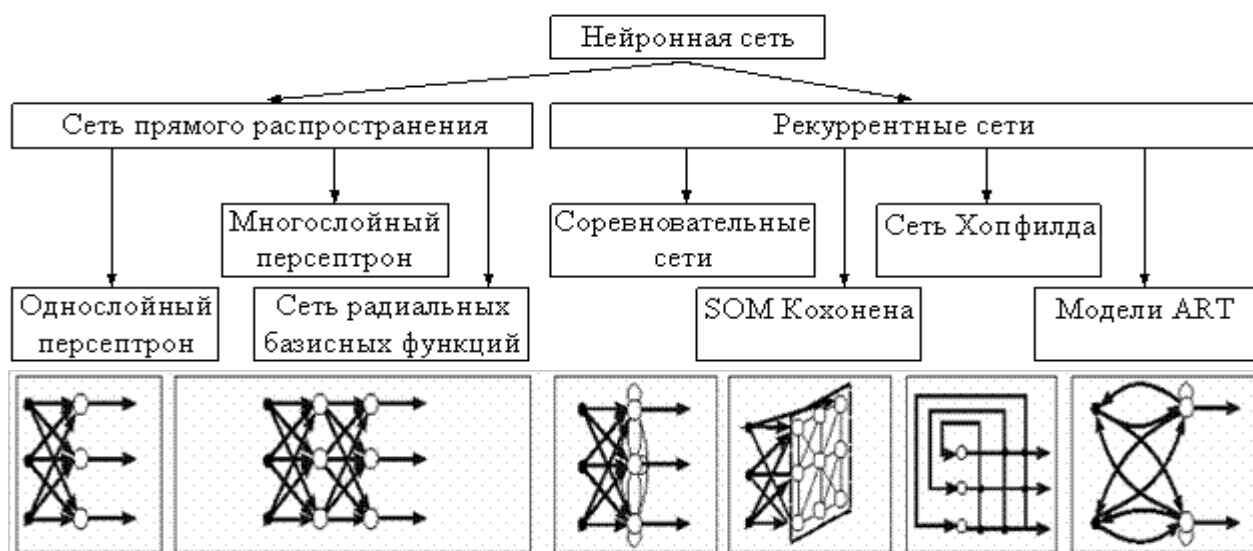


Рис. 8. Иерархия методов теории искусственных нейронных сетей

Существуют три парадигмы обучения: "с учителем", "без учителя" (самообучение) и смешанная. В первом случае нейронная сеть располагает правильными ответами (выходами сети) на каждый входной пример. Веса настраиваются так, чтобы сеть выдавала ответы как можно более близкие к известным правильным ответам. Усиленный вариант обучения с учителем предполагает,

что известна только критическая оценка правильности выхода нейронной сети, но не сами правильные значения выхода.

Обучение без учителя не требует знания правильных ответов на каждый пример обучающей выборки. В этом случае раскрывается внутренняя структура данных или корреляции между образцами в системе данных, что позволяет распределить образцы по категориям. При смешанном обучении часть весов определяется посредством обучения с учителем, в то время как остальная получается с помощью самообучения.

Известны четыре основных типа правил обучения: коррекция по ошибке, машина Больцмана, правило Хебба и обучение методом соревнования. При обучении с учителем для каждого входного примера задан желаемый выход d . Реальный выход сети u может не совпадать с желаемым. Принцип коррекции по ошибке при обучении состоит в использовании сигнала $(d-u)$ для модификации весов, обеспечивающей постепенное уменьшение ошибки. Обучение имеет место только в случае, когда персептрон ошибается. Известны различные модификации этого алгоритма обучения [15].

3. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ В ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ

3.1. Основные понятия

Решение задач технической диагностики требует анализа множества состояний, в которых объекты могут находиться в период эксплуатации, классификации этих состояний, выбора диагностических параметров и признаков, установления связи между конкретными значениями диагностических параметров (признаков) и конкретным техническим состоянием объекта, разработки решающего правила и алгоритма постановки диагноза. Решать эти задачи можно двумя путями: экспериментально или теоретически. Экспериментальный путь наиболее достоверен, поскольку в реальных условиях эксплуатации оценивается связь между диагностическими параметрами (признаками) и параметрами технического состояния. Следует отметить, что чисто экспериментальный путь решение задач диагностики невозможен.

Для решения указанных проблем теоретическим путем необходимо иметь **формализованное описание** связи между параметрами технического состояния и диагностическими параметрами или признаками, то есть необходимо разрабатывать **математические (диагностические) модели** диагностируемых объектов.

Формализованное описание (математическая модель) объекта диагностирования может быть представлено в различной форме [19]:

- в аналитической (в виде дифференциальных или алгебраических уравнений);
- в табличной форме (в виде таблицы состояний);
- в графической (в виде графов причинно-следственных связей);
- в форме логических соотношений и т. д.

Математические модели могут быть заданы в явном или неявном виде.

Явная модель объекта диагностирования включает в себя совокупность формализованных описаний всех оговоренных нормативной документацией технических состояний, которое подлежат диагностированию.

Неявная модель объекта технического диагностирования содержит формализованное описание одного технического состояния и правила получения описаний других технических состояний на основе заданного. Причем, чаще всего математическая (диагностическая) модель определяет исправное состояние.

Модели для других технических состояний получают на основе модели исправного состояния и правил, связывающих конкретную неисправность с параметрами технического состояния.

В общей постановке математическую модель объекта технической диагностики можно охарактеризовать следующим образом [19]. Пусть имеется объект, которого техническое состояние описывается внутренними параметрами Z . На вход объекта подаются внешние возмущения X (входные параметры). На выходе объекта наблюдается отклик в виде выходных (диагностических) параметров Y . В самом общем случае соотношение между указанными параметрами устанавливают вводя понятие **оператор объекта диагностирования** $A(\cdot)$. При этом математическая модель будет иметь следующий вид

$$Y = A(Z, X). \quad (1)$$

Вводя индексы i для разных состояний: 0 — исправное, i — i -тое неисправное состояние; и индексы j для различных внешних возмущений уравнение (1) можно переписать в виде системы уравнений

$$Y_0^j = A(Z_0, X_j); Y_i^j = A(Z_i, X_j), \quad (2)$$

где $i = 1..k$; $j = 1..m$.

Система уравнений (2) состоит из $k+1$ уравнений и представляет из себя явную математическую модель объекта диагностирования. Для упрощения записи внутренние параметры Z (параметры технического состояния) включают в оператор и систему уравнений (2) при любом внешнем возмущении X записывают в виде

$$Y_0 = A_0(X); Y_i = A_i(X), \quad (3)$$

Такой способ задания математической модели является весьма общим. Выбор конкретной формы оператора и есть выбор конкретной математической модели объекта диагностирования. Этот выбор зависит от физических свойств диагностируемого объекта, определяется условиями диагностической задачи и принятыми методами ее решения.

Объекты диагностирования в зависимости от своих свойств делятся на дискретные и непрерывные.

Объект считается непрерывным, если его оператор преобразует совокупность входных сигналов X , определенных на непрерывном (несчетном, континуальном) множестве, в совокупность выходных сигналов Y , принимающих значения на таких же множествах.

Объект считается дискретный, если он имеет оператор, который преобразует совокупность входных величин X , принимающих значение на конеч-

ных (счетных) множествах, в совокупность выходных величин Y , принимающих значения на таких же множествах.

Объект называется гибридным, если его оператор осуществляет преобразование непрерывного входного сигнала X в дискретный выходной сигнал Y или наоборот.

Для дискретных объектов разделение технических состояний, в которых он может находиться, на классы не представляет затруднений. Так как значения диагностических параметров и параметров технического состояния счетные, то счетные будут и количество классов технического состояния. Для непрерывных объектов при разделении технических состояний на классы возникают затруднения, связанные с непрерывностью диагностических параметров и бесконечным числом технических состояний.

Практически диагностическую задачу при бесконечном числе технических состояний решить невозможно. Поэтому в любом случае выделяется конечное множество технических состояний, которые требуется диагностировать. Таким образом, при практическом решении диагностической задачи оператор $A(\cdot)$ для непрерывных объектов заменяется гибридным, реализующим на выходе конечное множество значений диагностических признаков.

Для перехода от непрерывного множества технических состояний, которые есть на самом деле, к дискретному множеству технических состояний, которые можно диагностировать, вводится понятие элементарная проверка объекта [19]. **Элементарная проверка объекта** (ЭПО или ЭП) это процедура подачи на объект отдельного (рабочего или тестового) воздействия и снятия с объекта соответствующего ответа (реакции). Поясним это понятие.

