

В. И. Пожув

В. В. Радченко

**ИНФОРМАЦИОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИАГНОСТИКИ,
КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ В
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ**

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Запорожская государственная инженерная академия

В. И. Пожуев
В. В. Радченко

**ИНФОРМАЦИОННО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИАГНОСТИКИ,
КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ В
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТАХ**

МОНОГРАФИЯ

Запорожье
ЗГИА
2011

УДК 681.518:519.72
ББК 32.965
П 469

*В. И. Пожуев, доктор физико-математических наук, профессор
В. В. Радченко, кандидат технических наук, доцент*

*Рекомендовано к изданию:
решением ученого совета Запорожской государственной
инженерной академии (протокол № 4 от 01.12. 2011 р.)*

Рецензенты:

*М. А. Алексеев, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой
программного обеспечения компьютерных систем Днепрпетровского
Национального горного университета;*

*В. П. Волков, доктор технических наук, профессор, проректор по НПП
Запорожского Национального университета;*

*И. Г. Яковлева, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой
теплоэнергетики Запорожской государственной инженерной академии*

Пожуев В. И.

П 469 Информационно-энергетическое обеспечение диагностики, контроля и управления
в энергетических объектах: монография / В. И. Пожуев, В. В. Радченко; Запорожская
государственная инженерная академия. – Запорожье: ЗГИА, 2011. – 182 с.
ISBN 978-966-8462-57-3

Рассмотрены основные подходы к организации информационного обеспечения технических систем, основные определения и характеристики информации, энергии и материального содержания, а также средства их учета и практического применения. Показаны основные требования, возможности и критерии рационального обеспечения технических систем. Отражена роль содержательной составляющей информации и ее отдельных аспектов. Сформулированы основные принципы энерго-информационного обмена в технических системах. Приведены примеры практической реализации предлагаемого подхода в системах диагностики, контроля и управления энергетическими объектами..

Может быть использована при подготовке студентов энергетических специальностей высших учебных заведений, а также аспирантами, научными сотрудниками и специалистами.

Ил. – 50, библиографический список – 61 наименование.

УДК 681.518:519.72
ББК 32.965

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ	7
1. 1. Основные определения и характеристики информации	8
1. 2. Семантический аспект, его роль и значение в технических системах	29
1. 3. Влияние. Действующая и мгновенная составляющие информации	72
2. ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	77
2. 1. Основные определения и характеристики энергии	77
2. 2. Практический подход к энергии и энергоносителям	81
2. 3. Практика использования энергии	82
2. 4. Энергетические компоненты гидроэнергетики	84
2. 5. Основные компоненты энергетики ГЭС	86
2. 6. Особенности гидроэлектроэнергетических систем	88
3. ЭНЕРГО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	91
3. 1. Влияние энергетических и информационных составляющих на качество энергетических процессов	91
3. 2. Особенности энергоинформационных взаимодействий	93
3. 3. Влияние энергетических и информационных составляющих на качество энергетических процессов	95
3. 4. Энергоинформационный обмен	98
4. МАТЕРИАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ	101
4. 1. Основные определения и характеристика материи	101
4. 2. Общая характеристика материальной составляющей в энергетике	102

4. 3. Информационный аспект материальных систем	105
4. 4. Материально-информационный баланс	106
4. 5. Информация и энергия в механике и гидромеханике	107
4. 6. Результирующий баланс системы	108
5. ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК	110
5. 1. Коммуникации и информационные их влияния	111
5. 2. Основные характеристики энергетических каналов	112
5. 3. Особенности энергоинформационных коммуникаций	113
5. 4. Влияние характеристик коммуникационных каналов	114
6. ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛАГАЕМЫХ РЕШЕНИЙ	121
6. 1. Особенности реализации измерительных схем переменного напряжения	121
6. 2. Системы контроля электрического оборудования	150
6. 3. Защита от неполнофазных режимов	152
6. 4. Динамическая балансировка вала гидрогенератора	154
7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭНЕРГО-ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ	157
7. 1. Системы управления РПН	157
7. 2. Системы возбуждения синхронных генераторов	159
7. 3. Система стабилизации производительности электролизера	164
7. 4. Системы зажигания ДВС	168
ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ	171
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	172
ЛИТЕРАТУРА	174

ВВЕДЕНИЕ

В современной энергетике все больше внимания уделяется не только и не столько вопросам повышения качества генерируемой электроэнергии, но и эффективности действия энергетических преобразователей. Это обусловлено прежде всего достаточно жесткими действующими экологическими ограничениями. Фактор экологичности энергетики при этом существенно влияет на тенденции ее развития.

Немаловажное значение в данном контексте имеет качество оснащения и обеспечения технологических процессов.

Энергия и информация определяют возможности технических систем наряду с их материальной составляющей, обеспечивающей основу.

Поэтому проблема организации указанных составляющих, структуризации и взаимодействия является чрезвычайно актуальной, особенно в разрезе обеспечения требуемой эффективности их взаимодействия.

Не секрет, что весьма распространенным способом развития многих существующих технических систем является экстенсивный метод, приводящий к достаточно низким общим показателям эффективности при неоправданном их усложнении.

Основной причиной этого чаще всего является отсутствие учета и целенаправленного использования взаимного влияния основных групп составляющих: материальных, энергетических и информационных (МЭИ) при проектировании, создании и эксплуатации существующих технических систем.

Системный учет основных указанных групп факторов позволяет не только преодолевать экстенсивные тенденции, но и добиваться на практике принципиально новых качеств и свойств технических объектов.

В данной работе рассматриваются основные свойства перечисленных групп факторов, возможности их взаимодействий и влияний.

В первом разделе приведены основные подходы к организации информационного обеспечения технических систем. Рассмотрены основные определения и характеристики информации, а также средства учета и практического применения. Показаны основные требования и критерии информационного обеспечения технических систем. Отражена роль содержательной составляющей информации и ее отдельных аспектов.

Во втором разделе приведены основные определения и характеристики энергии. Уделено внимание особенностям проявления и взаимодействия энергетических составляющих технических задач.

Третий раздел посвящен энерго-информационным взаимодействиям в технических системах. Рассмотрены основные подходы к вопросам качества процессов. Сформулированы основные принципы принципов энерго-информационного обмена в технических системах.

В четвертом разделе приведены основные понятия, определения, задачи и методы формирования материальных составляющих технических объектов. Результирующий баланс системы

Пятый раздел посвящен особенностям влияния коммуникационных характеристик различных составляющих.

В шестом разделе приведены примеры реализации на основе предлагаемого подхода.

Седьмой раздел посвящен использованию возможностей энерго-информационного обмена в системах управления энергетическими объектами.

Таким образом показаны основные возможности применения МЭИ подхода к организации обеспечения процессов диагностики, контроля и управления технических систем в гидроэнергетике.

1 ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ОРГАНИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Информацию в настоящее время правомерно и обоснованно считают неразрывным свойством всего сущего, важным компонентом окружающего материального мира.

Сама информация представляет собой одно из удивительных, основных свойств материальных объектов и наряду с энергией определяет их возможности. В плане философском она представляет собой важную неотъемлемую сущность материального мира.

Отдельные компоненты и предметы способны взаимодействовать на энергетическом и информационном уровнях, которые по сути также взаимосвязаны. Энергоинформационное взаимодействие обеспечивает единство природы.

По мнению академика Н. А. Амосова всякое взаимодействие связано с передачей информации. Информация при этом определяется как определенный аспект взаимодействия.

Эффективность управления непосредственно зависит от качества информационного обеспечения. В свою очередь информационное обеспечение включает сбор, обработку и использование данных.

Диагностика, контроль и управление процессами преобразования и использования энергии непосредственно основаны на применении содержательных информационных составляющих указанных процессов.

Поэтому важным вопросом представляется детализация представлений о данном явлении и его возможностях применительно к основным рассматриваемым задачам.

1. 1 Основные определения и характеристики информации

Согласно философским представлениям информация (от лат. *Informatio* - ознакомление, разъяснение, представление, понятие)), — понятие практически используемое, развиваемое с давних времен и получившее в последнее время новые, более емкие значения благодаря результатам ряда наук на основе кибернетики, где она выступает в качестве одной из основных категорий, /1/.

С точки зрения философской именно явление, как категория, несет информацию о скрытой сути вещей. Она в свою очередь непосредственно проявляется в движении, изменении, развитии и т. п. Именно поэтому информация не прямо связана с сущностью, а через явление, /2/. Таким образом предполагается наличие и существование смысловых, содержательных компонентов в любой системе, определяющих качество указанных явлений или проявлений.

Существует даже, так называемый, информационный подход к решению различных практических задач в любых областях знаний. Он основан на использовании идей и инструментов, в первую очередь математических, позволяющих использовать его в качестве общенаучного средства исследования.

Системный подход также имеет выраженную содержательную информационную основу.

Следует отметить, что при этом, до сих пор не существует единого, общепризнанного и общепринятого универсального и всеобъемлющего определения информации. Поэтому рассмотрим основные направления, с нескольких наиболее распространённых точек зрения.

С точки зрения логики ИНФОРМАЦИЯ представляет собой сведения о чем либо, передаваемые любым способом и в любой форме.

К основным понятиям кибернетики также относится

ИНФОРМАЦИЯ. Однако кибернетика несколько расширила сферу практических приложений, выведя ее за пределы человеческой речи и других форм коммуникации между людьми, связала указанное понятие с целенаправленными системами любой природы — биологическими, техническими, социальными.

В настоящее время наиболее употребительным является такое определение: **ИНФОРМАЦИЯ** — это совокупность фактов, явлений и событий, представляющих интерес для пользователя и подлежащих обработке. Однако и оно не может быть полным, поскольку не учитывает важные потребности и особенности технических систем.

Тем не менее, с середины XX в. **ИНФОРМАЦИЯ** считается понятием общенаучным, включающим:

- обмен сведениями (данными) между людьми, автоматами, людьми и автоматами;
- обмен сигналами в растительном и животном мире;
- передачу признаков от клетки к клетке, от организма к организму;
- упорядоченность структур и свойства материальных объектов.

При этом, общие свойства информации, независимо от ее смыслового содержания, а также способы математического описания и количественной оценки, методы кодирования передачи и хранения, извлечения и классификации, являются предметом изучения теории информации и информатики.

Теория информации на данный момент (теория сообщений) — это раздел кибернетики, который с помощью математических методов изучает способы измерения количества информации в сообщениях, методы кодирования. Использует методы теории вероятностей, математической статистики, функционального анализа и др. Преимущественно применяется для расчетов, оценок пропускной способности каналов связи и управления.

Информатика — отрасль науки изучающая структуру и общие свойства информации, а также вопросы сбора, переработки, хранения, поиска, преобразования, распространения и использования ее в различных сферах практической деятельности, в том числе и в инженерной, /3/.

К теории информации в классической постановке вопроса относят результаты решения ряда фундаментальных теоретических вопросов, относящихся к повышению эффективности функционирования систем связи. Это, в первую очередь, обуславливает:

- - анализ сигналов как средств передачи сообщений, включающий вопросы оценки количества и качества переносимой информации.
- - анализ информационных характеристик источников сообщений и каналов связи, влияние принципов кодирования и декодирования на скорость передачи сообщений и помех.

При более широкой трактовке теории информации результаты рассмотрения указанных вопросов составляют ее основу.

Указанное расширение с приложением теории к технике связи непосредственно связано с проблемами разработки методов и средств кодирования сообщений. В этом случае совокупность решаемых вопросов называют теорией информации и кодирования или прикладной теорией информации.

В настоящее время прикладная теория информации выходит за рамки достаточно ограниченных проблем связи и затрагивает более широкий круг вопросов, в том числе технических и экономических. Так, например, учет производства, движения и реализации товарных масс, а также управление любыми перемещениями невозможны без кодирования. Реверсивное кодирование составляет основу автоматизации процессов учета и управления.

Существует и иная точка зрения, которая глобальной проблемой

теории информации представляет преимущественно коммуникационную, — разработку принципов оптимизации систем связи в целом, приема сообщений и ряд др.

Третьей крайней точкой зрения в теории информации относят все проблемы и задачи, в формулировку которых входит само понятие информации. Ее предметом считают изучение процессов получения, передачи, хранения, обработки и использования информации. В такой постановке затрагиваются проблемы многих существенно различных наук (кибернетики, биологии, психологии, лингвистики, педагогики), причем на всех трех возможных уровнях (синтаксическом, семантическом и прагматическом).

Стремление к широкому использованию теории информации в различных областях науки и техники объективно и связано прежде всего с тем, что в своей основе она математическая.

Основные ее понятия в количественном приложении (энтропия, количество информации, пропускная способность) определяются вероятностями событий, которым может быть поставлено в соответствие любое физическое содержание. Это позволяет моделировать и использовать информационные процессы в любых практических приложениях и ситуациях.

Однако при этом практически не учитывается содержательная часть информативного обеспечения технических систем, что фактически препятствует достижению целей их функционирования и приводит к неоправданным затратам, - материальным, энергетическим и иным.

Поскольку в классической теории строгое определение понятия информации отсутствует, но и наряду с этим фактически имеется только определение количества информации, следует уточнить ее в данном контексте.

В данном подходе, применительно к техническим системам, в

частности энергетическим, представляется целесообразным следующее определение информации.

Информация — это формирующая основа совокупности необходимых и достаточных потенциалов, направлений и влияний, обеспечивающих требуемый уровень функциональности технической системы или процесса.

С позиций данной работы конструктивным для практики представляется также определение В. М. Глушкова: «Информация — мера неоднородности в распределении энергии (вещества) в пространстве и во времени».

Формы представления такой информации при этом могут быть различны, более того, определяться потребностями конкретных задач, поэтому имеет смысл классификация данного понятия.

1. 1. 1 Основы классификации информационных составляющих технических систем

Классификация информации может быть осуществлена на основе различных подходов.

По отношению к объекту информация может быть внутренней или внешней, текущей или стабильной.

По назначению выделяют информацию диагностическую, контрольную и управляющую.

По виду представления — аналоговой (непрерывной) и дискретной. Источниками информации могут быть измерительные устройства, датчики или вычислительные устройства.

По функциональному назначению различают информацию: диагностическую, контрольную и управляющую.

По характеру использования — основная и вспомогательная.

По потокам, — основной и обратной связи.

По источникам: измерительные преобразователи, датчики, вычислительные устройства.

По происхождению: первичная и преобразованная.

По качествам различается статическая и динамическая.

Основные классификационные характеристики информации приведены в табл. 1. 1.

Таблица 1. 1. Основные классификационные характеристики информации

Вид, происхождение	Характер	Источник	Влияние
Аналоговая	Непрерывная	Любой	Постоянное
Дискретная	Прерывистая	Любой	Циклическое
Внутренняя	Порождаемая	Внутренний	Стабилизирующее
Внешняя	Привнесенная	Внешний	Возмущающее
Стабильная	Малоизменяемая	Любой	Статическое
Оперативная	Быстроизменяемая	Любой	Динамическое
Первичная	Измеренная	Датчик	Прямое
Вторичная	Преобразованная	Преобразователь	Опосредованное

В таблице приведены преимущественные характеристики различных видов информации

Дискретную информацию, приведенную к обобщенному виду, доступному для обработки различного рода автоматизированными и автоматическими информационными системами, техническими, управляющими и т. п., часто называют *данными*.

Различают исходные (входные), промежуточные и выходные (результатирующие) данные. Физическая основа данных и их смысл при этом игнорируются.

Данные состоят из отдельных составляющих, называемые *элементарными данными* или *элементами, данных*. Элементы данных могут быть различных типов.

Типы данных, прежде всего, зависят от значений, которые эти данные могут принимать.

Данные представляются абстрактными числами. Данные могут быть переменными и постоянными.

Для идентификации различных данных употребляются специальные наименования элементарных данных, называемые *идентификаторами*.

Они по сути являются аналогами переменных величин, фигурирующих в курсе математики. Область значений, которые могут принимать эти переменные, определяется типом элементов данных, именами которых они являются.

Для постоянных величин значение величины может служить и ее именем. Чаще всего они представляет собой *константы*.

Имеет смысл также выяснить возможности традиционных количественных подходов в решении указанного круга задач.

1. 1. 2 Количественные подходы и их возможности

Основы количественной теории информации созданы известным математиком и инженером Клодом Шенноном применительно к технике связи и кибернетике. Развиты Р. Хартли. Их работы предопределили направление развития общей теории дискретных автоматов. Дискретные автоматы в виде микропроцессоров в настоящее время составляют основу устройств обработки и передачи информации.

Микропроцессор, — это цифровое устройство с гибкой, программируемой логикой — универсальный, максимально обобщенный инструмент обработки информации. В плане концептуальном, он практически нивелирует различие между адресами

и данными. Поэтому и теоретические основы информации максимально приближены к указанной концепции.

В статье К. Шеннона и У. Уивера "Математическая теория связи" (1947) сформулирована математическая теория информации (И) на основе понятия вероятности. В вероятностной теории под И. понимаются не любые сообщения, а только лишь те, которые уменьшают неопределенность у получателя И. Например, вопрос: "Какой из мощных источников энергии наиболее динамичен?" по своей сути существенно неопределен. Сообщение о том, что таким источником является гидроагрегат устраняет неопределенность, следовательно содержит информацию. Однако если это уже известно получателю И., то такое сообщение для него также не информативно.

Единицей измерения количества И. принята такая И., которая позволяет осуществить выбор из двух равновероятных возможностей.

Например, некоторое утверждение может быть как истинным, так и ложным.

В настоящее время наиболее распространенным является определение понятия И. на основе категории разнообразия, разработанное У. Эшби. Согласно указанной теории И. существует только там, где есть разнообразие. Различие двух объектов считается элементарным различием и принимается за единицу измерения И.

Единицей И, согласно этой теории, есть такая, которая позволяет осуществить выбор из двух равновероятных возможностей разнообразия. Если нет различий, то нет и И. Чем более различны объекты некой совокупности, тем больше И. они содержат.

Необходимо отметить, что в приведенных подходах есть определенные признаки общности. Они состоят в двух указанных альтернативах И.

В качестве материальных носителей информации чаще всего

выступают сигналы — определенные физические элементы или процессы, способные хранить и распространять информацию. Сигналы, как физические явления имеют присущие им свойства и допускают математические их представления, /4/.

Следует также отметить, что указанные выше подходы, строго рассуждая, предполагают действия не собственно над информацией, а над ее производными.

Таковыми производными являются кодированные сигналы и их последовательности. Это также способствует нивелированию содержательного наполнения информации и снижает возможности и эффективность данных подходов, особенно явно проявляющихся в системах диагностики, контроля и управления технических и в частности энергетических объектов.

Цифровые устройства ориентированно выполняют определенный круг действий над кодированными сигналами.

Кодирование — достаточно универсальный способ фиксированного отображения информации, задаваемый соответствием между элементами сообщений и сигналами, с помощью которых они фиксируются. Позволяет решить проблему автоматизации переработки количественной информации.

При количественных подходах, в любых информационных процессах одна из основных задач — выражение или измерение их количественных характеристик. Эти проблемы решены в работах К. Шеннона.

Однако, при этом Шеннон отмечает: «Часто сообщения имеют значение, т. е. относятся к некоторой системе, имеющей определенную физическую или умозрительную сущность ... Эти семантические аспекты связи не имеют отношения к технической стороне вопроса».

Эшби также полагал, что «Передаваемая информация не является

внутренним свойством индивидуального сообщения».

С указанными мнениями с современных позиций согласиться невозможно, поскольку именно семантика определяет изменения в технических системах.

Указанные выводы по своей сути механистичны и не могут считаться корректными по отношению к требуемому информационному обеспечению систем диагностики, контроля, управления, а также любых систем целесообразного поведения. Поскольку именно в них существенно превалирует доля содержательной составляющей по отношению к количественной.

Количественная мера информации предложена Р. Хартли (1928).

В количественной теории информации основным операционным компонентом является слово, которое в свою очередь представляется комбинацией букв. Набор допустимых букв составляет алфавит.

Если алфавит содержит некоторое P букв (символов), а X - число символов в слове, то существует N слов, определяемых соотношением

$$N = P * X.$$

При этом вопрос может состоять только о том, все ли слова разрешены. Последнее обстоятельство может вносить дополнительные ограничения.

Если количество информации в сообщении пропорционально его длине, то

$$\log N = X \log P.$$

Количество информации фиксированного сообщения определяется, как

$$I = X * \log P. \quad (1. 1)$$

Приведенные соотношения заложены в основу практически всех существующих в настоящее время систем электронного кодирования. Они определяют формы представления информации и соответствующие

им технические решения.

В самом простом случае количество информации I связывают с математической мощностью исходного множества N линейной зависимостью: $I = N$. В общем случае она нелинейна

$$I(X) = \log_2 N.$$

Однако логарифмическая мера количества информации, будучи монотонно возрастающей, удовлетворяет не только условию аддитивности, но и естественным образом возникает во многих практически важных задачах.

В то же время Эшби практически ту же величину считает энтропией множества

$$H(X) = \log_2 N.$$

В этом случае единицей информации и энтропии служит логарифм мощности множества, состоящего из двух элементов, например множества значений одного двоичного разряда (0 и 1). Такую единицу называют двоичной, или битом.

Группу битов фиксированного размера соответственно именуют байтом.

Это явные количественные размерности, характерные для процессов обработки, передачи и хранения информации.

Объемы передаваемой информации измеряют бодами (бит/сек).

При этом, в теории информации наряду с двоичной единицей, битом, применяется также и натуральная единица, нат — представляющая собой натуральный логарифм равновероятных возможностей, /5/.

$$N_{\text{нат}} = N_{\text{бит}} \ln 2 = 0,693 N_{\text{бит}},$$

При использовании числа десять единицы измерения информации могут быть названы десятичными единицами, так как

$$\log_2 M = \log_{10} M / \log_{10} 2 = 3,32 \log_{10} M,$$

тогда десятичная единица составляет примерно 3,3 бита.

При аналитических расчетах, особенно когда имеют место операции интегрирования и дифференцирования, часто удобно использовать основание e . Получающиеся при этом единицы информации иногда называют натуральными. Они также имеют ряд ценных свойств.

Так, переход от основания a к основанию b требует только умножения числа на $\log_b a$.

Следует отметить, что бит фактически не только не является мерой информации, но и не может выполнять ее функции принципиально в силу своей явной количественной природы.

Очевидно, что в приведенных теориях речь преимущественно идет не столько о количественных единицах информации, сколько о физическом выражении информационной емкости носителей, коммуникаций и т. п., а также явно отсутствует семантическая, содержательная единица информации, которая вполне может именоваться, например, — сем. (sem)

Однако необходимо также определение физической меры ее влияния. Но этот вопрос ввиду его важности может и должен быть предметом отдельного исследования.

Вполне очевидно, что семантическая единица информации должна быть непосредственно связана с ее влиянием.

Предварительно указанную величину на уровне техническом вполне возможно, например, определять и учитывать по ее эквивалентному энергоинформационному действию, как

$$N_{\text{sem}} = k E t$$

Для практической оценки информационных содержательных влияний, представляется возможным и целесообразным считать, что 1 сем эквивалентен по действию дополнительной мощности в 1 Вт.

Это позволяет производить техническую оценку любых информационных влияний в их энергетическом эквиваленте, с достаточной для технических целей точностью.

Таким образом, в количественной теории информации практически не представлена основная для реализации любых процессов, содержательная ее составляющая. Однако, ее необходимость очевидна, поскольку именно она является действующим началом организации технических систем и процессов.

1. 1. 3 Количественные характеристики информации непрерывных множеств

Существенная часть технических задач в области измерения, контроля процессов, мониторинга и управления оперирует информацией в виде непрерывных бесконечных множеств.

К наиболее распространенным и важным задачам регулирования переменного напряжения относится непрерывное измерение текущего его значения. Это типичный процесс извлечения текущей информации бесконечных множеств.

Выше рассмотрены определения количественных мер, пригодных для выражения количества информации только дискретных и, более того, конечных множеств, /6/. Однако с точки зрения не только дальнейшего развития теории, но и необходимости ее приложения к практически важным задачам, представляет интерес распространить основные положения теории на случай непрерывных множеств.

Строя теоретико-информационные понятия для непрерывных множеств, в данном контексте следует прежде всего подчеркнуть принципиальную сторону вопроса, не стремясь к наиболее общей математической форме описания.

Для непрерывного случая результаты можно получить следующим простым путем. На первом этапе исходное множество, имеющее мощность континуума, заменяется дискретным посредством деления на конечное число малых областей, например измерительных тактов и циклов. Для получившегося множества конечной мощности энтропия и количество информации могут строиться в соответствии с уже известными определениями. Далее интервал дискретизации исходного множества неограниченно уменьшают. Если построенные величины стремятся к пределам, то эти пределы и считаются значениями энтропии и количества информации для непрерывного случая.

Рассмотрим (в простейшем случае — на числовой оси) непрерывное множество X и допустим, что на нем задана известная плотность распределения вероятности $p(x)$ ($x \in X$). Из бесконечно большого набора элементов $x \in X$ выбирается такое конечное множество $X' = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, чтобы выполнялось равенство $X_{i+1} = X_i + \Delta x$ ($i = 1, 2, \dots, N - 1$), т. е. элементы множества X' выбираются из X с постоянным интервалом Δx . В соответствии со смыслом заданной на X плотности вероятности $p(x)$ вероятность реализации некоторого элемента $X_i \in X'$

$$P(x_i) = p(x_i)\Delta x. \quad (1.2)$$

Теперь энтропию цифрового конечного множества возможно представить в виде

$$H(X') = \sum_{i=1}^N -P(x_i) \log_2 P(x_i).$$

Откуда получаем

$$\begin{aligned} H(X') &= \sum_{i=1}^N -p(x_i) \Delta x \log_2 [p(x_i) \Delta x] = \\ &= \sum_{i=1}^N -[p(x_i) \log_2 p(x_i)] \Delta x - \sum_{i=1}^N (\log_2 \Delta x) p(x_i) \Delta x. \end{aligned}$$

Согласно тому, что предлагалось выше, переход к непрерывному случаю осуществляем, выбирая достаточно малое значение Δx . Получим

$$\sum_{i=1}^N [p(x_i) \log_2 p(x_i)] \Delta x \int_{-\infty}^{\infty} \rightarrow p(x) \log_2 p(x) dx,$$

$$\sum_{i=1}^N (\log_2 \Delta x) p(x_i) \Delta x \rightarrow \log_2 \Delta x \int_{-\infty}^{\infty} x p(x) dx,$$

причем, как непосредственно вытекает из определения плотности распределения вероятности, $\int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx = 1$. Тогда окончательная формула для энтропии непрерывного множества X примет вид

$$H(X) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log_2 p(x) dx - \log_2 \Delta x. \quad (1.3)$$

Первое слагаемое правой части (1.3) по структуре весьма схоже с энтропией конечного множества. Второе слагаемое, с уменьшением интервала дискретизации Δx , очевидно, стремится к бесконечности, а вместе с ним это происходит и с величиной $H(X)$. Указанное обстоятельство вполне объясняется смыслом энтропии как меры неопределенности — степень неопределенности непрерывного множества также должна быть бесконечно большой.

Если фиксировать интервал Δx , то удобно в качестве энтропии множества X рассматривать не величину (1.3), а так называемую приведенную, или дифференциальную энтропию;

$$H_d(X) = \int_{-\infty}^{\infty} p(x) \log_2 p(x) dx, \quad (1.4)$$

которая уже не зависит от значения Δx . Как видно из (1.3) и (1.4)

$$H(X) = H_d(X) - \log_2 \Delta x.$$

Это равенство позволяет считать, что фиксация интервала Δx в известном смысле аналогична заданию определенной системы координат, в которой степень неопределенности непрерывных множеств можно измерять дифференциальной энтропией, отвлекаясь от выбранного значения Δx .

Пользуясь такой методикой, большинство введенных ранее для конечных множеств понятий можно распространить на непрерывный случай, причем для соответствующих величин большая часть соотношений будет выполняться.

Например, рассмотрим два непрерывных множества X и Y , которые, вообще говоря, не независимы. Поэтому кроме плотностей распределений вероятностей $p_1(x)$ и $p_2(y)$ необходимо учитывать совместную плотность распределения $p(x, y)$ для прямого произведения множеств X и Y . Возможно построить выражения для совместной и условной энтропии:

$$H(X, Y) = - \int \int_{-\infty}^{\infty} p(x, y) \log_2 p(x, y) dx dy, \quad (1.5)$$

$$H(Y|X) = - \int \int_{-\infty}^{\infty} p(x, y) \log_2 p(x, y) / p_1(x) dx dy. \quad (1.6)$$

В (1.5) и (1.6) записаны приведенные энтропии.)

Исходя из того, что, согласно теории вероятностей,

$$P(x, y) = p(y|x) p_1(x), \quad p(x, y) = p(x|y)p_2(y),$$

возможно доказать, что энтропия непрерывных распределений обладает следующими свойствами.

1. $H(X, Y) \leq H(X) + H(Y)$, причем знак равенства имеет место только в том случае, когда множества X и Y независимы.

2. $H(X, Y) = H(X) + H(Y|X)$, т. е. теорема сложения энтропии выполняется и для непрерывных множеств.

3. Аналогично $H(Y|X) \leq H(Y)$.

Применив к определению взаимной информации предельный переход, можно построить соответствующее понятие для непрерывного случая:

$$I(Y|X) = - \int \int_{-\infty}^{\infty} p(x, y) \log_2 \frac{p(x, y)}{p_1(x)p_2(y)} dx dy. \quad (1.7)$$

Для взаимной информации непрерывных множеств (1.7) выполняется равенство:

$$I(Y, X) = H(X) + H(Y) - H(XY).$$

Весьма важно отметить, что в то время как энтропия непрерывного множества, оказывается бесконечной, мера количества информации в любом случае конечна. Это, в частности, можно объяснить тем, что при определении количества информации как разности между априорной и апостериорной энтропиями непрерывного множества бесконечно возрастающие члены типа $\log_2 \Delta x$ взаимно уничтожаются.

Это важное положение теории информации для непрерывных множеств может быть практически использовано для реализации контроля текущих значений переменного напряжения, например измерительным органом системы возбуждения гидрогенератора.

Однако понятия энтропии и количества информации применительно к индивидуальным объектам при этом оказываются достаточно условны.

Следует отметить, что числовое совпадение значений $H(X)$ и $I(X)$ возможно только в случае когда реализуемый процесс полностью снимает априорную неопределенность.

Приведенные варианты количественных мер информации по своей сути абстракты и абсолютно, принципиально отвлечены от ее смысловых характеристик.

Альтернативный рассмотренным выше вариант теории предложен А. Н. Колмогоровым — алгоритмический подход к построению информационной меры. Его особенности следующие.

Используются в качестве основных элементов алгоритмическая энтропия $H(x)$ и условная алгоритмическая энтропия $H(x|y)$.

Тогда по аналогии с определением взаимной информации

$$I(x, y) = H(x) - H(x|y).$$

Введение колмогоровской меры имеет основной целью уточнение понятий энтропии и количества информации, без использования

теоретико-вероятностного подхода, и применительно к индивидуальным объектам, а не к множествам объектов, как это рассмотрено выше.

Предложенный алгоритмический подход к построению информационной меры по сравнению с предыдущими двумя открывает совершенно новые возможности, определяя количество информации в одном индивидуальном объекте относительно другого, В этом случае отпадает необходимость, как рассмотрения исходного множества объектов, так и задания их статистических характеристик.

Считается, что достаточна информация о некотором объекте тогда и только тогда, когда возможно воспроизвести объект (модель объекта) по конечному набору его признаков (его описанию), контролировать или управлять им.

Возможности количественных теорий далеко не исчерпываются приведенными сведениями, однако они все имеют общий признак - отсутствие учета содержательных аспектов.

Следует отметить, что особенности различных подходов и решений в сфере количественных теорий информации достаточно полно разработаны, приведены в /6/. Они ориентированы на реализацию математической обработки фиксированной информации и ее передачу стандартными методами.

При этом соотношение между комбинаторным и вероятностным подходами к определению количества информации представляет собой один из центральных вопросов указанной информационной теории систем.

Показанная выше искусственная ограниченность подходов к трактовке и использованию информационных процессов механистична по сути, не отвечает природе, существу проблем практики управления и не обеспечивает их основные потребности.

При этом, по сути вся унифицированная вычислительная и коммуникационная информационная техника принципиально ориентирована на случайные события, концептуально основана на количественных подходах, которые не предусматривают какие либо действия в отношении смыслового содержательного наполнения.