Пусть объект диагностики имеет точки контроля, которые позволяют наблюдать за входными X , внутренними Z и диагностическими Y параметрами. В соответствии с определением каждому входному возмущению X_j из множества входных возмущений X будет соответствовать элементарная проверка π_j из множества проверок Π ($\pi_j \in \Pi$), то есть $X_j \rightarrow \pi_j$. в техническом состоянии S_i из множества S ($s_i \in S$), входное воздействие на объект X соответствует этой проверке. Внутренние параметры Z и оператор A определяются техническим состоянием S_i из множества S ($s_i \in S$). Выходные диагностические параметры Y соответствуют результату j -той проверки, то есть $Y_i^j \rightarrow R_i^j$. Тогда операторное выражение (3) в понятиях ЭПО для j -той проверки объекта, находящегося в i -том техническом состоянии запишется следующим образом

$$R_i^j = A_i(\pi_j), \quad (4)$$

где $j = 1 \dots n$; $i = 0, 1 \dots k$.

Для исправного состояния это выражение часто записывается в виде

$$R^j = A(\pi_j). \quad (5)$$

Выражения (4) и (5) определяют модель в явном виде. Если имеется зависимость вида (5) и правила, позволяющие из множества проверок Π и состояний S получать совокупность выражений вида (4), то объект диагностирования задан неявной моделью.

Представленные модели объектов диагностики в операторном виде используются для формального описания диагностических задач в общей постановки, но они непригодны для решения конкретных диагностических задач.

Для выполнения диагностирования на практике необходимо иметь математические (диагностические) модели в конкретном виде, то есть необходимо для каждой практической задачи конкретизировать вид оператора $A(\cdot)$.

Наиболее простой формой представления оператора $A(\cdot)$ в случае явной модели является табличная форма. Таблица строится следующим образом. Пусть каждому отказу (неисправности) объекта соответствует S_i неисправное состояние из множества S ($i = 1 \dots n$). Исправное состояние обозначим S_0 . Примем, что столбцы таблицы соответствуют возможным состояниям $S_i \in S$, а строки - проверкам $\pi_j \in \Pi$. В клетку таблицы на пересечении i -того столбца и j -той строки записывается результат R_i^j проверки π_j объекта диагностирования, находящегося в техническом состоянии S_i . Совокупность результатов образуют множество R ($R_i^j \in R$), число элементов этого множества $r = n(k+1)$. Такая таблица называется **таблицей состояний** объекта диагностирования (табл. 2). Она эквивалентна выражениям (4) и (5).

Таблица 2

Таблица состояний объекта диагностирования

$\pi \setminus S$	S_0	S_1	...	S_i	...	S_k
π_1	R_1	R_1^1		R_i^1		R_k^1
...						
π_j	R^j	R_1^j		R_i^j		R_k^j
...						
π_n	R^n	R_1^n		R_i^n		R_k^n

Анализ этой таблицы позволяет сформулировать свойства множества проверок Π , необходимые для решения задач технического диагностирования.

Первое свойство: множество проверок Π обнаружит любое неисправное состояние объекта диагностирования из множества S , если для каждого состояния $S_i \in S$ найдется хотя бы одна проверка $\pi_j \in \Pi$ такая, что $R^j \neq R_i^j$. Это свойство эквивалентно тому, что столбец таблицы с S_0 отличается от каждого из остальных с S_i . Такая таблица называется *проверяющей или контролирующей*.

Второе свойство: множество проверок Π различают все состояния из множества S , если для каждой пары технических состояний S_i и S_m найдется хотя бы одна проверка π_j такая, что $R_i^j \neq R_m^j$. Это свойство таблицы эквивалентно тому, что все столбцы, определяющие различные состояния, попарно различимы. Такая таблица называется *разделяющей*.

Если таблица обладает только первым свойством, то она позволяет решать только задачи контроля. Если таблица обладает обоим свойствами, то она позволяет решать задачи диагностики.

Исходной информацией для составления таблицы состояний может быть: структурные, функциональные, принципиальные схемы, причинно-следственные связи между параметрами технического состояния, входными и диагностическими параметрами. Одним из наиболее часто используемых способов построение таблицы состояния, является построение этих таблиц на основе функциональных моделей.

3.2. Функциональная модель

Если объект диагностики можно представить как несколько взаимосвязанных частей, имеющих самостоятельное функциональное значение, то в качестве математической (диагностической) модели применяется так называемая **функциональная модель**, пользуясь которой можно составить таблицу состояний.

Функциональная модель представляет собой графическое изображение объекта, в котором каждая выделенная часть (функциональный элемент) обозначается в виде прямоугольника со значком Q_i и этот прямоугольник имеет несколько входов x_j , но только один выход y_i (рис. 9)

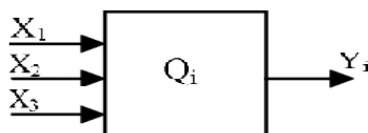


Рис. 9. Элемент функциональной модели

Количество входов определяется числом внешних воздействий на конкретный элемент. Связи между элементами обозначаются линиями со стрелками, указывающими направление прохождения сигнала. Считается, что в объекте может выходить из строя только один функциональный элемент. При этом i -тое неисправное состояние идентифицируется с отказом i -блока. В этой ситуации запись состояния s представляется в виде вектора $S()$ в котором количество координат соответствует количеству блоков. Значения координат задаются в соответствии со следующими правилами: если блок исправен, то координата равна 1, а если блок неисправен, то координата равна 0. Например, если объект диагностики имеет пять блоков то исправное состояние запишем вектором $S_0(1\ 1\ 1\ 1\ 1)$, при неисправном первом блоке техническое состояние запишется следующим вектором $S_i(0\ 1\ 1\ 1\ 1)$.

Под проверкой π_j понимается операция по оценке выходных сигналов всех блоков объекта при нахождении его в состоянии s_i . При наличии в объекте диагностики и функциональных блоков общее количество технических состояний равно $n+1$ (и неисправных и одно исправное), а количество проверок равно n .

При формальном описании результатов j -той проверки R_i^j отдельного элемента функциональной схемы при нахождении объекта в i -том состоянии принимаются следующее правила:

1. Результат принимается $= 1$, если блок исправен и на его входы подаются допустимые воздействия.

2. Результат принимается $= 0$, если на входы блока подаются допустимые воздействия, а он неисправен.

3. Результат принимается $= 0$, если блок исправен, но хотя бы на один его вход подаются недопустимое воздействие.

Пользуясь таким представлением можно задать все множество технических состояний объекта, множество проверок, множество результатов и составить таблицу состояний.

Рассмотрим пример построения таблицы состояний объекта диагностики, который можно представить функциональной моделью, состоящей из шести элементов (рис. 10).

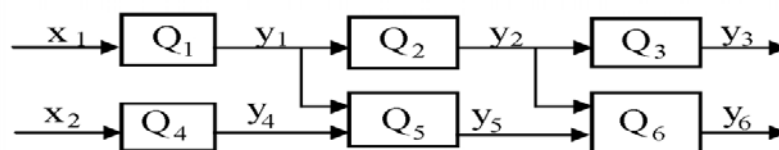


Рис. 10. Пример функциональной шести элементной модели

Для такой модели количество технических состояний равно семи. Исправное состояние можно представить шестимерным вектором $S_0(1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1)$, при отказе блока Q_1 техническое состояние представим вектором $S_1(0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1)$ и т.д.

Поскольку в объекте шесть блоков, то для проверки функционирования каждого блока необходимо проверить его выходной сигнал. Следовательно, количество необходимых проверок равно шести. Будем считать, что при проведении каждой из проверки π_j ($j = 1 \dots 6$) на вход модели подаются входные воздействия x_1 и x_2 , которые принимают только допустимые значения. В тоже время выходные сигналы блоков y_i ($i = 1 \dots 6$) могут принимать как допустимые, так и недопустимые значения. Допустимое значение выходной сигнал принимает в случае, если блок исправен и на его входы подаются допустимые воздействия.

Недопустимое значение выходной сигнал принимает в двух случаях: если блок исправен, но на его входы подаются недопустимые сигналы, или если входные сигналы принимают допустимые значения, но блок неисправен.

С учетом этого и пользуясь изложенными выше тремя правилами результат элементарной проверки блоков объекта, находящегося в i -том техническом состоянии (отказ i -того блока), будем принимать равным 1, если сигнал на выходе проверяемого блока принимает допустимое значение, и равным 0, если сигнал на выходе проверяемого блока принимает недопустимое значение. Например, при отказе блока Q_2 нулевые значения примут результаты R^2_2, R^2_3, R^2_6 поскольку при проведении элементарных проверок π_1, π_3, π_6 для блоков Q_2, Q_3, Q_6 выходные сигналы примут недопустимые значения. Воспользовавшись приведенными выше рассуждениями, составим таблицу состояний для объекта (табл. 3), функциональная модель которого изображена на рис. 10.

Таблица состояний для шестиэлементного объекта

	S_0 111111	S_1 011111	S_2 101111	S_3 110111	S_4 111011	S_5 111101	S_6 111110
π_1	1	0	1	1	1	1	1
π_2	1	0	0	1	1	1	1
π_3	1	0	0	0	1	1	1
π_4	1	1	1	1	0	1	1
π_5	1	0	1	1	0	0	1
π_6	1	0	0	1	0	0	0

Полученная таблица является как проверяющей, так и разделяющей, т.е. позволяет решать задачи контроля и диагностики.

Непременным условием применения функциональной модели является наличие у всех элементов (блоков) объекта диагностирования одного выхода. В реальных условиях выходной сигнал некоторых блоков объекта контроля может характеризоваться несколькими параметрами. В этом случае считается, что блок имеет несколько выходных сигналов, каждый из которых характеризует соответствующий параметр. В такой ситуации применяют так называемое «расщепление» выходов. Рассмотрим применение этого приема на примере. На рис. 11. изображена схема системы электроснабжения объекта.

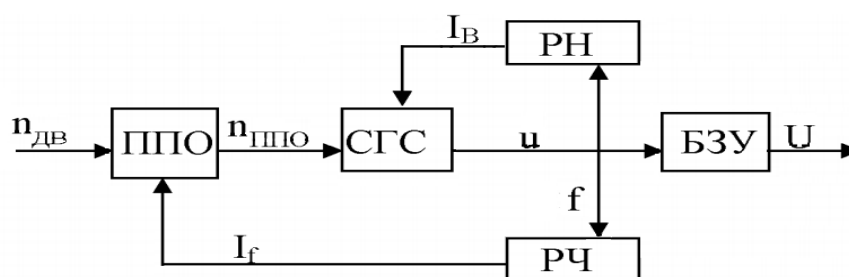


Рис. 11. Схема системы электроснабжения объекта: ППО — привод постоянных оборотов; СГС — синхронный генератор; РН — регулятор напряжения; РЧ — регулятор частоты; БЗУ — блок защиты и управления; $n_{дв}$ — частота вращения коробки приводов двигателя объекта; $n_{гпо}$ — частота вращения генератора; u и f — напряжение и частота на выходе генератора; I_B — ток возбуждения генератора; I_f — управляющее воздействие по частоте на ППО; U — напряжение, подаваемое в рабочую сеть объекта

4. ИМПУЛЬСНЫЙ БЛОК ПИТАНИЯ И ЕГО ОТЛИЧИЯ ОТ ОБЫЧНОГО АНАЛОГОВОГО

Во многих электрических приборах уже давно применяется принцип реализации вторичной мощности за счет использования дополнительных уст-

роЙств, на которые возложены функции обеспечения электроэнергией схем, нуждающихся в питании от отдельных типов напряжений, частоты, тока/

Для этого создаются дополнительные элементы: блоки питания, преобразующие напряжение одного вида в другой. Они могут быть:

— встроены внутрь корпуса потребителя, как на многих микропроцессорных приборах;

— или изготовлены отдельными модулями с соединительными проводами по образцу обычного зарядного устройства у мобильного телефона.

В современной электротехнике успешно уживаются два принципа преобразования энергии для электрических потребителей, основанные на:

1) использовании аналоговых трансформаторных устройств для передачи мощности во вторичную схему;

2) импульсных блоках питания.

Они имеют принципиальные отличия в своей конструкции, работают по разным технологиям.

Вторичный источник электропитания — устройство, которое преобразует параметры электроэнергии основного источника электроснабжения (например, промышленной сети) в электроэнергию с параметрами, необходимыми для функционирования вспомогательных устройств.

Источник вторичного электропитания может быть интегрированным в общую схему (обычно в простых устройствах; либо когда необходимо регулирование (установка, изменение) и стабилизация напряжения в определенном диапазоне в т. ч. динамически — например материнские платы разнообразных компьютеров имеют встроенные преобразователи напряжения для питания ЦП и др. различных ИМС, модулей и ПУ; либо когда недопустимо даже незначительное падение напряжения на подводящих проводах), выполненным в виде модуля (блока питания, стойки электропитания и так далее), или даже расположенным в отдельном помещении (цехе электропитания).

Преобразование напряжения первичного источника питания осуществляет схема электропитания. Схема электропитания — состоит из устройств, предназначенных для стабилизации, регулирования, распределения, резервирования, контроля и защиты напряжений и токов, обеспечивающих нормальную работу радиоэлектронных устройств или микросхем, если речь идет об отдельной печатной плате радиоэлектронной аппаратуры. Именно эти устройства и называются вторичными источниками питания рис. 12.

Задачи вторичного источника электропитания

Обеспечение передачи мощности — источник электропитания должен обеспечивать передачу заданной мощности с наименьшими потерями и соблюдением заданных характеристик на выходе без вреда для себя. Обычно мощность источника питания берут с некоторым запасом.

Преобразование формы напряжения — преобразование переменного напряжения в постоянное, и наоборот, а также преобразование частоты, формирование импульсов напряжения и т. д. Чаще всего необходимо преобразование переменного напряжения промышленной частоты в постоянное.

Преобразование величины напряжения — как повышение, так и понижение. Нередко необходим набор из нескольких напряжений различной величины, для питания различных цепей.



Рис. 12. Классификация источников вторичного питания

Стабилизация — напряжение, ток и другие параметры на выходе источника питания должны лежать в определенных пределах, в зависимости от его назначения при влиянии большого количества дестабилизирующих факторов: изменения напряжения на входе, тока нагрузки и так далее. Чаще всего необходима стабилизация напряжения на нагрузке, однако иногда (например, для зарядки аккумуляторов) необходима стабилизация тока.

Защита — напряжение, или ток нагрузки в случае неисправности (например, короткого замыкания) каких-либо цепей может превысить допустимые пределы и вывести электроприбор, или сам источник питания из строя. Также во многих случаях требуется защита от прохождения тока по неправильному пути: например прохождения тока через землю при прикосновении человека или постороннего предмета к токоведущим частям.

Гальваническая развязка цепей — одна из мер защиты от протекания тока по неверному пути.

Регулировка — в процессе эксплуатации может потребоваться изменение каких-либо параметров для обеспечения правильной работы электроприбора.

Управление — может включать регулировку, включение/отключение каких-либо цепей, или источника питания в целом. Может быть как непосредственным (с помощью органов управления на корпусе устройства), так и дистанционным, а также программным (обеспечение включения/выключения, регулировка в заданное время или с наступлением каких-либо событий).

Контроль — отображение параметров на входе и на выходе источника питания, включения/выключения цепей, срабатывания защит. Также может быть непосредственным или дистанционным.

Чаще всего перед вторичными источниками питания стоит задача преобразования электроэнергии из сети переменного тока промышленной частоты (например, в России — 240 В 50 Гц, в США — 120 В 60 Гц).

Две наиболее типичных конструкции — это трансформаторные и импульсные источники питания.

4.1. Достоинства и недостатки импульсного блока питания

Достоинства трансформаторных БП:

- 1) простота конструкции;
- 2) надежность;
- 3) доступность элементной базы.

Отсутствие создаваемых радиопомех (в отличие от импульсных, создающих помехи за счет гармонических составляющих).

Недостатки трансформаторных БП:

- 1) большой вес и габариты, пропорционально мощности;
- 2) металлоемкость.

Достоинства импульсных БП. Сравнимые по выходной мощности с линейными стабилизаторами соответствующие им импульсные стабилизаторы обладают следующими основными достоинствами:

— меньшим весом за счет того, что с повышением частоты можно использовать трансформаторы меньших размеров при той же передаваемой мощности. Масса линейных стабилизаторов складывается в основном из мощных тяжелых низкочастотных силовых трансформаторов и мощных радиаторов силовых элементов, работающих в линейном режиме. Кроме того, благодаря повышенной частоте преобразования, значительно уменьшаются габариты фильтра выходного напряжения (можно использовать конденсаторы значительно меньшей емкости, чем для выпрямителей, работающих на промышленной частоте). Сам выпрямитель может быть выполнен по простейшей однополупериодной схеме, без риска увеличения пульсаций выходного напряжения;

— значительно более высоким КПД (вплоть до 90-98 %) за счет того, что основные потери в импульсных стабилизаторах связаны с переходными процессами в моменты переключения ключевого элемента. Поскольку основную часть времени ключевые элементы находятся в одном из устойчивых состояний (то есть либо включен, либо выключен) потери энергии минимальны;

— из этого прямо следует, что, при одной и той же схемотехнике и элементарной базе, КПД растет с понижением частоты преобразования, так как переходные процессы занимают пропорционально меньшую часть времени. При этом, однако, растут габариты моточных элементов — но это дает и выигрыш, из-за снижения омических потерь.