Однако технические системы требуют информацию не только, а часто не столько о событиях, но и о их реальных параметрах и характеристиках. Поэтому крайне необходимо учитывать содержательные аспекты исследуемых событий.

1. 1. 4 Основные требования к информационному обеспечению технических систем

Недостатки количественных подходов к информационному обеспечению очевидны во многих практических ситуациях, но особенно наглядно проявляются в вопросах функционального обеспечения систем диагностики и управления. Это объясняется тем объективным обстоятельством, что функционально ориентированные устройства по своей природе содержательны.

Речь идет о том, что целенаправленное управление принципиально невозможно реализовать только лишь на основе количественных информационных характеристик канала управления. Этот путь заведомо экстенсивен, он автоматически приводит к явной избыточности и нерациональности технических объектов.

Как показано выше, механистичность количественных подходов не может считаться корректной по отношению к информационному обеспечению систем диагностики, контроля, управления, а также любых систем целесообразного поведения. Они не в состоянии обеспечить необходимые функциональные качества большинства технических систем. Поскольку именно в них существенно превалирует доля

содержательной составляющей по отношению к количественной.

Основные требования к информационному обеспечению технических систем определяются известными принципами необходимости и достаточности. Но при этом, необходимость преимущественно ориентирована на состав и структуры необходимых для реализации функции данных, а достаточность — больше на их полноту, содержательность и объемы.

При этом весьма важным оказывается выделение и использование именно необходимой контекстной информации, определяемой задачами и целями их функционирования.

Поэтому использование содержательной информации обусловлено самой природой функционирования технических систем.

Поскольку далеко не количества информации чаще всего играют основную роль в технических управляемых системах, учет семантики процессов обязателен. Особенно наглядно это обстоятельство проявляется в организации информационного обеспечения систем управления сложными техническими и технологическими объектами, к которым и относятся гидроэнергетические.

Качество информационного обеспечения определяется перечисленными факторами и способно оптимизировать не только структуры, но возможности и функции технических систем.

Существует также и ряд ограничений, требующих учета их влияния.

Необходимо при этом учитывать также объективно существующие информационные барьеры, способные существенно влиять на практическую реализацию процессов измерения, контроля и управления, ограничивая их возможности и эффективность.

Первым информационным барьером считается порог сложности управления системой, превосходящей возможности одного человека.

Согласно /3/, в процессе развития любой системы неизбежно наступает момент, когда резервы традиционных приемов совершенствования управления — организация и механизмы — оказываются исчерпанными.

Второй информационный барьер непосредственно связан с ограниченностью возможностей и пропускной способности преобразователей информации.

Момент, когда сложность задач управления системой превосходит этот порог, и есть основной и явный признак второго информационного барьера.

В плане преодоления существующих информационных противоречий и ограничений имеет смысл рассмотреть возможности существующих, в частности семиотических подходов к вопросам информационного обеспечения именно технических систем.

Не исключено, что такой подход расширит существующие представления и обеспечит требуемый уровень организации технических систем.

Семиотика (гр. semeiotos — обозначенный), согласно ее классическому определению, - наука о знаках и знаковых системах, о естественных и искусственных языках. Изучает виды знаков, графические изображения, сигналы, а также определяющие закономерности их сочетаний в различных системах. Включает три основных раздела, соответствующих различным подходам к исследованию знаковых систем: синтактику, семантику, прагматику.

Семантический аспект и в этом случае оказывается весьма важным фактором при реализации задач эффективного управления.

1. 2 Семантический аспект, его роль и значение в технических системах

Семантика (гр. *semantikos* — обозначающий), согласно существующего определения, - раздел языкознания, изучающий значение единиц языка, прежде всего слов, их содержательное наполнение.

При этом следует обращать внимание именно на физическую сторону семантической составляющей информации. Она практически не зависима от вида представления и отражает смысловую суть явления или процесса. Ее можно определить следующим образом.

Информация (сем.) — мера неоднородности в распределении энергии и материи во времени и пространстве.

Содержательный (смысловой) и аксиологический (ценностный) аспекты информации, имеющие существенный потенциал, часто не учитываются и практически не используются в технических системах. Этот экстенсивный путь часто приводит к явной избыточности, как конструктивной, так и энергетической.

Семантический аспект присутствует как необходимый компонент в любых технических системах, на любом функциональном уровне — информационном, материальном, энергетическом.

Существует ряд особенностей целевого определения, выделения, оценки и применения информации для заданных условий. Им следует уделить внимание. Прежде всего необходимо определиться с основными критериями указанных действий.

1. 2. 1 Основные критерии содержательного значения

Содержательное значение является по своей сути действующим началом информации, тем что позволяет формировать необходимые влияния.

Критерии содержательного значения информации позволяют определить необходимые составляющие и выделить требуемые существенные их значения. Немаловажны и критерии ценностных характеристик информации. Необходимо при этом различать статические и динамические компоненты содержательных значений информации.

Основные критерии определения семантики следующие:

- Содержательной частью информации считается такая, которая непосредственно влияет на достижение требуемой цели решаемой задачи.
- Содержательная составляющая отражает информационную действующую основу явления или процесса.
- Содержательный компонент обеспечивает достижение требуемого функционального уровня.

Действительно, понятие содержательной части достаточно относительно и объектно ориентировано. Содержательность непосредственно связана с объектом и целями использования информации.

Содержательная составляющая обязательно отражает информационную основу связанного с ней явления или процесса. Именно этим обстоятельством обусловлены возможности получения и использования требуемой контекстной информации.

Именно содержательный компонент способен обеспечить требуемый функциональный уровень технической системы в данном режиме.

Содержательную статическую компоненту можно представить в виде

$$\Delta I_C = f(x)$$

Она отражает независимую от времени, достаточно стабильную содержательную часть информации, контекстно связанную с параметром функционирования и актуальную для достижения цели.

Динамическая составляющая имеет вид

$$I_{CD} = \sum_{i=1}^N I_{ci}(x, t)$$

Она представляет собой текущую, изменяемую часть контекстно связанной информации, отражающую семантику функционирования и особенности реализации режима.

Основные критерии выделения эффективной содержательной составляющей следующие:

1. Эффективной составляющей информации является такая, которая существенно влияет на данную функцию или реализацию процесса;
2. Содержательная составляющая должна быть представлена в требуемом виде и необходимой для реализации форме;
3. Эффективность действия определяется преимущественно достаточными выделенными значениями;
4. Выделяемые значения не должны быть существенно искажены или ограничены;
5. Точность выделения компонентов определяется условиями достижения цели.

Эффективную содержательную статическую компоненту можно выразить как

$$\Delta I_{EC} = f(x_E)$$

Она отражает независимую от времени, стабильную содержательную часть информации, контекстно связанную с

параметром функционирования и непосредственно влияющую на достижение основной цели.

Эффективную содержательную динамическую компоненту можно представить

$$I_{ED} = \sum_{i=1}^N I_{ci}(x_E, t)$$

Она представляет собой текущую, изменяемую часть контекстно связанной информации, отражающую семантику функционирования и основу реализации режима.

Не менее важной проблемой является также определение ценностных характеристик информации. Указанная проблема в явном виде контекстно зависима. Это во многом определяет подходы к ее решению.

В /6/ рассмотрены ценностные характеристики количественных подходов и формализации понятия ценности информации. Указано, что достаточно простой формализацией понятия ценности количества информации является определение меры целесообразности управления.

Следует отметить, что единое определение ценности информации отсутствует. При этом существует множество совершенно различных ситуаций, в которых использование информации обеспечивает или может принести эффект. Этим объясняется существующее разнообразие формализаций понятия ценности информации.

Поэтому ценностью информации в широком смысле допустимо считать практически любую величину, характеризующую *максимальную* пользу, которую возможно извлечь из информации при *наилучшем* ее использовании

Чаще всего, в существующих теориях, понятия ценности информации и ее количества переходят друг в друга. Особенно наглядно это прослеживается при анализе коммуникационных процессов. При этом признается, что первое из приведенных понятие

преимущественно связано с внешним эффектом по отношению к системе, а второе — с внутренними затратами на передачу, хранение, воспроизведение, обработку информации.

В частности, достаточно распространенный апостериорный подход предполагает учет действий системы косвенно характеризующих информацию, на основании которой они совершаются. Он позволяет — наряду с полезной информацией, — различать и количественно оценивать вредную, поступающую в систему и ухудшающую ее состояние или положение.

При этом существующие теории абсолютной ценности информации рассматривают только материальный эффект. Количественные и структурные аспекты строения информации игнорируются.

Важно также то обстоятельство, что в практических ситуациях одной функции выигрыша далеко не всегда достаточно для удовлетворительного отражения цели функционирования системы.

Как правило, требуется оптимизация по многим различным критериям, а вместо простой экстремальности часто приходится рассматривать компромиссы.

При анализе систем высокой сложности часто вообще невозможно рассуждать о критериях, целях и т. п.. Тогда оптимальное решение может характеризоваться некоторой системой аксиоматических требований, зависящих от информационных ограничений, действующих в системе.

Следует также различать меры целесообразности управления и ценности информации. Мера целесообразности фактически является частью сферы ценности информации и определяться следующим образом

$$M_{ц} = \log_2 (p_1/p_0),$$

где p_1 — вероятность достижения цели на основе данной информации; p_0 — вероятность достижения цели при отсутствии этой информации.

Если считать, что траектории изменения состояния объекта соответствуют векторам и путям, показанным на рис. 1. 1, то достижение цели непосредственно зависит от уровня информационного обеспечения данного процесса.

При отсутствии информации выбор любого из возможных направлений равновероятен. Точка O — исходное положение, точка I — цель.

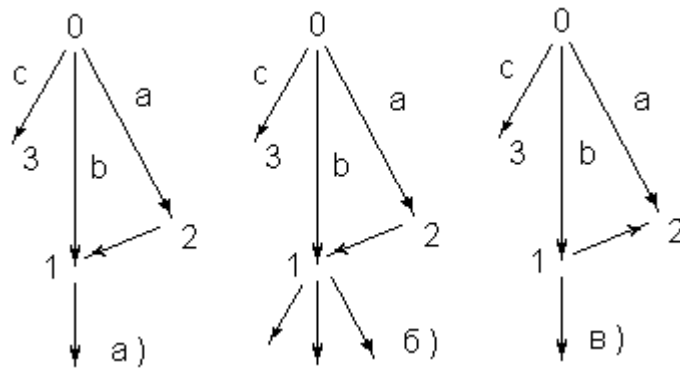


Рис. 1. 1 Векторы и пути достижения цели техническим объектом: а) соответствует семантической информации, б) - влияние вредной информации (помех) и с, - пустой или неактивной информации

Из точки O объект может попасть в точку I сразу по пути, соответствующему вектору b , никогда не попасть по вектору c или перейти в промежуточную точку 2 , сохранив возможность достижения цели на следующем шаге по вектору a . Векторы направления задаются качеством исходной информации.

Важным концептуальным моментом является то обстоятельство, что информация, заключенная в произвольном сообщении, может быть измерена только по отношению к некоторой фиксированной управляемой системе, причем при переходе к другой системе она может

изменяться не только количественно, но и качественно. Однако, при этом, существуют и определенные элементы общности в подходах.

Чаще всего цель функционирования любой технической системы — минимизация функции потерь путем выбора определенных управляющих воздействий u_1, \dots, u_n (u_t — управляющее воздействие в момент t):

$$R(\Theta, u_1, \dots, u_n) \rightarrow \min,$$

где параметр Θ характеризует структурные особенности, устройство объекта управления и имеет следующую интерпретацию: он включает в себя все то, что существенно для цели управления, но неизвестно. Однако распределение вероятностей параметра Θ может быть известным.

Поэтому рассматривается распределение ν (Θ) на пространстве Θ всех возможных значений параметра Θ . Вводимая функция неопределенности φ является функцией от распределения ν на Θ :

$$\varphi: M(\Theta) \rightarrow R,$$

где $M(\Theta)$ — множество всех вероятностных мер на Θ ; R — множество действительных чисел.

Следует учитывать и информацию об объекте — сообщение $y_t \in Y_t$ (где; Y_t — множество всех допустимых сообщений о состоянии объекта управления). При этом часто считают, что управляющие воздействия и значение параметра Θ определяют не конкретное значение сообщения y_t , а распределение на Y_t . Это описывается заданием соответствующих отображений

$$\mu: \Theta \times U_1 \times \dots \times U_t \rightarrow M(Y_t),$$

где $M(Y_t)$ — множество всех вероятностных мер на пространстве Y_t . Функция потерь также может быть отображением

$$R: \Theta \times U_1 \times \dots \times U_n \rightarrow R.$$

Задачу ее минимизации можно понимать по-разному из-за того, что значение параметра ϑ часто точно не известно.

В то же время само понятие ценности количества информации без учета принципа экстремальности становится некорректным. Это означает, что достаточность ценной информации непосредственно связана с ее количеством и/или содержательностью.

При этом ценность одного бита есть математическое ожидание повышения рабочего показателя устройства. Таким образом, понятие ценности количества информации связывает теорию информации с практикой ее использования на уровне импирическом.

В теории ценности количества информации, таким образом, возможно выделить два основных аспекта: прагматический и семантический.

Прагматический аспект заключается в поиске способа наилучшего использования фиксированного (или ограниченного сверху) количества информации для уменьшения средних потерь или увеличения среднего показателя.

Семантический аспект связан с постановкой противоположной задачи: найти минимальное количество информации, которое обеспечивает, при условии максимального использования его возможностей, уровень средних потерь, не превышающий заданного фиксированного уровня.

Найденное значение количества информации может и должно быть мерой смыслового содержания информации для данной системы и данной среды, в данных условиях. Однако оно приводит к явной избыточности количественных мер в системах контроля и управления.

Для случая ограничения энтропии снизу положительной константой, с отличной от нуля вероятностью система принимает менее выгодные решения, следовательно, средние потери возрастают. Чем

выше значения энтропии выбора, тем с большей вероятностью и частотой система принимает невыгодные решения.

Пусть $Y = \{y_1, y_2, \dots\}$ — множество возможных состояний, которые может принимать система (конечное или счетное). Состояние $y \in Y$ влечет потери $c(y)$ ($c: Y \rightarrow \mathbb{R}$ — функция потерь). Пара $\langle Y, c \rangle$ полностью описывает эту простейшую модель.

Распределение $p = \{p(y)\}$ на множестве Y известно. Ограничение состоит в том, что энтропия распределения p ограничена снизу числом $H \geq 0$:

$$H(p) = - \sum_{y \in Y} p(y) \log p(y) \geq H. \quad (1.8)$$

При этом должно выполняться основное условие

$$\sum_y p(y) = 1. \quad (1.9)$$

Требуется выбрать распределение p , минимизирующее средние потери:

$$R(p) = \sum_y c(y) p(y) \rightarrow \min, \quad (1.10)$$

минимум берется по всем p , удовлетворяющим (1.8), (1.9).

Задачу (1.8)—(1.10) возможно интерпретировать как задачу минимизации информационных издержек при требовании обеспечить пропускную способность (соответственно; информационную емкость) не ниже заданной.

Однако возможна и иная интерпретация: считать, что система может принимать решения только с некоторой неустранимой неопределенностью $H \geq 0$; требуется минимизировать средние потери в этих условиях.

Физическая интерпретация приведенной задачи (1.8)—(1.10) может быть такова: найти минимальную среднюю энергию тела при данном значении энтропии. В этой интерпретации Y —фазовое пространство системы (тела), $c(y)$ — энергия системы в состоянии y .

Следует учитывать, что разнообразие функций потерь, порождаемых практическими задачами управления, гораздо выше разнообразия физически определенных экстенсивных функций, таких как энергия, объем, число частиц и др.

Решение задачи (1. 8)—(1. 10) представляет собой распределение Гиббса:

$$p(y) = e^{-\beta c(y)} / \sum_y e^{-\beta c(y)}, \quad (1. 11)$$

В этом случае логарифм берется по натуральному основанию. (p , y — множители Лагранжа, соответствующие ограничениям (1. 8) и (1. 10) соответственно).

Функция Лагранжа, в свою очередь, имеет следующий вид

$$\begin{aligned} L[p(y_1), p(y_2), \dots; \beta, \gamma] = \\ = - \sum_y p(y) \ln p(y) - \beta \sum_y c(y) p(y) - \gamma \sum_y p(y). \end{aligned} \quad (1. 12)$$

Необходимое условие экстремума $dL/\delta p(y_1) = \delta L/\delta p(y_2) = \dots = 0$ [выражение $p(y_i)$ в данном случае рассматривается как единый символ, — как переменная, по которой определяется частная производная]. Это условие эквивалентно следующему выражению:

$$\forall y \in Y [1 \ln p(y) + 1 + \beta c(y) + \gamma = 0],$$

откуда

$$\forall y \in Y [p(y) = e^{-\beta c(y)} / e^{1+\gamma}]. \quad (1. 13)$$

Множитель Лагранжа β находится из ограничения (1. 8) для задачи (1. 8)—(1. 10). Он является *температурным параметром*, а величина $T = \beta^{-1}$ — *температурой*. При физической интерпретации T есть обычная температура (если положить постоянную Больцмана равной единице).

При теоретико-информационной интерпретации T является дифференциальной стоимостью энтропии (или дифференциальной ценностью т. н. негэнтропии).

Обычно приведенные задачи решаются сразу для всех допустимых значений T , находя зависимости $R(T)$ и $H(T)$ [$R(T)$ и $H(T)$ — значения средних потерь и энтропии соответственно для распределения Гиббса (1.11) при данном значении $T = \beta^{-1}$].

Если не считать при этом сложности определения статистической суммы

$$Z(T) = \sum_y e^{-\frac{c(y)}{T}}, \quad (1.14)$$

то вычисления достаточно просты.

Обе задачи решаются с помощью (1.14) и следующих соотношений. Определяется функция свободной энергии:

$$F(T) = -T \ln Z(T). \quad (1.15)$$

Имеют место равенства

$$H(T) = -\frac{d}{dT} F(T), \quad (1.16)$$

$$R(T) = F(T) + T H(T) \quad (1.17)$$

Температура в данном случае является дифференциальной стоимостью энтропии, что устанавливается соотношением

$$T = dR/dH. \quad (1.18)$$

Отождествление количества информации с величиной уменьшения энтропии, в существующих теориях достаточно распространено. Это согласуется с апостериорным подходом и с представлением об информации, как о мере устраненной неопределенности.

При таком, упрощенном, понимании T и есть дифференциальная ценность количества информации.

Принцип экстремальности здесь выполняется, поскольку рассматриваются экстремальные распределения; следовательно, информация действительно используется наилучшим (с точки зрения уменьшения потерь) образом.

$$A = T I,$$

где $A = \Delta F$, соответствует величине изменения свободной энергии под влиянием информации.

Количество информации по Хартли как известно не имеет вероятностной природы и определяется — для одного сообщения — просто как $\log M$, где M — общее число возможных сообщений.

Сообщение указывает номер k ($k = 1, \dots, M$) того элемента X_k разбиения

$$\xi = \langle X_1, \dots, X_M \rangle \left(\bigcup_{k=1}^M X_k = X; X_k \cap X_l = \emptyset \text{ при } k \neq l \right),$$

которому принадлежит значение $x_i \in X$ случайной величины x ; мера количества информации, содержащейся в одном сообщении, зависит, таким образом, только от числа элементов разбиения ξ .

Однако при полном отсутствии информации ценность 1 бита информации по Хартли будет равна $R(0) - R(1) = 1$.

Следует отметить, что в выборе оптимального разбиения ξ , собственно и проявляется семантический аспект теории ценности количества информации, так как указание одного из элементов разбиения ξ , и является по сути смысловым содержанием сообщений.

Таким образом, максимальная польза, которую можно извлечь из данного количества информации, прямо зависит от смысла сообщений, а полная ценность данного количества информации определяется, как своего рода, оптимизация смысла сообщений.

Для вероятностного, шенноновского количества информации также возможно рассмотрение двух следующих экстремальных задач

$$I(p) \leq I, R(p) \rightarrow \min_p; \quad (1.19)$$

и

$$I(p) \rightarrow \min_p, R(p) \leq R; \quad (1.20)$$

для обеих задач этой модели существует следующее ограничение

$$\sum_{u \in U} p(u|x) = 1 \text{ (для всех } x \in X); \quad (1.21)$$

минимизация — по всем условным распределениям $p = \{p(u|x)\}$.

Таким образом, задача (1. 19) выделяет прагматический, а задача (1. 20) - семантический аспект теории ценности количества информации. Это по сути явный экстенсивный подход к формированию информационного обеспечения.

Пусть задан уровень средних потерь R и требуется определить то минимальное количество информации $I(x, u) = I$, которое позволит (при условии наилучшего использования указанного количества) сделать средний уровень потерь не превосходящим R . Такое количество информации и представляет собой меру семантического содержания того потока сообщений, который фактически получает и использует система.

Возможно также определить коэффициент использования поступающей информации как отношение I/I' , где I' — общее количество информации, в шенноновской мере, поступающей в систему; I — указанное минимальное количество, определяемое фактически наблюдаемым уровнем потерь технического объекта R .

В термодинамике аналогом потерь R является энергия. При этом часто важна не полная средняя энергия, а, например, та ее часть, которая может быть в данных условиях превращена в механическую работу.

Приведенные выводы подсказывают, что вполне осмысленными могут быть иные определения ценности информации, получаемые в результате изменения целевой функции, в роли которой может выступать иной функционал от распределения на множестве состояний системы, нежели R .

Так, мера ценности информации может определяться отношением изменения свободной энергии системы к взятому с противоположным знаком изменению энтропии т. е. к количеству информации.

В этом случае справедливым будет также соотношение

$$T = -dR/dI,$$

которое по сути является дифференциальной ценностью информации: приращение количества информации на dI позволяет уменьшить минимальные средние потери на TdI . При этом, также предполагается выполнение принципа экстремальности.

Бесспорна методологическая важность указанных подходов теории ценности информации, показывающая возможность достаточно строгой формализации того очевидного факта, что информация при известных условиях обладает вполне определенной материальной ценностью и способна непосредственно влиять на реализацию процессов.

Таким образом, представляется актуальной необходимостью разработки практической основы теории непосредственной ценности информации.

Для этого, прежде всего, необходимо отвлечься от меры количества информации, обеспечить возможность рассматривать эту величину как совершенно равноправную другим физическим, материальным величинам, описывающим техническую систему.

Это важно, поскольку в сложной системе, описываемой на макроуровне, роль количества информации, ограничивается только уравнениями, в которые она непосредственно входит.

При этом сама возможность рассмотрения количества информации в качестве физической величины, — важнейший вывод из существующей теории ценности информации.

Может также оказаться перспективным построение теории ценности информации на основе меры Колмогорова. Важно то, что мера количества информации Колмогорова обладает следующим важнейшим свойством, — она применима к индивидуальным конструктивным объектам.

Однако существенным препятствием на данном пути является то, что практически не существует алгоритма, который для любой последовательности конечной длины позволял определить сложность по Колмогорову, поскольку эта мера не является эффективно вычислимой.

Согласно /7/ под практическим критерием ценности информации понимается дополнительный эффект от оптимизации при уменьшении погрешности соответствующих компонент исходной информации.

$$\min_Y I(Y, D)$$

Предложен аналитический подход на основе создания следующей модели минимизации расходных характеристик при ограничениях

$$W(Y, D) = 0$$

$$F_{\min} \leq F(Y, D) \leq F_{\max}$$

где Y — управляющие воздействия; D — параметры; W — критерии ценности; F — контролируемые величины; Z - внешние влияния.

Обобщенная структура модели минимизации расходных характеристик технического объекта приведена на рис. 1. 2.

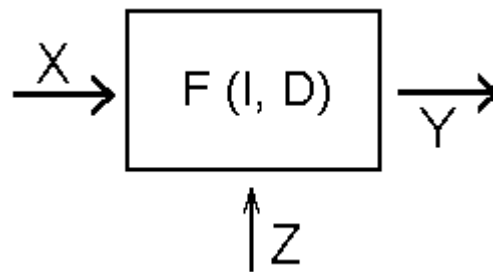


Рис. 1. 2 Обобщенная структура модели минимизации расходных характеристик

Важным вопросом при этом является определение основных критериев ценностных характеристик информации

Критерии ценностных характеристик информации следующие:

1. Ценностные характеристики информации определяются потребностями системы или процесса, а также степенью их непосредственного влияния на решение реализуемой задачи;
2. Ценность определяется результатом влияния, связанными функциональными характеристиками;
3. Критериями ценности могут быть определенные технические характеристики или параметры системы (частные критерии).

$$\Xi I_C = f (X_{\Pi}),$$

где X_{Π} — семантический контекстный потенциал системы.

Критерии ценности информации показывают (определяют) степень ее влияния на результаты функционирования с учетом текущих и поставленных целей.

Они также составляют информационную основу меры целесообразности управления.

Приведенные выше критерии обеспечивают возможности целевого определения, выделение информации с учетом ее ценности для целевой функциональной реализации.

Определение и выделение содержательной части информации имеет свои особенности, часто индивидуальные. На них стоит остановиться подробнее.

1. 2. 2 Особенности определения содержательной части информации

Основным общим условием определения информационной составляющей в общем виде, согласно приведенному выше может служить условие

$$H(X) = I (X)$$

Однако приведенное условие во многом идеализированно, отражает весь возможный объем информационного наполнения и на практике, исходя из реальных задач и целей часто не целесообразно.

На практике чаще всего более предпочтительно оперировать не всей информацией, а только контекстно зависимой. Это во всех отношениях более удобно и целесообразно, поскольку существенно снижает объемы решаемых задач.

Практическое определение содержательной части информации преимущественно связано с технологией и алгоритмом ее непосредственного использования. Оно также существенно зависит и от характера задачи.

Именно задачей, скорее ее характером, определяется набор необходимой семантики, ее объемы и требуемые содержательные компоненты.

Важной особенностью определения содержательной составляющей информации следует считать необходимость системного подхода к данной проблеме.

Это обусловлено необходимостью учета массы различных факторов, включая внутренние и внешние.

Действительно, если рассмотреть в общем виде любую техническую систему, то ее возможно представить в виде, показанном на рис. 1. 3.

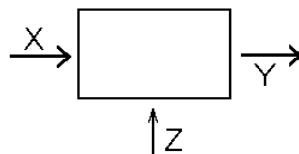


Рис. 1. 3 Общее представление технической системы

Любая техническая система реализует действия над входным потоком X и обеспечивает выходной поток Y в условиях внешних

влияний Z . Это общая схема, во многом отвлеченная, но принципиально представляющая основные компоненты взаимодействия. Реальная физическая реализация входного X и выходного потоков Y , также как и внешних влияний Z во многом индивидуальна. Однако в любом случае в структурах X , Y , Z присутствуют информационные составляющие. При чем, в данном случае важны именно контекстные, содержательные составляющие информации, необходимые для реализации процесса.

Их возможно выразить для выходного потока в виде

$$I(Y) = f(I(X), I(Z)), \quad (1.22)$$

где $I(X)$, $I(Z)$ соответственно информационные составляющие входного потока и потока внешних влияний.

Структуры исходных составляющих следующие:

для детерминированных систем

$$I(X) = \sum_{i=1}^N I_i(x) \quad (1.23)$$

$$I(Z) = \sum_{j=1}^K I_j(z) \quad (1.24)$$

для стохастических систем

$$I(X) = \sum_{i=1}^N p_i I_i(x) \quad (1.25)$$

$$I(Z) = \sum_{j=1}^K p_j I_j(z) \quad (1.26)$$

Таким образом наличие содержательных компонентов в информационных структурах рабочих потоков технических систем реально обеспечивает их функциональный уровень.

Однако основную роль в данном процессе играют именно существенные содержательные составляющие.

Особенности их выделения следует рассмотреть подробнее.

1. 2. 3 Выделение существенной содержательной составляющей измерений

Существенные содержательные составляющие непосредственно связаны с реализуемым процессом и определяются его целевыми установками.

Измерения относятся к основным способам выделения содержательной информации, необходимой для реализации функции управления возбуждением гидрогенератора.

Выделение существенной содержательной составляющей измерений достаточно часто является задачей не тривиальной, поскольку предусматривает учет ряда ограничений, индивидуальных требований и условий.

Ограничения чаще всего имеют более общий характер, в первую очередь относятся к экологичности, быстрдействию и инерционным характеристикам.

Индивидуальные требования могут отражать особенности реализации технической системы.

Условия более локальны и часто носят режимный характер. Однако, именно они в большинстве случаев гарантируют получение качественной содержательной составляющей.

Так, согласно /8/, количество информации, содержащейся в выходной величине измерительного преобразователя в общем случае определяется, как

$$J = \log \left(\frac{50}{\gamma} + 1 \right),$$

где γ - погрешность.

В реальных условиях достаточно часто приходится решать ряд связанных задач, направленных на достижение цели.

Рассмотрим достаточно распространённый случай выделения существенной содержательной составляющей сигнала отклонения

переменного напряжения от заданного значения. Такая необходимость присуща многим техническим задачам электротехники и электроэнергетики, как автономной, так и системной.

В частности, система возбуждения гидрогенератора в своем составе имеет регулятор напряжения, качество работы которого во многом определяется свойствами измерительного органа, рис. 1. 4.

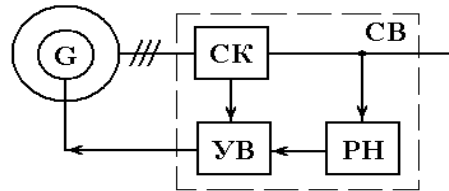


Рис. 1. 4 Функциональная схема системы возбуждения гидрогенератора: СВ — система возбуждения; СК — система компаундирования; РН — регулятор напряжения; УВ — управляемый выпрямитель

В приведенной схеме функциональный блок УВ может содержать несколько выпрямителей, из которых по крайней мере один, — управляемый.

Обобщенная структура системы регулирования напряжения гидрогенератора представлена на рис. 1. 5.

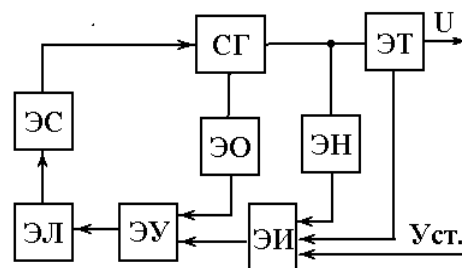


Рис. 1.5 Обобщенная структурная схема системы регулирования напряжения гидрогенератора: СГ — синхронный генератор; ЭТ — элемент тока; ЭН — элемент напряжения; ЭО — элемент обратной связи; ЭИ — элемент измерительный; ЭУ — элемент

усилительный; ЭЛ — элемент логический; ЭС — элемент силовой.

Основные свойства ЭИ определяются качествами его входного измерительного органа именно ему следует уделить внимание при рассмотрении вопроса выделения существенной содержательной составляющей измерений отклонения переменного напряжения от заданного значения.

Существующее многообразие известных способов и устройств, в структурах измерительных органов, выделяющих отклонение напряжения от заданного значения, реализуют операцию сравнения с опорной величиной напряжения, /9-11/. Указанная опорная величина стабилизируется известными техническими средствами, которые, как правило, содержат инерционные элементы. Этому также во многом способствуют операции выпрямления и сглаживания, реализуемые входными каскадами измерительных органов переменного напряжения,

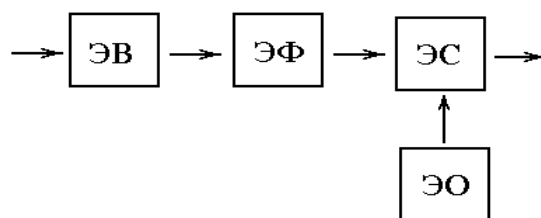


рис.1. 6.

Рис. 1. 6 Обобщенная функциональная схема измерений переменного напряжения: ЭВ — элемент выпрямления; ЭФ — элемент фильтрации; ЭС — элемент сравнения; ЭО — элемент опорный

Инерционность измерительного органа способна существенно исказить как выделение, так и влияние, в первую очередь динамическое, существенной содержательной составляющей измерений, рис. 1. 7.