— меньшей стоимостью, благодаря массовому выпуску унифицированной элементной базы и разработке ключевых транзисторов высокой мощности. Кроме этого следует отметить значительно более низкую стоимость импульсных трансформаторов при сравнимой передаваемой мощности, и возможность использования менее мощных силовых элементов, поскольку режим их работы ключевой;

— сравнимой с линейными стабилизаторами надежностью. Блоки питания вычислительной техники, оргтехники, бытовой электроники почти исключительно импульсные. Линейные БП малой мощности сохранились в основном только в следующих областях:

— для питания слаботочных плат управления высококачественной бытовой техники вроде стиральных машин, микроволновых печей и отопительных котлов и колонок;

— для маломощных управляющих устройств высокой и сверхвысокой надежности, рассчитанной на многолетнюю непрерывную эксплуатацию при отсутствии обслуживания или затрудненном обслуживании, как, например, цифровые вольтметры в электроцитах, или автоматизация производственных процессов;

— широким диапазоном питающего напряжения и частоты, недостижимым для сравнимого по цене линейного. На практике это означает возможность использования одного и того же импульсного БП для носимой цифровой электроники в разных странах мира — Россия/США/Англия, сильно отличных по напряжению и частоте в стандартных розетках;

— наличием в большинстве современных БП встроенных цепей защиты от различных непредвиденных ситуаций, например от короткого замыкания и от отсутствия нагрузки на выходе.

Недостатки импульсных БП. Работа основной части схемы без гальванической развязки от сети, что, в частности, несколько затрудняет ремонт таких БП.

Все без исключения импульсные блоки питания являются источником высокочастотных помех, поскольку это связано с самим принципом их работы. Поэтому требуется предпринимать дополнительные меры помехоподавления, зачастую не позволяющие устранить помехи полностью. В связи с этим часто недопустимо применение импульсных БП для некоторых видов аппаратуры.

Как правило, импульсные блоки питания имеют ограничение на минимальную мощность нагрузки. Если мощность нагрузки ниже минимальной, блок питания либо не запускается, либо параметры выходных напряжений (величина, стабильность) могут не укладываться в допустимые отклонения.

В распределенных системах электропитания: эффект гармоник кратных трем. При наличии эффективно действующих корректоров фактора мощности и фильтров во входных цепях этот недостаток обычно не актуален (рис. 13).

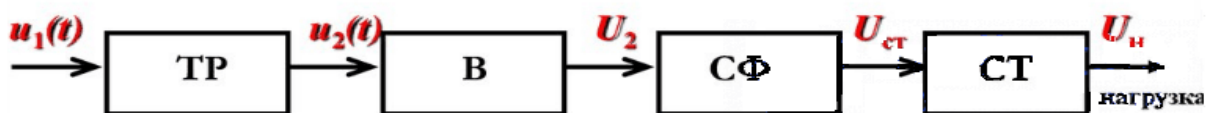


Рис. 13. Структурная схема источника вторичного питания:

$u_1(t)$ — входное напряжение; ТР — трансформатор; В — блок вентиля;

СФ — сглаживающий фильтр; СТ — стабилизатор напряжения;

U_n — выходное напряжение

Схема электропитания радиоэлектронной аппаратуры зависит от ее сложности, габаритов и потребляемого тока (рис. 14). В простейших электронных устройствах для их питания достаточно подключить аккумулятор или батарею питания. В более сложных устройствах потребуются стабилизаторы питания для отдельных микросхем. Как это уже упоминалось ранее, в качестве вторичных источников питания используются:

- трансформаторы напряжения и тока; выпрямители; стабилизаторы напряжения или тока; фильтры питания.



Рис. 14. Пример схемы питания материнской платы

Следует отметить, что в современной аппаратуре многие из перечисленных вторичных источников питания могут выполнять функции друг друга. Например, стабилизаторы напряжения могут работать в качестве фильтров питания. Импульсные стабилизаторы напряжения могут одновременно выполнять функции трансформатора напряжения, увеличивая или уменьшая выходное напряжение по отношению к входному. При этом одновременно производится и трансформация тока. Выпрямители могут выполнять функции стабилизации напряжения.

Рассмотрим схему питания материнской платы компьютера. Ее питание осуществляется напряжением +12 В. В то же самое время для питания цифровых микросхем требуются более низкие напряжения. Для питания периферии микросхем нужно напряжение +3,3 В, для питания ядра центрального процессора — напряжение от 1,2 до 1,5 В. При таких низких напряжениях питания микросхемы потребляют значительный ток и если применить одиночный стабилизатор питания, то на проводниках, подводящих питание будет создаваться значительное падение напряжения и возникать существенные выделения тепловой энергии. Поэтому стабилизаторы питания располагаются на плате в непосредственной близости от основных потребителей энергии — центрального процессора и микросхемы северного моста.

Для того, чтобы сократить потребление энергии всей платой в целом, в качестве стабилизаторов питания цифровых микросхем в настоящее время применяются импульсные стабилизаторы. В качестве примера на рис. 15 при-

ведена фотография участка платы, на которой показан внешний вид импульсных стабилизаторов питания.



Рис. 15. Внешний вид импульсных стабилизаторов питания [11]

В радиоприемной и радиопередающей аппаратуре предъявляются повышенные требования к уровню пульсаций вторичного источника питания. Поэтому в схемах этих устройств до сих пор часто применяются компенсационные стабилизаторы, обладающие достаточно низким коэффициентом полезного действия. При этом стараются использовать компенсационные стабилизаторы с низким падением напряжения. Они хорошо подходят как с точки зрения экономичности, так и с точки зрения хорошей фильтрации помех на проводниках питания. В ряде случаев они полностью заменили фильтрующие LC и RC-цепочки.

В последнее время в качестве вторичных источников питания стали широко распространяться AC-DC и DC-DC модули питания. Применение этих модулей питания позволяет значительно сократить сроки разработки новых схем радиоэлектронных устройств. Кроме того, применение DC-DC преобразователей позволяет уменьшить уровень пульсаций напряжения питания и в ряде случаев увеличить экономичность радиоэлектронной аппаратуры.

4.2. Трансформаторные блоки питания

Первоначально создавались только такие конструкции. Они изменяют структуру напряжения за счет работы силового трансформатора, питающегося от бытовой сети 220 вольт, в котором происходит понижение амплитуды синусоидальной гармоники, направляемой далее на выпрямительное устройство, состоящее из силовых диодов, включенных, как правило, по схеме моста (рис. 16.).

После этого пульсирующее напряжение сглаживается параллельно подключенной емкостью, подобранной по величине допустимой мощности, и стабилизируется полупроводниковой схемой с силовыми транзисторами.

За счет изменения положения подстроечных резисторов в схеме стабилизации удается регулировать величину напряжения на выходных клеммах.

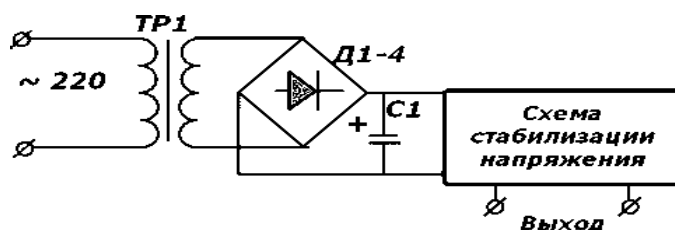


Рис. 16. Схема трансформаторного питания [11]

Импульсные блоки питания (ИБП)

Подобные конструктивные разработки массово появились несколько десятилетий назад и стали пользоваться все большей популярностью в электротехнических приборах благодаря:

- доступностью комплектования распространенной элементной базой;
- надежностью в исполнении;
- возможностями расширения рабочего диапазона выходных напряжений.

Практически все источники импульсного питания незначительно отличаются по конструкции и работают по одной, типичной для других устройств схеме (рис. 17).

В состав основных деталей источников питания входят:

- сетевой выпрямитель, собранный из: входных дросселей, электромагнитного фильтра, обеспечивающего отстройку от помех и развязку статики с конденсаторами, сетевого предохранителя и диодного моста;
- накопительная фильтрующая емкость;
- ключевой силовой транзистор;
- задающий генератор;
- схема обратной связи, выполненная на транзисторах;
- оптопара;
- импульсный источник питания, со вторичной обмотки которого исходит напряжение для преобразования в силовую цепь;
- выпрямительные диоды выходной схемы;
- цепи управления выходного напряжения, например, на 12 вольт с подстройкой, изготовленной на оптопаре и транзисторах;
- фильтрующие конденсаторы;
- силовые дроссели, выполняющие роль коррекции напряжения и его диагностики в сети;
- выходные разъемы.

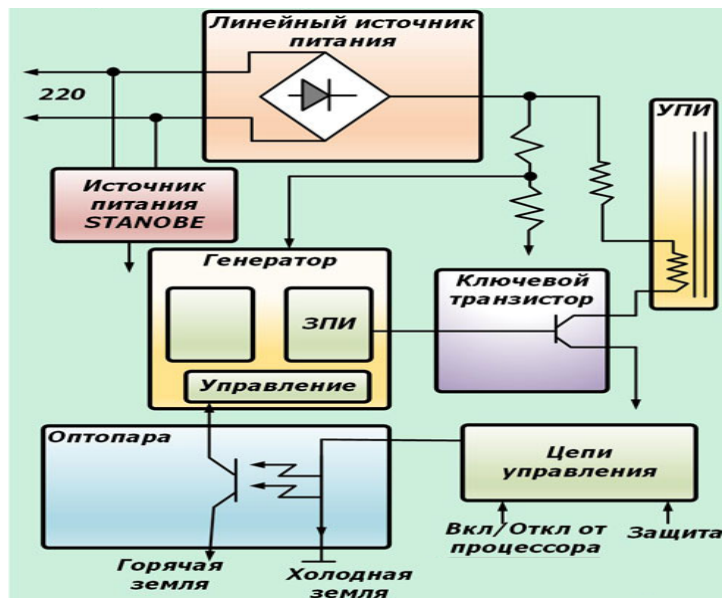


Рис. 17. Устройство импульсного блока питания [11]

Пример электронной платы подобного импульсного блока питания с кратким обозначением элементной базы показан на рис. 18.