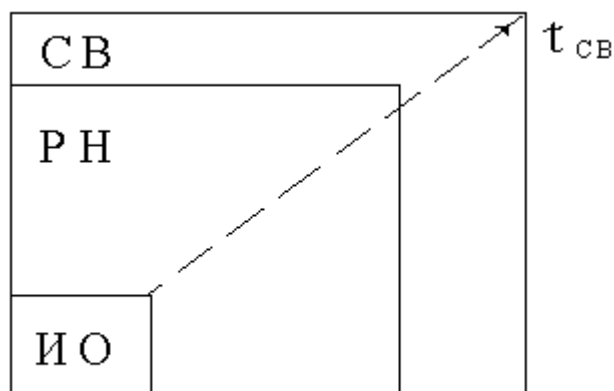


Рис. 1. 7 Общая структура системы возбуждения гидрогенератора

Анализ показывает, что инерционность измерительного органа появляется вследствие реализации операций выделения текущего значения контролируемого сигнала и сравнения с опорным значением. Эти операции на практике совмещаются с фильтрацией и сглаживанием сигналов, вносящими инерционность.

Наличие инерционности измерительного органа регулятора напряжения системы возбуждения гидрогенератора, поскольку он находится в цепи обратной связи, повышает порядок системы регулирования напряжения.

Это в свою очередь приводит к энергетической избыточности системы возбуждения, колебательному характеру и повышенной длительности переходных процессов, проблемам устойчивости. А также ряду других негативных проявлений.

Анализ показывает, что перечисленные проблемы непосредственно связаны с используемыми методами и принципами измерений изменений переменного напряжения.

Поэтому имеет смысл рассмотреть подробнее возможности реализации безинерционного измерения изменения переменного напряжения. При этом достаточно выделить и рассмотреть замкнутый операционный цикл в виде периода, рис. 1. 8.

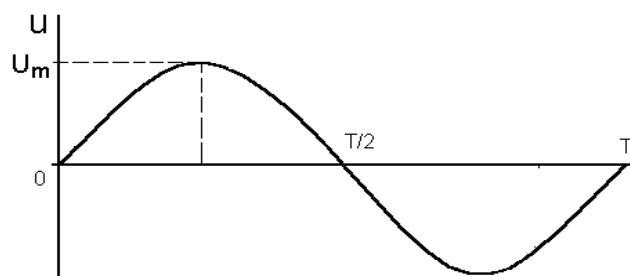


Рис. 1. 8 Цикл изменения переменного напряжения

С точки зрения быстродействия замкнутый операционный цикл соответствующий периоду измеряемого напряжения удобен во всех отношениях, поскольку позволяет оперативно обеспечить реакцию системы на изменение измеряемого параметра, в данном случае напряжения.

С точки зрения определения действительного отклонения напряжения также возможно считать допустимым операционный цикл в пределах соответствующий периоду, поскольку он обеспечивает детерминированное решение указанной задачи. Увеличение длительности цикла неизбежно приводит к вероятностным решениям.

Следует рассмотреть возможности такого подхода подробнее. Изменение напряжения в общем виде

$$u = U_m \sin (\omega t + \psi).$$

Поскольку напряжение, в частности его текущее значение, изменяется по синусоидальному закону, то практически измерить его значение возможно не ранее, чем при достижении максимального значения в точке U_m , соответствующей $1/4$ периода.

До этого момента теоретически возможен только прогноз возможного ее положения математическими методами анализа траектории движения точки мгновенного значения в пространстве. Это возможно в случае реализации функции измерений вычислительным устройством.

В таком случае возможно использование для получения необходимой содержательной информации существующего

математического вычислительного аппарата, в том числе методов прогноза и коррекции, например соответствующих уравнений прогноза и коррекции.

Для указанной цели, в частности, могут быть применены методы Рунге-Кутты I-IV порядков точности. Они относятся к одношаговым. На их основе могут быть построены компактные разностные схемы требуемого порядка точности. Этими методами рассчитываются траектории изменения процессов.

Важной их особенностью есть то, что для получения решения в каждом новом расчетном узле достаточно иметь предыдущее решение. Это позволяет начать счет при $i = 0$ по известным начальным значениям.

В то же время, если необходимо существенно сократить время счета, используются многошаговые методы.

Для вычисления значения новой точки в этих методах используется информация о нескольких ранее полученных значениях. Для этого использованы два основных подхода: прогноза и коррекции.

Формула прогноза

$$(dy/dx)^o_{n+1} = f(x_{n+1}, y^o_{n+1}). \quad (1.27)$$

Формула коррекции

$$(dy/dx)^{j+1}_{n+1} = f(x_{n+1}, y^{j+1}_{n+1}). \quad (1.28)$$

Это позволяет получать необходимую априорную информацию о состоянии процесса использовать и уточнять ее по мере необходимости.

Однако прогноз усложняет решение основной задачи и также требует временных затрат на получение промежуточного результата.

Для большинства практических задач управления в энергетике и гидроэнергетике, в частности возбуждением гидрогенератора, указанного выше операционного цикла в течение периода переменного напряжения промышленной частоты вполне достаточно для

обеспечения требуемого быстродействия без предварительных решений. При этом, что весьма важно, обеспечивается требуемая однозначность результатов.

Для этого необходимо выделение семантической области, чувствительной к изменению переменного напряжения.

1. 2. 3. 1 Особенности выделения семантической области составляющей переменного напряжения

Выделение области существенной содержательной составляющей является самостоятельной важной задачей организации информационного обеспечения любого процесса.

При существующих количественных подходах она, как правило, часто косвенно решается преимущественно за счет организации требуемого количества функционально ориентированных информационных каналов. Это означает, что для управления по напряжению в лучшем случае организуется соответственно канал контроля напряжения, часто не один, по току, - канал контроля тока и т. п. Кроме этого, как правило вынужденно, используются дополнительные каналы стабилизации процессов и др.

Это явный экстенсивный подход, который часто существенно усложняет системы управления, снижая функциональную надежность, по существу не повышая их эффективность.

Однако использование возможностей предложенного семантического подхода, путем формирования необходимых семантических областей и последующего их использования, позволяет исключить указанную выше необходимость за счет более полного и глубокого использования существующих смысловых возможностей реализации процессов.

Для этого необходимо, прежде всего, концептуально определиться с основными условиями распределения информации о контролируемом процессе.

Рассмотрим возможность семантической реализации задачи контроля значения переменного напряжения. В данном приложении операционный цикл в виде полупериода строго обеспечивает требуемую однозначность физического решения задачи.

Следует отметить, что распределение неопределенности и информации в пределах полупериода переменного напряжения несколько различно, /12/. Это обстоятельство отражают рис. 1. 9. – 1. 10.

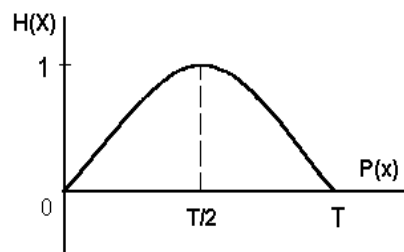


Рис. 1. 9. Характер изменения энтропии

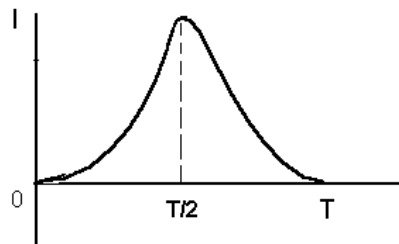


Рис. 1. 10 Распределение содержательной информации

Следует учитывать, что распределение информации в пространстве полупериода о изменении значения напряжения имеет существенно нелинейный характер.

В отношении изменения текущего значения напряжения существенно более информативной является вершина синусоидального

сигнала по отношению к его основанию. Именно интегральная область у вершины включает максимум содержательной информации о значении напряжения и его текущем изменении. Она по сути является отображением текущего его значения

$$\varphi: I_u \rightarrow I_s.$$

Таким образом, вполне логично, оправдано и допустимо использование выделенной характерной области у вершины синусоиды в качестве информативной о изменении текущего значения напряжения и соответствующей области у основания синусоиды в качестве своеобразной опорной величины для сравнения, рис. 1. 11. Однако эти положения также требуют обоснования.

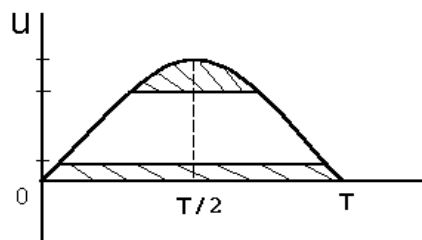


Рис. 1. 11 Характерные области выделения информации

С учетом существующих норм стабильности частоты переменного напряжения, а также операционных возможностей, такие меры возможно считать вполне корректными и стабильными в плане организации измерений.

Немаловажным условием обеспечения требуемой точности измерений является то обстоятельство, что практически в течение операционного цикла, частота и амплитуда существенно измениться не в состоянии. Это обусловлено инерционными характеристиками преобразователей энергии, в частности гидрогенераторов.

На указанных исходных посылках оказалась возможной разработка теоретической основы быстродействующего метода измерений.

1. 2. 3. 2 Теоретическая основа разработанного метода

Важной теоретической основой разрабатываемого метода является вывод о том, что обработка измеряемого сигнала должна производиться в форме переменного напряжения или импульсов сформированных на его основе.

Эта мера является основной, поскольку позволяет избежать недостатков традиционных методов измерений. Вместе с тем исключение операций выпрямления и сглаживания переменного напряжения исключает и использование традиционной формы опорного напряжения – постоянного.

При импульсной обработке сигналов наиболее приемлемая форма опорного напряжения – также импульсная. Его удобнее всего формировать, как показано выше, из наиболее стабильного участка контролируемого переменного сигнала. Однако, при этом важно соблюсти ряд условий.

При импульсной обработке сигнала вопросы количественной оценки сигналов приобретают первостепенное значение. Поэтому необходимо ввести начальные условия. Рассмотрим полупериод синусоидального напряжения, рис.1.12а.

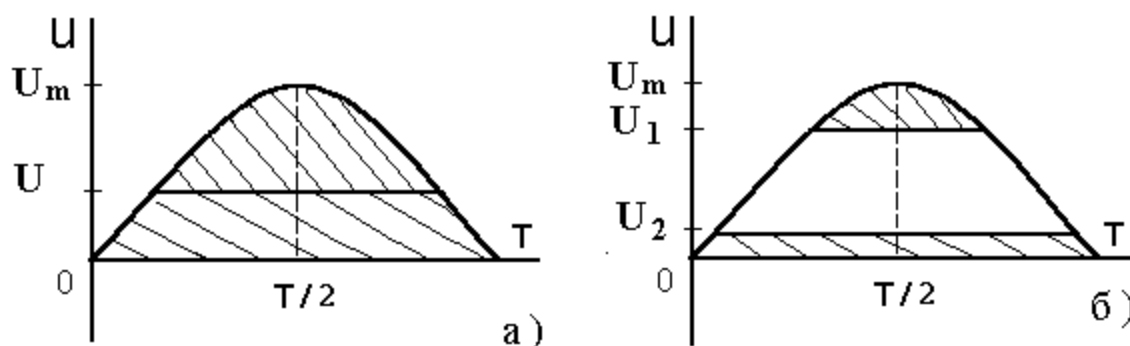


Рис. 1.12 Выбор начальных условий

Определяющим фактором реализации метода являются условия выбора значений уровней ограничения сигналов.

Выберем уровень U таким образом, чтобы площади верхней и нижней частей сигналов были равны между собой

$$S_1 = S_2.$$

Изменение амплитудного значения U_m приведет к нарушению равенства площадей. При увеличении U_m получим неравенство $S_2 > S_1$, а при уменьшении - $S_2 < S_1$.

Очевидно, что площадь S_2 в значительно большей степени подвержена влиянию изменения U_m , чем S_1 .

В пределах каждой из рассмотренных частей синусоидального сигнала можно выбрать множество уровней, два из которых всегда будут связаны соотношением $S_1 = S_2$, рис.1.12б.

Если площадь полупериода обозначить S , то соотношения площадей выделенных частей будет соответствовать

$$S_1 = k \cdot S, \text{ где } k [0,5; 0]$$

По мере уменьшения величины k возрастает влияние U_m на S_2 и ослабляется на S_1 .

Таким образом, $S_2 = f(U_m)$, а S_1 может быть принята аналогом опорной величины, что необходимо и достаточно для реализации метода определения отклонения переменного напряжения не включающего операции выпрямления и сглаживания выпрямленного напряжения.

Разработанные теоретические предпосылки позволяют создать метод измерения отклонения переменного напряжения от заданного значения без применения операций обработки сигналов снижающих его эффективность, в первую очередь динамическую.

Вместо выпрямления переменного напряжения, использована тактовая обработка выделенных сигналов, а фильтрация заменена интегрированием по тактам.

Такт соответствует полупериоду переменного напряжения. Рабочий цикл состоит из двух тактов и соответствует периоду, см. рис.1.13.

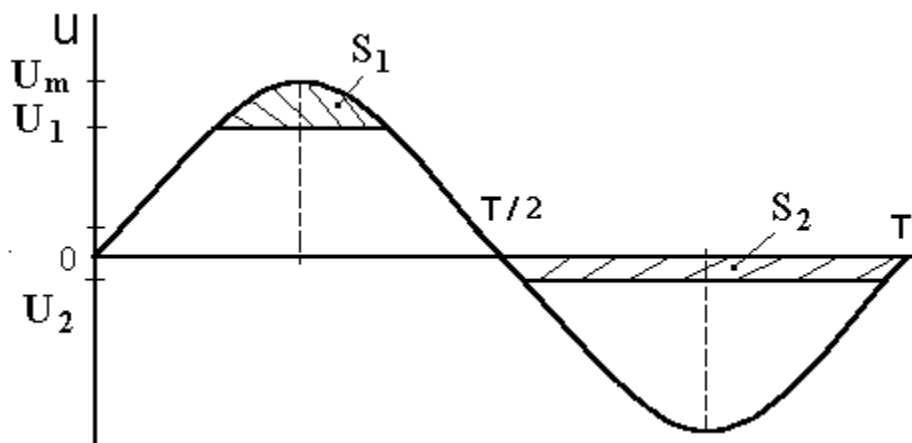


Рис. 1.13 Формирование рабочего цикла измерений

В течение первого рабочего такта интегрируется превышение текущего значения напряжения над уровнем U_2

$$S_2 = \int_0^{\pi} (U - U_2) dt$$

В течение второго такта интегрируется сигнал обратной полярности ограниченный уровнем U_1

$$S_1 = \int_{\pi}^{\alpha} U_1 dt$$

Длительность интегрирования во время второго такта ограничена условием

$$S_1 = S_2$$

В момент наступления равенства указанных площадей интегрирование прекращается и оставшаяся часть сигнала в пределах S_2 , характеризующаяся соответствующим фазовым углом α , несет информацию об отклонении переменного напряжения от заданного значения

$$\alpha = f(\Delta U)$$

Таким образом обеспечиваются все необходимые и достаточные условия практической реализации метода выделения семантической составляющей переменного напряжения для управления процессом регулирования.

Особенности реализации метода измерений

С учетом приведенного выше предложен и разработан способ быстросействующего определения отклонения переменного напряжения от заданного значения, /13/. Его особенностью является разработанный алгоритм безинерционного выделения информации о изменении текущего значения напряжения и формирования управляющей реакции в течение операционного цикла соответствующего длительности периода контролируемого напряжения. Для этого устанавливаются соответствующие уровни ограничения сигнала, используются функции интегрирования, памяти и сравнения.

Структурная реализация указанного способа измерения отклонения переменного напряжения от заданного значения предполагает использование функциональной схемы, рис. 1. 14. Включает такие функции: выделение сигналов, интегрирование, память, сравнение и уставку. На схеме показаны два входа, каждый из которых соответствует своему полупериоду переменного напряжения.

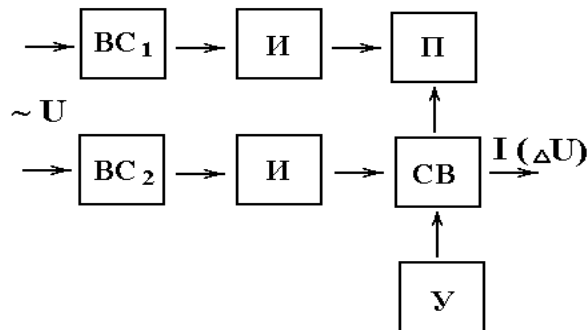


Рис. 1. 14 Структурная реализация функциональной схемы измерений переменного напряжения

Основана на выделении сигнала характерной области у вершины синусоиды (BC_1), интегрировании (И), запоминании и хранении (П) в течение одного полупериода (рабочего такта). В течение следующего связанного полупериода (рабочего такта) в пределах рабочего цикла происходит выделение сигнала у основания синусоиды (BC_2), интегрирование (И) и сравнение (СВ) с учетом уставки (У). Условие формирования сигнала на выходе является совпадение интегральных величин сигналов.

$$I(\Delta U) = f\left(\int U_{BC1} dt - \int U_{BC2} dt\right) \quad (1. 29)$$

Следует отметить универсальность данного подхода.