Импульсный блок питания выдает стабилизированное питающее напряжение за счет использования принципов взаимодействия элементов инверторной схемы.

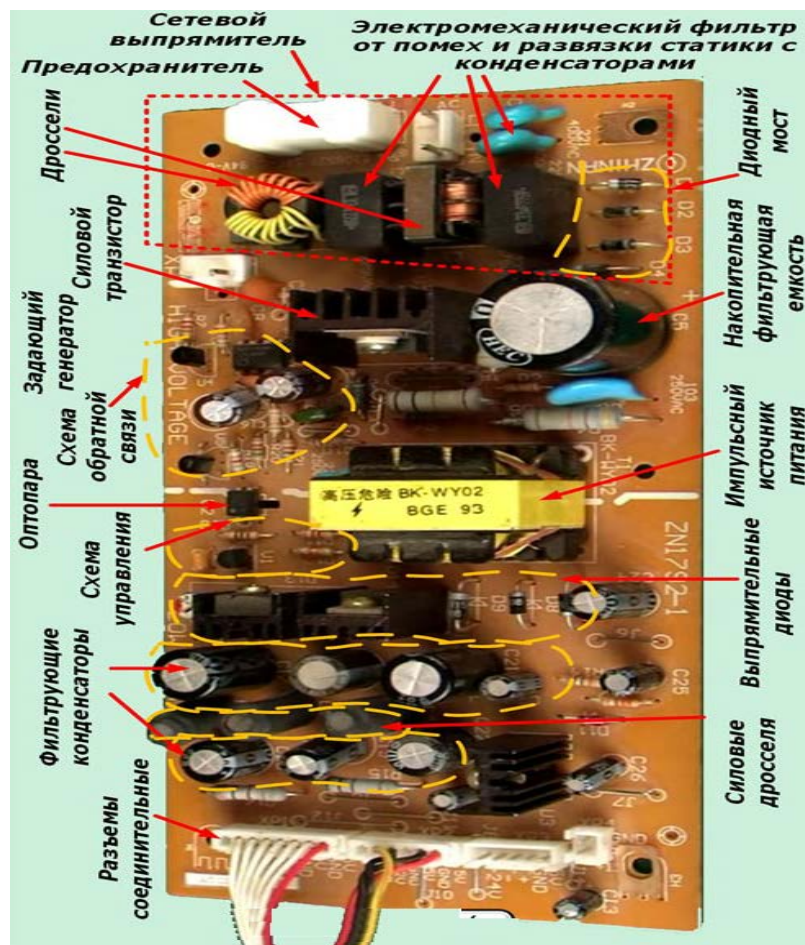


Рис. 18. Схема работы импульсного блока питания [11]

Напряжение сети 220 вольт поступает по подключенным проводам на выпрямитель. Его амплитуда сглаживается емкостным фильтром за счет использования конденсаторов, выдерживающих пики порядка 300 вольт, и отделяется фильтром помех.

Входной диодный мост выпрямляет проходящие через него синусоиды, которые затем транзисторной схемой в импульсы высокой частоты и прямоугольной формы с определенной скважностью. Они могут преобразовываться:

- 1) с гальваническим отделением сети питания от выходных цепей;
- 2) без выполнения подобной развязки.

Основные рабочие характеристики

Состояние выходных характеристик при регулировании нагрузки отличается нестабильностью параметров тока и напряжения при необходимости изменить нагрузку тестируемого оборудования. На какие характеристики обращают внимание при выборе:

1. Нестабильность тока и напряжения питающей сети при изменении переменного тока. Погрешность задания выходных величин, качество измерения в соответствии с вольт-амперной характеристикой.

2. Погрешность измерений — качество измеренных значений, схожих с вольт-амперной характеристикой.

3. Разрешение — шаг установки тока и напряжения на выходе, которые могут быть заданы.

4. Шумность. Шум в синфазном режиме и нормальный уровень шума.

5. Переходные характеристики: время перехода к начальным заданным показателям после изменения тока потребителя.

6. Компенсация потерь при подключении по 4-х проводной схеме для управления элементами, регулирующими выходное напряжение при использовании измерительных проводов для компенсации потерь в питающей сети. К напряжению на выходе из источника добавляется напряжение, которое равно разности потенциалов между общими проводниками, основным и плавающим.

7. Интерфейсы управления.

Грубая и точная регулировка, минимальный уровень шума, повышенные возможности при подключении смогут обеспечить оптимальный выбор прибора.

Стабилизированные ИП по характеру стабилизации: линейные и импульсные.

Главный признак, характеризующий блок питания — это принцип его работы. Стабилизированные источники вторичного питания на полупроводниковых элементах по характеру стабилизации напряжения делятся на источники с непрерывным (линейным) и импульсным регулированием.

Основа линейного БП — понижающий низкочастотный трансформатор: изменяет напряжение сети до значения в несколько десятков вольт. Выпрямление напряжения производится за счет диодного моста сглаживанием синусоиды конденсаторами и заданием требуемого значения стабилизатором. Пример популярного линейного блока питания: трансформаторный БП с одним каналом YINUA YH-305D (30 В, 5 А), эта модель способна выдавать мощность до 150 Вт.

Главное в импульсном ИП — это конденсаторы со сглаживающим зарядом и импульсами тока, сформированными трансформаторной обмоткой или индуктивностью. В работе задействованы транзисторы. Частота формирования токовых импульсов. Напряжение регулируется глубиной ШИМ (широтно-импульсной модуляции). Пример, мощного импульсного одноканального блока питания — MAISHENG MP3030D (30 В, 30 А).

На какие особенности регулируемых блоков питания обращать внимание?

Диапазон изменения тока и напряжения. Лабораторные настольные источники питания различаются пределами изменения выходных напряжений и тока. Различают два типа приборов, те, которые работают с фиксированными значениями и работающие с автоматическим ограничением мощности на выходе.

Фиксированным диапазоном отличаются ЛБП эконо-класса. Устройства выдают комбинацию напряжения и тока наибольшего значения по максимуму. Например, блок питания с одним каналом на напряжение 30 В и токе 10 может поддерживать нагрузку (ток) неизменной долгое время при том же напряжении. Мощность составит $U \times I$; $30 \times 10 = 300$ Вт. Однако, с таким напряжением и током невозможно установить другие большие значения тока и напряжения.

Автоматический выбор выходной мощности с ограничением пределов характерен для функциональных ЛБП с высокой точностью и дискретностью измерения выходного тока, достаточного для отладки любых, в том числе и маломощных устройств с батарейками. Такие блоки могут выдавать комбинации тока и напряжения в пределах мощности, на которую рассчитан прибор. Приборы относятся к универсальной категории устройств.

На габаритные размеры, вес и стоимость источники питания постоянного тока или напряжения влияет максимальная мощность, а не ток и не напряжение. Значит, надо выбирать устройство с автоматическим ограничением мощности на выходе.

Число каналов. Мощные ЛБП от 500 Вт, по большей части, одноканальные. Иногда возникает вопрос, а можно ли объединить в последовательную цепь несколько импульсных БП с одним каналом. Что для этого учитывают:

1. Различие частот создает пульсации и шумность. Существует возможность возникновения резонансных факторов, при их наличии пульсация возрастает.

2. Формирование значений биполярного напряжения для подключения к сети питания транзисторных усилителей.

3. Сложность включения в одну цепь одновременно и синхронизация регулировки напряжений двух и более разных приборов. При объединении в одну цепь двух лабораторных БП «+» и «-» должны быть синхронизированы.

4. Последовательное соединение источников высокого напряжения сопряжено с вероятностью пробоя изоляции, что иногда приводит к короткому замыканию и возгоранию.

Поэтому, для схемы, где имеется возможность применить несколько напряжений питания сети лучше всего использовать двух- или трехканальные стабилизированные блоки питания.

Пример многофункционального одноканального блока питания Korad KA3005D (30 В, 5 А) линейного типа, используемого для последовательного соединения в цепь. Прибор используется для промышленного производства и научных исследований. Выполняет измерение параметров питания и стабилизацию постоянного режима тока и напряжения во время технологических процессов. Прибор отличается:

- небольшим коэффициентом искажения;
- малыми пульсациями;
- регулировкой выходных характеристик;
- возможностью отключения потребителя в аварийном режиме; невысоким уровнем шума;
- цифровым управлением с возможностью задания выходных параметров на лицевой панели; сохранением в памяти установленных режимов для различных потребителей.