Физическая основа реализации указанного способа может быть любой. Одной из его положительных особенностей является, то обстоятельство, что он достаточно легко реализуется как в аналоговом, так и цифровом виде. Это обстоятельство свидетельствует в пользу универсальности, существенно расширяет сферу его возможных применений.

Однако существуют и дополнительные информационные возможности описываемого метода измерений, также представляющие практический интерес.

1. 2. 3. 3 Дополнительные информационные возможности метода измерений

Предложенный алгоритм быстродействующего измерения отклонения переменного напряжения от заданного значения позволяет реализовать дополнительные информационные возможности. Они прежде всего связаны с возможностями учета нелинейных искажений измеряемых сигналов.

Нелинейные искажения напряжения или искажения формы синусоиды на практике проявляются в любых цепях переменного тока. Различают установившийся режим, в котором форма кривой практически не изменяется и переходной процесс, в котором состав гармоник, их влияние и форма кривой существенно изменяются, рис. 1. 15.

В частности искажение формы синусоидального напряжения присуще работе технических систем, в том числе и энергетических.

Известно, что синхронные электрические машины искажают форму синусоидального напряжения, [14-18 /]. Источником искажений могут быть влияния полюсов в явнополюсных машинах, влияние пазов статора, неравномерность рабочего зазора и ряд иных факторов.

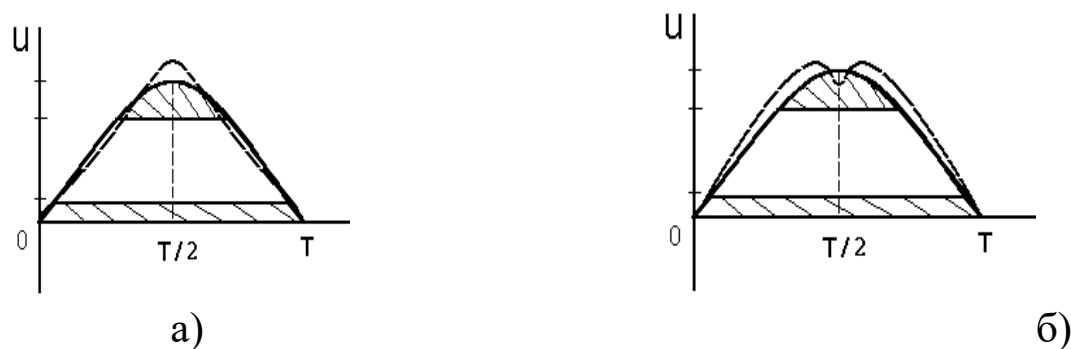


Рис. 1. 15 Искажение формы напряжения

Изменение формы напряжения синхронного генератора происходит под действием высших гармоник за счет влияния реакции якоря. Реакция якоря гидрогенератора, по своей природе, напрямую связана с его нагрузкой.

Таким образом существует объективная связь между степенью нагрузки синхронного генератора и величиной искажения формы напряжения на его выходе.

Известно также, что наиболее выраженными в напряжении СГ являются нечетные гармоники. Их величина изменяется от величины нагрузки СГ. Кф изменяется от величины нагрузки СГ в пределах

1...5%. Данный вопрос рассмотрим на примере влияния третьей гармоники на изменение формы контролируемого сигнала.

Контролируемое напряжение в общем случае описывается выражением

$$u = U_{m1} \sin \omega_1 + U_{m3} \sin(\omega_3 + \psi).$$

В этом случае могут быть введены дополнительные начальные условия при выборе верхнего уровня ограничения. Обозначим период сигнала гармоники T_3 . Очевидно, что при $t_3 = T_3$ справедливо равенство

$$2 \int_{t_1}^{t_2} U_{m3} \sin \omega_3 d\omega = - \int_{t_2}^{t_3} U_{m3} \sin \omega_3 d\omega$$

В этом случае действие третьей гармоники полностью компенсируется. Фазовый сдвиг на величину t_3 не влияет. Таким образом при изменении t_3 с учетом фазового сдвига гармоники можно достигнуть требуемого влияния изменения ее величины на выходной сигнал.

Следует отметить, что учет искажения формы напряжения осуществляется в пределах жесткой идеальной обратной связи, которой является РН системы возбуждения СГ.

Ввиду безинерционности эта связь, не повышая общий порядок системы регулирования, за счет своего коэффициента усиления, снижает влияние ее результирующей инерционной постоянной и фактически определяет абсолютную устойчивость /19/.

Существенной характеристикой, определяющей форму кривой, является фазовый угол гармоники по отношению к основной частоте, /20/. Однако величина и собственная частота гармоники также существенно влияют на искажение формы периодического сигнала. Описываются такие функции рядом Фурье

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left[a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t) \right]$$

представляющим собой разложение периодической функции по частотам. В приведенном выражении a_0 является средним значением функции $x(t)$, коэффициенты ряда a_n и b_n — проекции вектора n -й гармоники на действительную и мнимую оси соответственно.

Вектор n -й гармоники

$$A_n \angle \varphi_n = a_n + jb_n.$$

Амплитудное значение

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}$$

Фазовый угол

$$\varphi_n = \arctg \left(\frac{b_n}{a_n} \right)$$

На практике фазовый угол меняется в соответствии с соотношением

$$\varphi_n = 2\pi f_n t + \theta_n,$$

где θ_n — фазовый угол гармоники при $t = 0$.

Частотные составляющие измеряемых напряжений возможно представить в виде векторов, вращающихся на комплексной плоскости. Причем, каждому вектору n -й гармоники $(A_n/2)e^{+j\varphi_n}$, вращающемуся равномерно в одну сторону, соответствует симметричный вектор $(A_n/2)e^{-j\varphi_n}$, вращающийся в противоположном направлении, рис 1. 16.

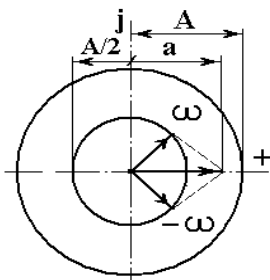


Рис. 1. 16 Схема формирования пульсирующего вектора

Сумма этих составляющих всегда направлена по действительной оси и соответствует выражению

$$\frac{A_n}{2} e^{+j\varphi_n} + \frac{A_n}{2} e^{-j\varphi_n} = A_n \cos \varphi_n.$$

Любая составляющая ряда Фурье частотой $f_n = nf$ определяется как функция амплитуды и фазы гармонического вектора

$$X(f_n) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) e^{-j2\pi f_n t} dt,$$

где $e^{-j2\pi f_n t}$ — единичный вектор.

Для реальных сигналов каждая составляющая частотой f_n связана с составляющей частоты $-f_n$ с той же амплитудой, но противоположной фазы. Вследствие этого, каждая гармоническая составляющая измеренного сигнала может быть представлена в виде полуамплитудных противоположно вращающихся векторов с начальным значением

$$X(f_n) = X^*(-f_n),$$

где $X^*(-f_n)$ — вектор сопряженный с $X(-f_n)$

Справедливы также следующие разложения в ряд Фурье, /20/

$$\begin{aligned} ce_{2n}(x) &= \sum_{r=0}^{\infty} A_{2n,2r} \cos 2rx; & ce_{2n+1}(x) &= \sum_{r=0}^{\infty} A_{2n+1,2r+1} \cos 2(r+1)x, \\ se_{2n}(x) &= \sum_{r=0}^{\infty} B_{2n,2r} \sin 2rx; & se_{2n+1}(x) &= \sum_{r=0}^{\infty} B_{2n+1,2r+1} \sin 2(r+1)x, \end{aligned}$$

где коэффициенты A и B рассчитываются по рекуррентным формулам.

Указанный подход, безусловно, также имеет существенный информационный потенциал и требует дополнительной практической разработки.

Следует отметить, что искажение формы также наиболее существенно проявляется у вершины синусоиды. Основание такого сигнала непосредственно определяется периодом основной частоты и мало чувствительно, относительно стабильно к указанным изменениям формы.

Это обстоятельство позволяет, используя разработанный и приведенный выше интегральный метод измерений отклонения

переменного напряжения от заданного значения, учитывать также и нагрузку генератора без дополнительных измерений, в частности тока нагрузки.

Появляется реальная возможность осуществления одноканального регулирования по отклонению и по возмущению.

Более того, за счет выделения информации о требуемых гармонических составляющих практически и технически возможна реализация группового, встречного регулирования и других действий, связанных с изменением статизма внешней характеристики гидрогенератора без непосредственного измерения его тока нагрузки.

Таким образом предложенный метод измерения отклонения переменного напряжения от заданного значения за счет правильного выделения и использования семантической области контролируемого сигнала способен существенно повысить эффективность системы возбуждения синхронного генератора.

На физических моделях достигнуто не только сокращение длительности переходного процесса более пяти крат, но и изменение его характера.

1. 2. 4 Информационные пространства, поля и потоки

Информационное пространство любого объекта достаточно интегрировано, объектно ориентировано, структурировано, определяет требуемую информационную сферу системы.

Состоит из множеств, представляется массивами.

Размерность пространства определяется числом контролируемых факторов, часто выполняющих функции соответствующих координат.

В общем случае возможно представить обобщенное информационное пространство любой системы следующим образом

$$\prod_{n=1}^N (I) = \sum_{i=1}^K \prod_{n=1}^N I_i, \quad (n = 1, N; i = 1, K) \quad (1.30)$$

где I_i — i -я информационная составляющая.

Приведенное математическое описание абстрактного n -мерного пространства можно принять в качестве общего.

Информация о различных явлениях и технологических процессах воспринимается в виде тех или иных полей. Математически такие поля представляются с помощью функции

$$y = f(x, t),$$

где t — время, x — точка, в которой измеряется поле, y — величина поля и этой точке.

При измерениях поля в фиксированной точке $x = a$ функция $f(x, t)$ вырождается в функцию времени $y(t) = f(a, t)$, которую можно изобразить в виде определенного графика, /3/.

В большинстве случаев все скалярные величины, входящие в соотношение $y = f(x, t)$ (т. е. t , y и координаты точки x), могут принимать непрерывный ряд значений, измеряемых вещественными числами.

Векторные поля вида $\vec{a}(\vec{r})$ могут быть потенциальными векторными полями, если $\vec{a} = \text{grad } u$. При этом потенциал векторного поля является скалярной функцией

$$u = u(\vec{r})$$

Для безвихревого векторного поля ($\text{rot } \vec{a} = \vec{0}$) потенциал определяется, как

$$du = a_x dx + a_y dy + a_z dz$$

Любые рассматриваемые величины могут изменяться сколь угодно мелкими шагами. Ввиду этого представляемую таким способом информацию принято называть непрерывной информацией. Иногда для этой цели используется также термин *аналоговая информация*.

Если применительно к той же самой информации о поле $y = f(x, t)$ установить минимальные шаги изменения всех характеризующих ее скалярных величин, то получим так называемое *дискретное представление информации (дискретная информация)*.

Поскольку точность измерений и восприятия на практике всегда ограничена, то фактически, даже непрерывная информация воспринимается в дискретном виде.

Любая непрерывная информация может быть с любой степенью точности аппроксимирована дискретной информацией, поэтому возможно говорить об определенной универсальности дискретной формы представления информации.

Результаты измерения любых скалярных величин представляются в конечном счете в числовом виде, а поскольку при заданной точности измерений эти числа представимы в виде конечных наборов цифр, то дискретная форма представления информации часто отождествляется с цифровой информацией.

Скалярные последовательности величин полей могут быть основой информационных потоков при условии их направленного изменения.

Движение информации представляет собой ориентированный коммуникационный процесс, образующий потоки.

Информационный поток должен иметь в своем составе по меньшей мере одну векторную величину — направление. Поле направления информации непосредственно формирует ее потоки. Поток векторного поля

$$\vec{D} = \vec{e}_1 \vec{e}_2 \vec{e}_3$$

через поверхность S в направлении единичного вектора нормали

$$\vec{n} = (\cos \alpha, \cos \beta, \cos \gamma)$$

определяется как

$$\Gamma = \int_S \vec{D} \cdot \vec{n} \, dS,$$

где a_n — проекция вектора \vec{a} на вектор \vec{n}

Поток в общем виде представляет собой следующий интеграл

$$I = \int_S \vec{a} \cdot \vec{n} dS$$

Информационные потоки в свою очередь формируют семантические и смысловые массивы и множества.

1. 2. 4. 1 Семантические массивы и множества

Содержательная часть информации объекта определяется его предметной областью, - она предметно ориентирована.

Следует отметить, что математическое понятие множества во многом интуитивно и строгого определения не имеет, /22/.

Однако, при этом, множество однозначно состоит из элементов. Принадлежность элемента a множеству E отражается как $a \in E$. Подмножество A является частью множества E и входит в него $A \subset E$.

Структурированное множество значений или чисел считается массивом.

Множества информационные так или иначе связаны с информационными пространствами и включают в себя подмножества семантические.

$$\prod_{n=1}^N (I) = \sum_{i=1}^N I_i$$

Семантические массивы S являются частью массивов информационных I и входят в них $S \subset I$.

При условии однозначного отображения элемента $s \in S$ на I возможно утверждать, что с точки зрения математической, мощности этих множеств одинаковы.

С точки зрения информационной мощности множеств прежде всего определяются их семантическими качествами.

$$P(I) = \sum_{i=1}^N I_{ci}(x_E)$$

Используя физические аналогии, на основе понятия информационной мощности вполне возможно и логически допустимо определить информационную энергию множеств. Эта энергия семантическая

$$W(I) = P(I) \cdot T,$$

где T – временной период информационного влияния.

Таким образом появляется возможность практического учета влияния действующего энергетического начала семантической составляющей информации.

1. 2. 4. 2 Массивы и множества смыслов

Массивы и множества смыслов представляют собой часть семантических, - целенаправленных. Они индивидуальны и уникальны, соответственно конкретным ситуациям, обстоятельствам, целям и решаемым задачам.

Под смысловыми множествами I_S понимается именно такая часть семантических множеств, которая обеспечивает достижение целевых результатов. При этом $I_S \subset S$

$$I_S = \{x | x \in S \text{ и } x \leq S\}$$

Указанные множества могут быть как конечными, так и бесконечными счетными множествами, /21/ т. е. для I_S существует однозначное отображение в S .

При этом целевые функции чаще всего выполняют роль ограничений. Они могут отражаться числами или зависимостями.

Если, например, речь идет о границах контроля любого параметра то устанавливается его верхнее G и нижнее g значения

$$G = \sup I_S = \sup_{x \in I_S} x; \quad g = \inf I_S = \inf_{x \in I_S} x_i.$$

При этом $\sup I_S \in I_S$ считается максимальным элементом множества смыслов, а $\inf I_S \in I_S$ его минимальным допустимым элементом, что позволяет таким образом обозначать смысловые пределы изменения целевых заданий. Существуют также варианты одностороннего ограничения множеств. Такие множества имеют одну грань, верхнюю, либо нижнюю.

Вместе с тем существуют реальные ситуации в которых множества смыслов могут приобретать вид точечных множеств R^n и числовых, для случая $n = 1$, в виде числовой прямой.

Так, для некоторых точек $P(x_1, \dots, x_n)$ и $Q(y_1, \dots, y_n)$ пространства R^n возможно определить расстояние и пространственную прямую их соединяющую

$$d(P, Q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

Для отдельной точки P пространства R^n возможно определить окрестность с некоторой $\varepsilon > 0$.

$$U_\varepsilon(P_0) = \{P | d(P, P_0) < \varepsilon\}$$

Такая ε -окрестность точки P_0 объемна, состоит таким образом из всех внутренних точек n -мерного шара радиуса ε с центром в точке P_0 .

Вполне возможны и другие представления областей смысловой информации, выделяемые и определяемые индивидуально под конкретные цели при решении конкретных задач.