Для справки: Параллельное соединение ИП с разными напряжениями чревато тем, что один из двух источников с большими пределами по мощности будет работать вполсилы. При подключении устройств с характеристиками 15 В / 30 А и 30 В / 30 А на выходе получатся значения 15 В / 60 А. Блок питания на 30 В будет выдавать всего 15 В. Не допускается подключать БП с разными токами, при КЗ мощный БП может вывести из строя более слабый.

Изоляция выходных каналов. Электрическая или как ее правильно называют гальваническая изоляция — это гарантия независимости напряжения и тока одного канала от других. Изоляция защищает канал от замыкания на землю и между другим каналом, защищает от электрического пробоя.

Гальваническая изоляция каналов предупреждает пробой напряжения между рядом расположенными каналами, значение которого может превысить 220 В. Она нужна для электронного оборудования, в котором присутствуют аналоговая и цифровая части. Служит для понижения шума чувствительной цифровой шины питания в аналоговую часть.

Трёхканальные лабораторный источник питания постоянного тока обладают следующим преимуществом. Устройство позволит запитать аналоговую часть схемы от двух каналов, используя двухполюсное питание, а питание от третьего канала приходит на цифровую часть. Пример 3-х канального импульсного источника питания постоянного тока — UNI-T UTP3305. Трансформаторный источник с тремя каналами — Atten (Gratten) APS3005S-3D. Гальваническая изоляция надежно защищает целостность каналов/

Требования к мощности и числу выходов. Главный вопрос, который задают при выборе стабилизированного источника питания: какая мощность потребуется, какие приборы вам придется испытывать? Сколько мощности будут потреблять испытываемые устройства?

По величине рабочей мощности источника питания выделяют обычные со стандартным и высоким значением мощности до 500 Вт и высокомошные, которые работают с величинами более 700 Вт. Отличие моделей заключается в функциональности и сфере использования.

Модели ЛБП средней мощности MAISHENG MS3010D и QJE PS3010N обеспечат регулировку оборудования в пределах до 300 Вт. Подробно о конструкции мы рассказали в видео обзоре: ИП с импульсным регулированием китайского производителя MAISHENG. Там мы нагружали популярные модели на полную и смотрели их начинку и схемотехнику!

Лабораторный блок питания постоянного тока для отладки радиолубительских устройств с возможностью регулирования напряжения на выходе до 30 В и тока до 10 А. Режим измерения тока импульсным блоком питания.

Пример управляемого импульсного блока питания малой мощности MCH K305DN (30 В, 5 А). Регулировка выполняется потенциометрами на лицевой панели, напряжение до 31 В и тока до 5 А, который держит в течение 30 минут спокойно. Отличается большим КПД, малым весом и размерами.

Образцы с большой мощностью только одноканальные и только импульсные. Пример, MAISHENG MP1560D (15 В, 60 А), устройство выдает стабильное напряжение без помех 15 В и ток до 60 А, используется в лабораторных исследованиях и для ремонта электроники.

Образцы с мощностью до 3 кВ применяются в качестве приборов для стоек управления. Модели более 3 кВ, например, MAISHENG MP15030D (150 В, 30 А) с выходной мощностью 4,5 кВ применяются в промышленных стойках, так как имеют большой вес 9500 г и размеры 380 x 260 x 160 мм. Данные одноканальные ИБП обладают более высокими выходными характеристиками.

Для справки: Если БП нужны для стабилизации тока для повышения его значения при зарядке аккумуляторов, то алгоритм зарядки следующий. Вначале ток растет, а потом зарядка происходит в режиме минимальный ток – максимальный ток. Повышение нагрузки вызывает вывод одного блока на максимальный ток, а затем другого. Зарядка аккумуляторов профессиональными блоками питания, представленными в Суперайс производится как отдельно, так и в связке, не важно находятся устройства под нагрузкой или нет.

Конструкция лабораторных **ИП** большой мощности оборудована защитными устройствами, к которым относятся вентиляторы охлаждения, включающиеся при повышении температуры. Набор защит от перегрузки, повышения температуры, смены полярности.

Для увеличения выходной мощности предусмотрена возможность параллельного подключения нескольких приборов.

Для мощных блоков питания существует возможность удаленного программного управления через разнообразные интерфейсы Ethernet, IEEE-488.2 (GPIB) и другие, используемые в комплекте с автоматизированными комплексами.

Мощные ЛБП применяются в автопроме и альтернативной энергетике для регулирования собственного выходного сопротивления до нескольких Ом,

что может пригодиться во время имитации работы аккумуляторных и солнечных батарей.

Защитные функции. Неправильное применение блока питания, подача повышенного напряжения или тока может представлять угрозу тестируемому оборудованию. Для того, чтобы этого не случилось, лабораторные источники питания обеспечиваются защитными функциями:

1. Превышение тока на выходе, скачки случаются при КЗ или повышении нагрузки. Защита характеризуется быстротой срабатывания, отключает устройство от тестируемой нагрузки, ограничивает и стабилизирует ток, сохраняя первоначальную величину. Функции защиты можно отключать.

2. Перенапряжение. Защита устанавливается при повышении выходного напряжения во время стабилизации тока, ограничивает напряжение выхода в безопасном режиме для подключенной нагрузки.

3. Перегруз по мощности. Функция ограничивает мощность, нормализует работу силовых элементов схемы БП.

4. Перегрев устройства и конструктивных элементов. Защита срабатывает при увеличении температуры в точках наибольшего выделения тепла.

Форма выходного сигнала. Основная задача ЛБП — это формирование стабильного постоянного напряжения даже при изменении тока нагрузки. В быту и промышленности к потребителю поступает напряжение только с чистой синусоидой. Однако при использовании импульсного блока, во время замены переменного напряжения 220 В на постоянное для подключения электроники, синус, то есть форма напряжения меняется. Также в режиме стабилизации тока БП подает потребителю постоянный ток. Блоки питания оборудуются «Режимом изменения выходного напряжения по списку заданных значений». С этим режимом можно испытывать оборудование, подавая на него не идеальные сигналы со скачками, пульсациями и перерывами в напряжении, спадом и нарастаниями.

Ручное или программируемое управление. Работа программируемого источника питания постоянного тока основана на работе компьютерной программы, которая демонстрирует характеристики и настройки. Кроме этого, программа подразумевает включение нескольких ЛБП в измерительный комплекс.

Пример популярных программируемых блоков питания: трансформаторный Korad KA6005P и Rigol DP711 оба устройства с одним каналом. Отличаются надежностью и наибольшей востребованностью среди радиолюбителей трехканальные модели Korad KA3305P и OWON ODP3032.

Особое внимание радиолюбителей и профессионалов обращаем на прецизионный блок питания со стабилизацией по всем параметрам Rigol DP832A. Выходная мощность до 195 Вт.

Регулируемое напряжение по двум каналам 30 В и от 0 до 5 В по третьему каналу. Регулируемый ток до 3 А. Блок защищен от малейших выбросов тока на выходах с каждого канала, высоким КПД до 80 % и коэффициентом падения напряжения и тока при стабилизации, не превышающей 0,01 %.

К программируемым БП относятся многоканальные источники питания переменного и постоянного тока, которые входят в категорию интеллектуальных устройств.

Дополнительная возможность: компенсация падения напряжения в проводах соединения.

Условие достигается наличием USB-интерфейса для управления источником питания с удаленного места. Также, использование буферной схемы, формирующей «плавающий» провод типа повторителя напряжения, где напряжение на выходе соответствует падению напряжения на минусовом (обратном) проводе.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ИСТОЧНИКА ВТОРИЧНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Источники вторичного электропитания (ИВЭП) предназначены для получения напряжения, необходимого для питания различных электронных устройств. Действующее значение напряжения сети переменного тока составляет 220 В. В то же время для работы электронных приборов необходимо постоянное напряжение, величина которого обычно не превышает нескольких вольт. Вторичные источники получают энергию от первичных источников: сети переменного тока, аккумуляторов и т. д.

Структурная схема ИВЭП, получающего энергию от сети переменного тока, показана на рис. 19. Трансформатор Tr предназначен для изменения уровня переменного напряжения и гальванической развязки выпрямителя и питающей сети. Выпрямитель преобразует переменное напряжение синусоидальной формы в пульсирующее напряжение одной полярности. Сглаживающий фильтр уменьшает пульсации напряжения на выходе выпрямителя. Стабилизатор уменьшает колебания напряжения на нагрузке.

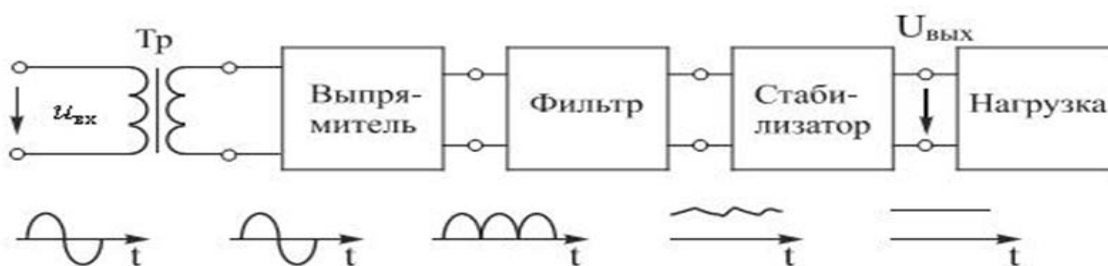


Рис. 19. Структурная схема ИВЭП

Рассмотренный источник питания имеет большие вес и габариты, определяемые, прежде всего размерами трансформатора и сглаживающего фильтра. В настоящее время такие ИВЭП вытесняются преобразовательными устройствами, работающими на частотах, составляющих десятки и сотни кГц. При этом удастся значительно уменьшить размеры и вес устройства.

Необходимо помнить, что подсоединение к сети БП должно происходить только через разделительный трансформатор.

Ремонт следует проводить технически исправными приборами, с использованием низковольтных паяльников.

Групповая стабилизация выходных напряжений ИБП характеризуется тем, что с увеличением тока нагрузки одного из вторичных выпрямителей увеличивается нагрузка импульсного трансформатора, и это сказывается на значениях выходных напряжений всех выпрямителей, подключенных к нему. Поэтому при ремонте БП следует использовать эквивалентную нагрузку.

Для блока питания мощностью 200 Вт следует использовать эквиваленты нагрузок: для источника питания +5 В нагрузку сопротивлением 4,7 Ом (50 Вт), для источника +12 В нагрузку 12 Ом (12 Вт). Проблемы, которые могут иметь место при неисправности блока питания, можно классифицировать как очевидные и неочевидные.

К **очевидным** проблемам относятся: компьютер вообще не работает, появление дыма, сгорает предохранитель на распределительном щите.

Неочевидные с целью исключения ошибок определения неисправного элемента требуют дополнительного диагностирования системы, тем не менее, они могут быть связаны с работоспособностью источника:

- любые ошибки и зависания при включении питания;
- спонтанная перезагрузка и периодические зависания во время обычной работы;
- хаотические ошибки четности и другие ошибки памяти;
- одновременная остановка жесткого диска и вентилятора (нет +12 В), перегрев компьютера из-за выхода из строя вентилятора;
- перезапуск компьютера при малейшем снижении напряжения сети;
- удары электрическим током во время прикосновения к корпусу компьютера или к разъемам;
- небольшие статические разряды, нарушающие работу сети.

Особое внимание следует обращать на цепь формирования сигнала «Питание в норме», ранняя подача этого сигнала может приводить к искажениям CMOS-памяти.

При ремонте ИБП необходимо использовать следующие методы:

Метод анализа монтажа. Этот метод позволяет, используя органы чувств человека (зрение, слух, осязание, обоняние), отыскать место нахождения дефекта со следующими признаками:

- сгоревший радиоэлемент, некачественная пайка, трещина в печатном проводнике, дым, искрение и т.д.;
- разнообразные звуковые эффекты (писк, "цыканье" и т.д.), источником которых является импульсный трансформатор ИБП;
- перегрев радиоэлементов;
- запах сгоревших радиоэлементов.

Метод измерений. Метод основан на использовании измерительных приборов при поиске дефектов, вольтметра, омметра, осциллографа.

Метод замены. Метод основан на замене сомнительного радиоэлемента на заведомо исправный.

Метод исключения. Метод основан на временном отсоединении (при возможной утечке или пробое) или перемыкании выводов (при возможном обрыве) сомнительных элементов.

Метод воздействия. Метод основан на анализе реакции схемы на различные манипуляции, производимые техником:

- изменение положений движков установочных переменных резисторов (если они имеются);

- перемыкание выводов транзисторов в цепях постоянного тока (эмиттер с базой, эмиттер с коллектором);

- изменение напряжения питающей сети (с контролем по осциллографу работы схемы ШИМ);

- поднесение жала горячего паяльника к корпусу сомнительного радиоэлемента и т. п. манипуляции.

Метод электропрогона. Позволяет отыскать периодически повторяющиеся дефекты и проверить качество произведенного ремонта (в последнем случае прогон должен составлять не менее 4 часов).

Метод простука. Метод позволяет выявить дефекты монтажа на включенном БП путем покачивания элементов, подергивания за проводники, постукивания по шасси резиновым молоточком и др.

Метод эквивалентов. Метод основан на временном отсоединении части схемы и замене ее совокупностью элементов, оказывающих на нее такое же воздействие. Подобными участками схемы могут быть генераторы импульсов, вспомогательные источники постоянного напряжения, эквиваленты нагрузок

При этом любые конкретные характеристики блока, полученные из документации на него, либо считанные с его корпуса, могут и должны быть использованы при его ремонте. При устранении неисправности техник должен не только применять эти методы в чистом виде, но и комбинировать их.

5.1. Типовые неисправности БП ПК

Характерными причинами возникновения аварийных режимов в схеме ИБП являются:

- «броски» сетевого напряжения, вызывающие увеличение амплитуды импульса на коллекторе ключевого транзистора;

- короткое замыкание в цепи нагрузки;

- лавинообразное нарастание тока коллектора из-за насыщения магнитопровода импульсного трансформатора, например, из-за изменения характеристики намагничивания магнитопровода при перегреве или случайного увеличения длительности импульса, открывающего транзистор.

Одной из самых характерных неисправностей является "пробой" диодов выпрямительного моста или мощных ключевых транзисторов, ведущий к возникновению КЗ в первичной цепи ИБП. Пробой диодов выпрямительного моста может привести к ситуации, когда на электролитические сглаживающие

емкости сетевого фильтра будет непосредственно попадать переменное напряжение сети. При этом электролитические конденсаторы, стоящие на выходе выпрямительного моста, взрываются

КЗ в первичной цепи ИБП может возникать в основном, по двум причинам:

— из-за изменения параметров элементов базовых цепей мощных ключевых транзисторов (например, в результате старения, температурного воздействия и др.):

— из-за подключения компьютера к розетке: установленной в сети, нагружаемой, помимо средств вычислительной техники, сильноточными установками (станками, сварочными аппаратами, сушилками и т.д.)

В результате в сети могут возникать импульсные помехи, амплитудой до 1 кВ, которые приводят, как правило, к "пробою" по участку коллектор-эмиттер мощных ключевых транзисторов.

Третьей причиной КЗ в первичной цепи ИБП является безграмотность ремонтного персонала, проводящего измерения заземленным осциллографом в первичной цепи ИБП!

При КЗ в первичной цепи ИБП выгорает (со взрывом) токоограничивающий терморезистор с отрицательным ТКС. Это происходит после замены сгоревшего предохранителя и повторного включения в сеть, если осталась не устраненной основная причина КЗ. Поскольку достать данные резисторы иногда бывает трудно, специалисты, проводящие ремонт БП порой просто устанавливают коротко замыкающую перемычку на то место, где должен стоять терморезистор. Тем самым снимается токовая защита диодов выпрямительного моста, и БП весьма скоро вновь выйдет из строя.

При замене мощных ключевых транзисторов лучше всего использовать транзисторы того же типа и той же фирмы-изготовителя. В противном случае установка транзисторов другого типа может привести либо к выходу их из строя, либо к несрабатыванию схемы пуска ИБП (в случае использования более мощных, чем стояли в схеме ранее транзисторов).

Второй характерной неисправностью ИБП является выход из строя управляющей микросхемы типа TL494. Исправность микросхемы можно установить, оценивая работу отдельных ее функциональных узлов (без выпаивания из схемы ИБП). Для этого может быть рекомендована следующая методика:

Операция 1. Проверка исправности генератора DA6 и опорного источника DA5. Не включая ИБП в сеть, подать на вывод 12 управляющей микросхемы питающее напряжение 10-15В от отдельного источника

Исправность генератора DA6 оценивается по наличию пилообразного напряжения амплитудой 3,2 В на выводе 5 микросхемы (при условии исправности частото задающих конденсатора и резистора, подключенных к выводам 5 и 6 микросхемы, соответственно). Исправность опорного источника DA5 оценивается по наличию на выводе 14 микросхемы постоянного напряжения +5 В, которое не должно изменяться при изменении питающего напряжения на выводе 12 от +7 В до +40 В.

Операция 2. Проверка исправности цифрового тракта.

Не включая ИБП в сеть, подать на вывод 12 управляющей микросхемы питающее напряжение 10-15В от отдельного источника. Исправность цифрового тракта оценивается по наличию на выводах 8 и 11 микросхемы (в случае включения выходных транзисторов микросхемы по схеме с ОЭ) или на выводах 9 и 10 (в случае их включения по схеме с ОК) прямоугольных последовательностей импульсов в момент подачи питания. Проверить наличие фазового сдвига между последовательностями выходных импульсов, который должен составлять половину периода.