1. 2. 5 Взаимная информация

Исходная постановка задачи определения количества информации во многих практических ситуациях выглядит следующим образом. Пусть существует некоторое конечное множество событий $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, которые могут наступить с вероятностями p_1, p_2, \dots, p_N соответственно,

причем множество существующих вероятностей удовлетворяет естественному условию нормировки

$$\sum_{i=1}^N p_i = 1. \quad (1.31)$$

Согласно /4/ следует, что измерить информацию можно учетом изменения степени неопределенности, возникающим в результате реализации каких-либо конкретных событий исходного множества.

Это позволяет обобщить определение шенноновской меры информации и построить новую меру с более разнообразными свойствами, пользуясь тем, что область представлений шенноновской теории требует несколько иной трактовки понятия энтропии как меры неопределенности.

Информация, содержащаяся в множестве Y относительно множества X , есть

$$I(Y, X) = H(X) - H(X|Y), \quad (1.32)$$

т. е. количеством информации $I(Y, X)$ измеряется уменьшение степени неопределенности множества X , возникающее в результате снятия неопределенности со связанного с ним множества Y .

Взаимная информация на уровне семантическом может иметь ряд дополнительных ценных свойств. Обеспечить реализацию новых функций с минимальными затратами.

Так, например, содержательная часть информации об искажении формы напряжения синхронного генератора и гидрогенератора в том числе под нагрузкой может быть использована для организации дополнительных (виртуальных) связей, например, по току нагрузки.

1. 2. 6 Фоновая и скрытая информация

Фоновая информация является сопутствующим компонентом основной информационной составляющей реализуемого процесса. Она

проявляется в виде дополнительной составляющей непосредственно влияющей на объект или процесс.

$$I_B = I_o + I_\phi,$$

где I_o — основная информационная составляющая; I_ϕ - фоновая компонента информации.

Скрытая или неявная информация требует дополнительных мер и действий для ее выделения и использования. Однако она способна оказывать возмущающее действие, искажая влияние основной составляющей при реализации процесса.

$$I_B = I_o + \xi I_c$$

где I_c — скрытая информационная составляющая.

Неявная информация может проявляться в виде помех или возмущений. Однако она также может быть использована в реализации дополнительных возможностей процесса.

Следует отметить, что деление информации на фоновую и скрытую достаточно условное, зависит от реальных условий и ограничений.

Так искажение формы синусоидального напряжения относится скорее к фоновой информации, если само не является предметом исследования. Однако применительно к синхронному генератору, в частности гидрогенератору она носит характер скорее неявной и может при определенных условиях стать действующей.

Немаловажны также и информационные возможности влияния.

1. 3. Влияние. Действующая и мгновенная составляющие информации

Влияние в качестве внешнего действующего начала характерно для информационных процессов. Его возможно представить в виде функционала

$$B = f(I, t),$$

где I — информационный вектор;

t — время действия.

Влияние способно не только инициировать процессы, но и изменять их ход, течение и формировать условия реализации. В общем случае схема реализации информационного влияния следующая

ВЛИЯНИЕ → ДЕЙСТВИЕ → ИМПУЛЬС СИЛЫ.

Действие информационное определяется как

$$D_I = \sum_{n=1}^N \dot{W}(I) t$$

Практически это энергетический эквивалент ориентированного влияния.

Импульс силы для материальной точки в физическом его представлении имеет следующий вид

$$F \Delta t = \Delta P = \Delta \sum_{i=1}^N m_i v_i.$$

Природа указанных сил может быть различной: гидравлической, механической, электрической, магнитной, электромагнитной или иной.

Указанные компоненты обеспечивают взаимодействие информационной, энергетической и материальной компонент системы.

Мгновенная и действующая составляющие информации представляют собой действующий контекстный компонент, активизирующийся в процессе энергоинформационного обмена.

Действующее значение информации учитывает влияние ее стабильной части.

$$I_D = \sum_{i=1}^N I_{сид}(x, t),$$

где $I_{сид}$ — локальная действующая составляющая информации.

Интегральное значение действующего значения соответствует рабочему циклу

$$I_D = \int_0^T I_{сид}(x, t) dt,$$

Мгновенная составляющая отражает влияние изменяемой, подвижной ее части.

$$i = I_{сид}(x, t)$$

Для случая контроля текущего значения переменного напряжения, рассмотренного выше, напряжение изменяется по периодическому синусоидальному закону

$$u = U_m \sin (\omega t + \psi).$$

Учитывая приведенные характеры распределения энтропии и информации (см. рис. 1.8; рис. 1.9) возможно использовать существующие физические интерпретации действующих и средних значений по отношению к содержательным информационным величинам. Тогда с учетом периодичности контролируемого сигнала возможно отметить следующее.

Действующее значение информации однофазного измерительного органа составит

$$I_d = \frac{I_m}{T} (1 + \cos \alpha),$$

где T — измерительный информационный цикл; α — угол управления.

Мгновенное значение

$$i = I_m \sin (\omega t + \psi),$$

где I_m — максимальное значение семантической составляющей информации о синусоидальном сигнале.

Для случая трехфазного измерительного органа, при условии $0 \leq \alpha \leq T/6$

$$I_d = 3/2 \frac{I_m}{T} (1 + \cos \alpha),$$

при условии $T/6 < \alpha \leq 5T/6$

$$I_d = \frac{3I_m}{\sqrt{3}T} [1 + \cos (T/6 + \alpha)]$$

В определенных условиях, например по отношению к характеристикам периодических сигналов, возможно условное совпадение содержательных и физических мгновенных и действующих значений.

Для стохастических систем также возможны различные подходы с учетом действующих ограничений.

Если отказаться от распространенного допущения о равновероятности событий множества X и предположить, что вероятности p_1, p_2, \dots, p_N — это дроби вида

$$p_1 = n_1/n, p_2 = n_2/n, \dots, p_N = n_N/n, \quad (1.33)$$

где n_1, n_2, \dots, n_N — целые числа.

•Если также принять

$$n = \sum_{k=1}^N n_k,$$

то окажется, что, во-первых, $p_i < 1$ ($i = 1, 2, \dots, N$), во-вторых, все p_i — рациональные числа, и, тогда, для вероятностей выполняется необходимое условие нормировки, так как

$$\sum_{k=1}^N p_k = \sum_{k=1}^N n_k/n = 1$$

Это позволяет применять распространенные математические инструменты анализа стохастических информационных процессов, часто применяемые в технических системах.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. Количественные характеристики информации не отражают ее семантических особенностей, часто не обеспечивают требуемого уровня функциональности технических систем.
2. Количественные информационные методы в системах управления являются источником экстенсивных технологий.

3. Выделение и применение семантических составляющих позволяет существенно повысить технический уровень их использования.
4. Использование семантических компонентов во многом индивидуально, требует точного их выделения и масштабирования.
5. Приведенные инструменты выделения и использования семантики технических процессов достаточно универсальны в практических приложениях.

2 ОСНОВНЫЕ ПОДХОДЫ К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Энергия является неизменным компонентом и условием физических изменений в любой технической системе.

Именно энергетические составляющие обеспечивают необходимые движущие и иные силы материальных объектов, обеспечивают требуемые перемещения компонентов и соответствующие уровни взаимодействий в процессе их функционирования.

При этом существует определенное разнообразие в источниках, проявлениях и действиях.

Энергетические составляющие в сочетании с информационными формируют векторы влияний.

2.1 Основные определения и характеристики энергии

Согласно философским представлениям (от гр. *Energeia* — деятельность), изначально все что имеет вид или проявление силы (Аристотель), /1/. Кроме того, с философской точки зрения, энергия - "...общая количественная мера движения и взаимодействия всех видов материи.

На этом основано физическое понятие энергии материальных систем, означающее способность при определенных условиях обеспечивать процессы, изменять темп или направление движения, или быть порожденной движением.

Место такого понятия энергии в современной физической картине мира определяется основополагающим принципом и законом сохранения энергии, согласно которому энергия не исчезает и не появляется, а способна только превращаться из одного вида в другой.

Это фактически принципиально исключает практические возможности энергосбережения. Поскольку энергия подчиняется закону сохранения, следовательно ее невозможно сберечь. Более корректным и объективным следует считать требование энергетической эффективности и рационального использования.

На указанной выше основе О. Хэвисайдом открыт весьма важный закон взаимодействия «Энергии - Массы»

$$E = m c^2.$$

Из указанного закона вытекает, что 1 кг материальной массы потенциально содержит энергетический эквивалент порядка 25×10^{12} Вт.

Однако существующие технические и технологические ограничения не позволяют в полной мере использовать указанные возможности на практике.

Существующие энергетические технологии не позволяют в полной мере использовать материальные возможности энергетического плана.

В современных гидроэнергетических системах, в частности, энергетических преобразователях индукционного типа, достигнутая плотность энергии в рабочем воздушном зазоре имеет уровень порядка $0,5 \text{ Вт/мм}^3$.

Однако и в этом случае имеются определенные резервы эффективности.

Необходимо также уточнить сущность основных энергетических категорий.

Энергия в физике — это характеристика способности тел взаимодействовать друг с другом. Энергия измеряется в джоулях.

Джоуль, согласно классическому определению, — это работа, выполняемая силой в один ньютон при перемещении тела на расстояние в один метр. Однако, его практическое применение значительно шире,

ввиду универсальности по отношению различных видов энергии.

Например, сокращение сердца человека в среднем соответствует энергии в 1 Дж; повышение температуры одного литра воды на один градус, требует затрат 4 тыс. 187 Дж; а для нагревания 0,1 л. воды до кипения, необходимо 72 тыс. Дж тепловой энергии.

Мощность — это интенсивность передачи энергии. Мощность измеряется в Ваттах.

Ватт — это работа выполняемая силой в 1 Дж за 1 секунду.

Например, чтобы повысить температуру одного литра воды на 1°C за 1 мин., необходимо иметь мощность 69,7 Вт; чтобы нагреть до кипения 0,1 л. воды за 1 мин., необходим нагреватель мощностью 1,2 кВт. Это достаточно наглядные определения и количественные энергетические оценки.

Действие — физическая величина, соответствующая произведению энергии на время

$$D = E t$$

Существенная деталь. Размерность действия совпадает с размерностями момента количества движения и импульса момента силы. Таким образом, при определенных условиях, возможна их тождественность

$$E t = J \omega = M t$$

Таким условием может быть информационная составляющая процесса. В частности, данный подход позволяет реализовать принцип существенных изменений систем путем слабых влияний за счет энергоинформационных взаимодействий. При этом важна степень открытости системы.

Так, общий вывод /6/ состоит в том, что если возможен приток внешней информации dI о системе, т. е. система не является изолированной в информационном отношении, то второй закон

термодинамики требует обобщений и дополнений, в частности необходимо неравенство

$$dH \geq 0$$

заменить на более корректное с точки зрения реализации влияния

$$dH + dl \geq 0.$$

Немаловажен также вид и уровень используемой энергии.

2. 1. 1 Взаимодействие основных видов энергии

Энергия может существовать в различных видах. Основные из них:

- электрическая (магнитная) и их производные;
- тепловая (внутренняя);
- химическая (реакций);
- механическая (кинетическая и потенциальная).

Кроме того, необходимо учитывать также уровни энергии: молекулярный, ядерный и др.

Первый закон термодинамики гласит, что энергия не может исчезать или возникать, она может только переходить из одного вида или уровня на или в другой. Поэтому, предлагаемый подход следует рассматривать только с позиции практической реализации возможных превращений.

В термодинамике передача энергии от одного материального объекта к другому преимущественно происходит в форме теплоты или работы.

В гидродинамике преобразование энергии в форме теплоты или работы более акцентировано условиями.

В электродинамике энергия преимущественно передается в формах излучения, теплоты или работы.

Различные виды энергии имеют различную способность превращений. В идеальных условиях могут полностью переходить в другие виды электрическая и механическая энергия. Теоретическая способность превращаться в другие виды не изменяется при передаче

энергии и в форме работы.

Для внутренней энергии и теплоты переход в другие виды энергии ограничен. При этом даже передача теплоты от одного тела к другому, с более низкой температурой, приводит к снижению способности превращения тепловой энергии в другие виды.

Наиболее универсальной в данном контексте является электрическая энергия.

2. 2 Практический подход к энергии и энергоносителям

Способность превращения энергии определяет ее термодинамические качества, с которыми непосредственно связана ее потребительская ценность. Так, энергию удобно хранить и передавать на расстояние химически связанной или в виде топлива. Наиболее удобно передавать на расстояние электрическую энергию.

Гидродинамические качества энергии важны для эффективной работы гидроагрегата.

На практике под видами энергии часто понимают различные источники энергии или ее носители. К ним относятся, в частности ископаемые виды топлива, уголь, нефть, природный газ, гидроресурсы, являющиеся экологичными и возобновляемыми и ряд других.

На данном этапе развития техники для генерации существенных объемов энергии используется также и ядерная энергия.

При техническом использовании происходит цепь превращений энергии от ее исходного состояния до результата конечного потребления. При этом различают энергию:

Первичную — это носители энергии в любом виде.

Производную — преобразованную форму энергии.

Конечную — доведенную до этапа непосредственного потребления.

Полезную — энергию влияния, потребительского эффекта.

На всех этапах превращения энергия носителя уменьшается в соответствии с эффективностью реализуемых процессов.

Так, использование первичной энергии для освещения, согласно /24/, включает и составляет:

- превращение энергоносителя в электроэнергию имеет КПД 37%;
- подведение электроэнергии к месту потребления имеет КПД 90%;
- превращение электрической энергии в световую имеет КПД 10%.

Это дает общий КПД 3,3%. Поскольку энергия не исчезает, следовательно 96,7% первичной энергии рассеивается в окружающем пространстве.

Если таким образом проследить многие современные технологические цепочки превращений энергии, то обнаружится, что наличие потерь часто приводит к существенному увеличению расхода первичной энергии на единицу конечной. К этому добавляются эксплуатационные и капитальные расходы на превращение, передачу и распределение энергии.

Практика использования энергии также содержит явные резервы ее эффективного применения.

2. 3 Практика использования энергии

Рассмотрим практические возможности использования основных источников энергии.

На стадиях производной и конечной энергии в цепи ее превращений указанный ресурс используется на основе носителя в виде органического топлива: угля, продуктов нефтепереработки, природного

газа, древесины; потоков воды и др. После преобразования — в виде электроэнергии, пара, горячей воды, сжатого воздуха.

В качестве первичных источников энергии используют также энергию Солнца, воды, ветра и др. Причем выбор источника энергии или вида энергоносителя во многом зависит как от его свойств так и технологических особенностей преобразования к рабочему виду энергии.

На практике энергия главным образом используется для реализации следующих процессов:

- нагревания;
- охлаждения;
- механических действий;
- освещения;
- электрохимических процессов.

Часто вид источника полезной энергии определяется характером процесса потребления, но для всех других целей конечные источники энергии могут быть различными. Поэтому для каждого случая, как правило, существует ряд альтернативных возможностей превращения как первичной, так и производной энергии в конечную и полезную.

В промышленности использование энергии чаще всего связано с генерацией электричества и теплоты.

Критерии выбора энергоносителя, схем и оборудования для снабжения так же разнообразны, как и их использование. При этом стоит выделить два основных направления организации энергетического обеспечения:

- косвенное использование первичных или производных источников энергии для получения энергии;
- непосредственное использование первичных или вторичных источников энергии для энергетического обеспечения.

В первом случае важным фактором является эффективность промежуточного преобразователя, а во втором, — основного процесса использования.

Выбор энергоносителя определяется напрямую требованиями технологического процесса с учетом его энергетической способности, а также затратами на единицу энергии.

В этом смысле наибольшие затраты приходятся на долю электрической энергии. С учетом технических средств они в среднем в 5 раз выше затрат на преобразование других видов энергии.

Поэтому энергоэффективность является основным фактором технического прогресса и соответственно целью при преобразовании и использовании энергии.

•Энергоэффективность — характеристика оборудования, технологии, производства или системы в целом, свидетельствующая о степени использования энергии на единицу конечного продукта, действия или влияния.

Энергоэффективность непосредственно связана с техническими характеристиками материальных объектов и определяется энергоинформационными взаимодействиями.

2. 4 Энергетические компоненты гидроэнергетики

Энергия рек относится к возобновляемым ресурсам, что несомненно является весомым аргументом в пользу ее использования. Практика мирового использования гидроэнергетики подтверждает ее целесообразность.

Удельный вес гидроэнергии в общем балансе первичных ресурсов мира составляет около 7%. При этом, речной сток составляет лишь

тысячную долю процента объема пресных вод гидросферы планеты и совершенно ничтожную долю всего объема гидросферы.