Операции 3. Проверка исправности компаратора «мертвой зоны» DA1.

Не включая ИБП в сеть, подать на вывод 12 управляющей микросхемы питающее напряжение 10-15В от отдельного источника. Убедиться в исчезновении выходных импульсов на выводах 8 и 11 при замыкании вывода 14 микросхемы с выводом 4.

Операция 4. Проверка исправности компаратора ШИМ DA2.

Не включая БП в сеть, подать на вывод 12 управляющей микросхемы питающее напряжение 10-15В от отдельного источника. Убедиться в исчезновении выходных импульсов на выводах 8 и 11 при замыкании вывода 14 микросхемы с выводом 3.

Операция 5. Проверка исправности усилителя ошибки DA3.

Не включая БП в сеть, подать на вывод 12 управляющей микросхемы питающее напряжение 10-15 В от отдельного источника.

Проконтролировать уровень напряжения на выводе 2, которое должно отличаться от нуля. Изменяя напряжение на выводе 1, подаваемое от отдельного источника питания, в пределах от 0,3 В до 6 В: проконтролировать изменение напряжения на выводе 3 микросхемы.

Операция 6. Проверка усилителя ошибки DA4. Не включая ИБП в сеть, подать на вывод 12 управляющей микросхемы питающее напряжение 10-15В от отдельного источника.

Проконтролировать уровень напряжения на выводе 3. Предварительно выставив усилитель DA3 в состояние «жесткого 0» на выходе. Для этого напряжение на выводе 2 должно превышать напряжение на выводе 1. Проконтролировать появление напряжения на выводе 3 при превышении потенциалом, подаваемым на вывод 16, потенциала, приложенного к выводу

Третьей характерной неисправностью является выход из строя выпрямительных диодов во вторичных цепях ИБП (как правило, это пробой или уменьшение обратного сопротивления диода). Обращаем **особое** внимание на правильный выбор заменяемого диода по току, граничной частоте переключения и обратному напряжению».

В канале выработки +5 В стоят диоды Шоттки. А в остальных каналах – обычные кремниевые диоды. Необходимо обеспечивать хороший теплоотвод для выпрямительных диодов в каналах выработки +5 В и +12 В.

При контроле выпрямительных диодов желательно выпаивать их из схемы, т.к. как правило, параллельно им подключены многочисленные элементы, и контроль диодов без выпаивания их из схемы в этом случае становится некор-

ректным. Немаловажно БП может вырабатывать все выходные напряжения, а сигнал PG будет равен 0В и процессор будет заблокирован.

В схему выработки сигнала PG входит достаточно много элементов, которые тоже могут выйти из строя. Перечисленные неисправности являются основными и, как правило, несложными для поиска. Иногда сбои, возникающие в схеме БП в процессе проведения измерений, приводят к аварийным режимам работы силовых транзисторов. Сбои могут вызываться увеличением значения монтажной емкости элементов схемы БП в месте подсоединения измерительных щупов прибора. Сетевой предохранитель (3÷5А) всегда расположен на монтажной плате БП и практически защищает сеть от коротких замыканий в БП, а не БП от перегрузок. Практически всегда перегорание сетевого предохранителя сигнализирует о выходе БП из строя.

Своеобразным индикатором работающего ИБП может служить вращение вентилятора, который запускается выходным напряжением +12 В (либо -12В).

Однако для вывода БП в номинальный режим и корректного контроля всех выходных напряжений БП необходима внешняя нагрузка либо на системную плату, либо на сопротивления, обеспечивающие получение всего диапазона токовых нагрузок. Для оценки работоспособности ИБП в первом приближении можно воспользоваться нагрузочным резистором с номиналом порядка 0,5 Ом и рассеиваемой мощностью не менее 50 Вт по каналу выработки +5 В. **Исправный ИБП должен работать бесшумно.** Это следует из того, что частота преобразования находится за пределом верхнего порога диапазона слышимости. Единственным источником акустического шума является работающий вентилятор.

Если кроме гудения вентилятора прослушиваются писк, «цыканье» или другие звуки, то это однозначно свидетельствует о неисправности ИБП или о его нахождении в аварийном режиме! В этом случае следует немедленно выключить ИБП из сети и устранить неисправность.

Для более сложных случаев выхода из строя ИБП необходимо хорошо представлять принципы работы ИБП, причинно-следственную взаимосвязь отдельных узлов схемы и конечно, иметь принципиальную схему данного блока питания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гусев В. Г. Электроника и микропроцессорная техника: учеб. для вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. — 3-е изд. перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 2004. — 790 с.
2. Быстров Ю. А. Электронные цепи и микросхемотехника: учеб. / Ю. А. Быстров, И. Г. Мироненко. — М.: Высш. шк., 2002. — 384 с.
3. Степаненко И. П. Основы микроэлектроники: учеб. пособие для вузов / И. П. Степаненко. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2003. — 488 с.
4. Хоровиц П. Искусство схемотехники / П. Хоровиц, У. Хилл: пер. с англ. — 6-е изд. — М.: Мир, 2003. — 704 с.
5. Довгун В. П. Электротехника и электроника: учеб. пособие: в 2-х ч. Ч. 2. / В. П. Довгун. — Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. — 252 с.
6. Сажнёв А. М., Рогулина Л. Г. Электропреобразовательные устройства радиоэлектронных систем: учеб. пособие / Новосибирск, 2011. — 220 с.
7. Дурнаков, А. А. Электропитание устройств и систем телекоммуникаций. Принципы построения выпрямителей, фильтров, стабилизаторов : учеб.-метод. пособие / А. А. Дурнаков. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 108 с.
8. Гришина Л. М., Павлов В. В. Полевые транзисторы / Л. М. Гришина, В. В. Павлов. — Минск 1982.
9. Игуменов Д. В., Громов И. С. Эксплуатационные параметры и особенности применения ПТ / Д. В. Игуменов, И. С. Громов. — Минск 1981.
10. Опадчий Ю. Ф. Аналоговая и цифровая электроника / Ю. Ф. Опадчий. — Минск. — 1991.
11. Electric Cars [Электронный ресурс]. — URL: <http://electric.info/> (дата обращения 13.10.2023)
12. URL: <http://www.radioforall.ru>
13. Малышенко Ю. В., Стыцюра Л. Ф., Саяпин Ю. Л. Техническая диагностика: учебное пособие / под общ. ред. Ю. В. Малышенко. — Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2010. — 302 с.
14. Турулин И. И. Преобразование аналоговых измерительных сигналов: учеб. пособие / И. И. Турулин, В. Г. Галалу. — Таганрог: Изд-во Таганрог. ин-та имени А.П. Чехова, 2015. — 132 с.
15. Киселев Ю. В. Основы теории технической диагностики / Ю. В. Киселев. — Самара: СГАУ, 2004. — 138 с.
16. Кашкаров А. П. Импульсные источники питания. Схемотехника и ремонт / А. П. Кашкаров. — Издательство: ДМК Пресс Серия: Все об электронике: 2016. — 186 с.
17. Ногин В. Н. Аналоговые электронные устройства / В. Н. Ногин. — 2015.
18. Гальперин М. В. Электронная техника. ПО / М. В. Гальперин. — Инфра. — М, 2017.
19. Артамонов Б. И., Бокуняев А. А. Источники электропитания Радиоустройств / Б. И. Артамонов, А. А. Бокуняев. — ДМК Пресс, 2015.
20. Киселев Ю. В. Основы теории технической диагностики / Ю. В. Киселев. — Самара: СГАУ, 2004. — 138 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Основы технической диагностики	4
1.1.Основные понятия, термины и определения.....	4
1.2. Место и роль технической диагностики в системе технической эксплуатации медицинской техники.....	7
1.3. Общие сведения о методах диагностики и их классификация	11
2. Теоретические основы систем технической диагностики	15
2.1. Виды систем технической диагностики.....	15
2.2. Математические методы принятия решения в системах технической диагностики и контроля.....	18
3. Математические модели в технической диагностики.....	20
3.1. Основные понятия.....	20
3.2. Функциональная модель.....	24
4. Импульсный блок питания и его отличия от обычного аналогового	26
4.1. Достоинства и недостатки.....	29
4.2.Трансформаторные блоки питания.....	32
5. Исследования источника вторичного электропитания	40
5.1. Типовые неисправности БП ПК.....	42
Библиографический список.....	46

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА БЛОКОВ ПИТАНИЯ
И АНАЛОГОВЫХ СИСТЕМ:
ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению практических работ для студентов специальностей
12.02.10 «Монтаж, техническое обслуживание и ремонт биотехнических
и медицинских аппаратов и систем» и 12.02.06 «Биотехнические
и медицинские аппараты и системы»
очной формы обучения

Составители:

**Винокурова Ирина Михайловна
Горожанкина Ольга Владимировна
Солощенко Людмила Олеговна**

Издается в авторской редакции

Подписано к изданию 30.11.2023.
Уч.-изд. л. 2,7.

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»
394006 Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84