В долгосрочных прогнозах МИРЭК отмечается тенденция к повышению роли гидроэнергетики в мировом энергетическом балансе на фоне снижения в потреблении удельного веса углеводородов.

Согласно данным МИРЭК теоретический гидроэнергетический потенциал речного стока Земли составляет 48 трлн. кВт. ч в средний по водности год.

Теоретический гидроэнергетический потенциал Украины при этом составляет 44 млрд кВт. ч. В том числе теоретический гидроэнергетический потенциал малой гидроэнергетики составляет 18,3 млрд. кВт. ч.

Река Днепр имеет суммарный валовый гидроэнергетический потенциал равный 14,6 млрд. кВт. ч.

Суммарные средние потери при освоении гидроэнергетического потенциала оцениваются в целом в пределах 36%.

Технический гидроэнергетический потенциал Украины составляет 21, млрд. кВт. ч, т. е. 48,1% от валового. Составной частью этого потенциала является потенциал малой гидроэнергетики - 5,7 млрд. кВт. ч.

Экономический гидроэнергетический потенциал Украины составляет 17 млрд. кВт. Ч

Отечественные гидроэнергетические ресурсы составляют величину около 45 млрд. кВт. час, из них потенциально технически доступные и экономически целесообразные оцениваются в 20-22 млрд. кВт. час, из которых в настоящее время практически освоено около половины. Общая полезная емкость всех водохранилищ - более 20 км³.

Суммарная среднегодовая выработка электрической энергии гидроэнергетикой составляет величину около 12 млрд. кВт. час.

Днепровский каскад ГЭС использует доступный водно-энергетический потенциал практически на 90%. Однако использование этого потенциала также имеет явные резервы эффективности.

Национальный потенциал малой гидроэнергетики при этом используется достаточно ограниченно и представляет собой не только реальные возможности но и направление развития.

2. 5 Основные компоненты энергетики ГЭС

Основные энергетические компоненты в технологическом процессе ГЭС представлены энергоносителем, технологическим использованием и выходной преобразованной энергией.

Энергетические свойства энергоносителя в данном случае отражаются энергетической интерпретацией уравнения Бернулли

$$g \frac{P}{\rho} + \frac{dm^2}{2} = a$$

где

$$g \frac{P}{\rho} = d_p \quad \text{– потенциальная составляющая энергии;}$$

$$\frac{dm^2}{2} = dE_k \quad \text{– кинетическая составляющая.}$$

Наиболее общим и строгим уравнением энергетического процесса гидроэнергетической установки считается следующее дифференциальное уравнение, /41/

$$\rho \frac{dh}{dt} + \dots$$

$q(t)$ – текущий приток верхнего бьефа;

h – текущая отметка верхнего бьефа;

$\omega(h)$ – текущая площадь верхнего бьефа;

$\omega(h) \frac{dh}{dt}$ – функция наполнения (расхода) верхнего бьефа;

Q – рабочий расход гидроустановки;

$z(Q)$ – функция нижнего бьефа от рабочего расхода;

$\Delta H(Q, h)$ – текущие потери напора в деривации;

$p(t)$ – текущая мощность установки.

В приведенном уравнении рабочий расход также представляется функцией текущих параметров

$$Q = Q_0 + \omega \frac{dh}{dt}$$

Рабочий расход гидроэнергетической установки может быть меньше текущего притока $q(t)$ при положительном значении dh и наполнении водохранилища. Отрицательное значение dh соответствует его расходу.

Следует отметить, что функция $\omega(h)$ задается топографической картой водохранилища. Часто она выражается таблицей или графиком площадей для различных отметок.

Это позволяет подобрать аналитическое выражение функции

$$\omega(h) = \omega_0 + \omega_1 h + \omega_2 h^2 + \dots + \omega_n h^n,$$

описывающее все табличные значения функции $\omega(h)$. Однако для практических задач достаточным оказывается ограничение ее первыми тремя и даже двумя членами приведенного уравнения. При необходимости возможна аппроксимация указанной функции с заданной точностью.

Функция нижнего бьефа определяется как

$$z = z_0 + \alpha Q^n,$$

где z_0 – уровень при отсутствии расхода, α – коэффициент неравномерности.

Функция потерь напорной деривации

$$\Delta H = \beta Q^2,$$

где β — коэффициент определяемый техническими характеристиками деривации.

При этом существует возможность математической интерпретации графиков и таблиц потерь верхнего и нижнего бьефов

$$z + \Delta H = (a + a_1 h)Q + (b + b_1 h)Q^2.$$

Приведенное уравнение позволяет решать как общие, так и частные задачи организации гидроэнергетического процесса.

Следует отметить, что уравнение энергетического процесса применимо как к отдельной энергетической установке, их группе, так и каскаду, расположенному на общей деривации и перерабатывающих общий поток энергетического носителя.

Следует отметить, что приведенные соотношения корректно отражают достаточно медленные изменения гидроэнергетических процессов.

При ограничениях, например, постоянстве приточного расхода q и мощности p , приведенное уравнение существенно упрощается



Однако ряда практических и теоретических задач гидродинамики часто важны описания именно быстроизменяющихся процессов.

2. 6 Особенности гидроэлектроэнергетических систем

Гидроэлектроэнергетические системы являются энергетической основой ГЭС. Они выполняются на основе гидроагрегатов, рис. 2. 1.

На данной схеме отражены основные функциональные компоненты гидроагрегата: гидромеханическая часть в виде турбинного водовода с турбиной и регулятором скорости РС; механическая часть с системой контроля СК; электромеханическая часть в виде

гидрогенератора с системой возбуждения на основе регулятора напряжения РН.

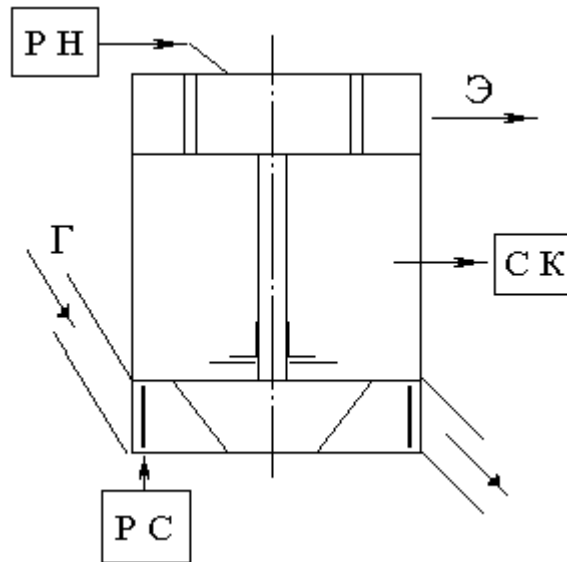


Рис. 2. 1 Общая структурная схема гидроагрегата

Приведенная структурная схема отражает реализацию процесса сложного энергетического преобразования по схеме

$$\Gamma \rightarrow M \rightarrow \mathcal{E}$$

Гидромеханическая составляющая энергии, выделенная гидравлической турбиной преобразуется электромеханическим преобразователем в электрическую энергию.

Следует отметить существующее в данном процессе единство технических составляющих различной физической природы.

Именно взаимодействие указанных составляющих определяет результирующие характеристики технических объектов.

Уравнение баланса на уровне гидроагрегата связывает основные виды изменений составляющих энергии в системе:

$$\Delta W_g = \Delta W_e + \Delta W_m$$

Для электромеханической части системы, с учетом основных составляющих: изменения энергии магнитного поля ΔW_f и механической составляющей энергии ΔW_m , изменение электрической энергии имеет вид

$$\Delta W_e = \Delta W_f + \Delta W_m.$$

Наиболее важным выводом из приведенного равенства есть то, что механическая работа, выполняемая за счет ΔW_m практически может быть определена через две электрические величины i и Ψ . Тогда уравнения баланса соответственно примут вид

$$\Delta W_m(i, h) = \Delta W_e(i, h) - \Delta W_f(i, h);$$

$$\Delta W_m(\Psi, h) = \Delta W_e(\Psi, h) - \Delta W_f(\Psi, h);$$

Составляющие энергетические в любом случае непосредственно связаны с физическими или механическими перемещениями элементов системы h .

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. Энергии материальных систем обеспечивают реализацию их технологических процессов;
2. Практика использования энергии содержит явные резервы ее эффективного применения.
3. Важными факторами являются эффективность преобразователя, а для основного процесса - использование энергии.
4. Эффективность использования энергии часто определяется информационной составляющей процесса.
5. Гидроэнергетическая система реализует сложное преобразование энергии с выраженной динамической составляющей процессов.

3 ЭНЕРГО-ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Энергоинформационные влияния и взаимодействия составляют основу реализации технологических процессов. Гидроэнергетика в данном смысле не является исключением.

На уровне гидроагрегата по видам возможно выделить гидромеханические и электромеханические энергоинформационные влияния.

Информационные и коммуникационные характеристики указанных каналов существенно отличаются. Это обстоятельство накладывает дополнительные ограничения на реализацию процесса, особо ощутимые на переходных процессах, их качестве и реализации.

Поэтому представляют непосредственный интерес влияния энергетических и информационных составляющих на реализацию процесса.

3.1 Влияние энергетических и информационных составляющих на качество энергетических процессов

Энергоинформационное взаимодействие или обмен в технических системах реализуется по общей схеме, рис. 1. 16.

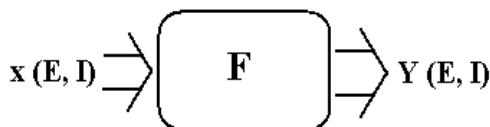


Рис. 3. 1 Общая схема энергетических и информационных потоков

В приведенной системе выходной энергоинформационный компонент составит

$$Y(E, I) = F [x(E, I)],$$

где $x(E, I)$ — входное энергоинформационное влияние.

В свою очередь их можно представить как

$$Y(E, I) = \sum_{k=1}^N f [x_{вх}(E, I)] + \sum_{k=1}^N c_{п}(E, I),$$

где $f [x_{вх}(E, I)]$ — функция исходных входных влияний; $c_{п}(E, I)$ — функция внутренних потерь.

Приведенное соотношение справедливо для условия $\{f\} \in F$

Передача управляющих энергоинформационных сигналов от системы управления к управляемому объекту в теории управления носит название *прямой связи*, а передача информации в обратном направлении — *обратной связи*, рис. 3. 2. Обратную связь в системах управления чаще всего осуществляют системы автоматизированного контроля.

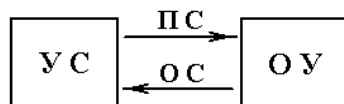


Рис. 3. 2 Схема внутрисистемных энергоинформационных потоков: УС — управляющая система; ОУ — объект управления; ПС — прямая связь; ОС — обратная связь

Один из наиболее простых видов автоматического управления с обратной связью имеет целью поддержание в меняющихся условиях заданных постоянных значений тех или иных параметров (уровня, скорости вращения вала, температуры и т. п.). Такого рода задачи решаются устройствами, называемыми *автоматическими регуляторами*.

Более сложными являются задачи *оптимального управления*, имеющие достаточно много разновидностей.

Самая простая из них — задача *экстремального регулирования*, целью которой является поддержание экстремального (максимального или минимального) значения одного из регулируемых параметров.

В более сложном случае речь может идти о поддержании (в меняющихся условиях) экстремального значения некоторой заданной функции от регулируемых параметров.

Задача систем, *оптимальных по быстрдействию*, состоит в том, чтобы найти алгоритм управления (последовательность управляющих воздействий), обеспечивающий наиболее быстрый перевод объекта управления из одного заданного состояния в другое.

При этом приходится учитывать различные **о г р а н и ч е н и я**, накладываемые на управление свойствами объекта или особенностями системы управления.

3. 2 Особенности энергоинформационных взаимодействий

Информация в любых системах преимущественно выполняет роль структурирующую.

Энергия служит преимущественно субстанцией, выполняющей роль обеспечения характеристик материальной системы.

По отношению к информации она чаще всего, как и материя, выполняет роль носителя.

Однако информация по отношению к энергии и материальным объектам, способна непосредственно активно влиять на них. На энергетические составляющие влияние синхронизирующее.

Резонансные явления в своей основе также имеют информационные истоки и составляющие процесса.

С точки зрения физической, амплитуда вынужденных колебаний практически любой природы выражается соотношением

$$A = \frac{F_0}{m\sqrt{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\delta^2\omega^2}}$$

где F_0 — амплитуда возмущающей силы; m — масса колеблющейся системы; ω_0 - циклическая частота свободных незатухающих колебаний системы; ω — циклическая частота внешней среды; δ — коэффициент затухания.

Именно величина коэффициента затухания определяет условия проявления резонансных явлений

$$\delta_0 = \frac{r}{2m} = 0$$

При отсутствии затухания резонансные явления проявляются максимально при условии соответствия частот

$$\omega = \omega_0.$$

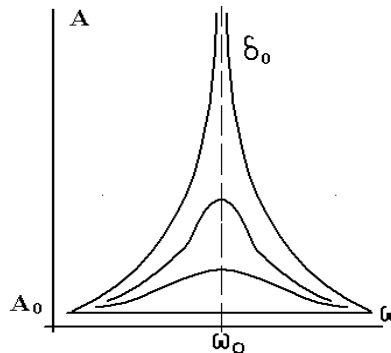


Рис. 3.3 Влияние затухания на амплитуду резонансного процесса

Таким образом существует по крайней мере две величины δ_0 и ω_0 , определяющие качество энергетического процесса. Они могут быть компонентами характеристического уравнения при оптимизации процесса.

Резонанс электрический непосредственно связан с частотными процессами в L-C контурах

$$\omega L = 1/\omega C.$$

Электромеханический резонанс преимущественно проявляется в электрических машинах. Условие резонанса связывает частоту сети и частоту вращения известным соотношением

$$f_c = p \cdot n,$$

где p — число пар полюсов; n — частота вращения.

Следует отметить, что резонансные явления в своей основе имеют энергетический аспект на выраженной информационной основе. Последняя чаще всего проявляется в виде направлений векторов действия.

Энергетические и информационные составляющие связаны непосредственно взаимным влиянием.

Указанное влияние определяет формирование пространственного вектора энергетического обеспечения процесса и начальные условия его развития. В динамических процессах появляется еще одна, дополнительная составляющая, непосредственно влияющая на его текущее изменение.

По сути речь идет о двух векторных составляющих: статической и динамической. Их взаимодействие определяет функциональную устойчивость технических объектов.

3. 3 Влияние энергетических и информационных составляющих на качество энергетических процессов

Качественные характеристики реализации энергетических составляющих процессов в основном определяются уровнем их информационного обеспечения.

Качественные характеристики процессов управления в основном определяются уровнем их обеспечения: энергетического, информационного и материального.

В самом общем случае критерий качества энергетического процесса имеет вид:

максимизировать

$$E = f(E_B, I) \quad (3.1)$$

при ограничениях

$$G_i(E_B, I) < b_i, \quad i = 1, m \quad (3.2)$$

где E – целевая функция (показатель качества, эффективности) объекта;

E_B – вектор управляющих энергетических переменных;

I – вектор информационных влияний;

G_i – функция изменения i – го показателя;

b_i – величина i – го показателя.

При этом энергетическая составляющая часто служит не только необходимым условием их реализации, но и носителем достаточного – семантического компонента.

Смысловая часть является в свою очередь не только необходимым средством качественной реализации характеристик процесса но и его энергетических затрат.

Содержание и форма по существу оказывают векторное влияние не только на процесс управления, но и его качественные характеристики.

Содержание, форма и энергия по существу оказывают векторное влияние не только на реализацию процесса, но и его качественные характеристики.

При этом важную роль играет и мера влияния составляющих на качественные характеристики реализации процессов.

3.3.1 Мера влияния составляющих

Мера влияния отдельных составляющих на качественные характеристики технических процессов в общем виде

$$M_B = f(S, F, O),$$

где S – содержание;

F – форма;

О – объем.

Мера влияния энерго-информационных составляющих на качественные характеристики процессов.

$$M_B = f(I, E, t),$$

где I – информационная составляющая;

E – энергетическое влияние.

t — время.

Мера влияния во многом зависит от характера процесса и его исходных характеристик.

Важен и характер основных составляющих реализации процессов.

Составляющие статические не зависят от времени, но определяют уровень общих параметров и характеристик.

Составляющие динамические имеют временные зависимости, определяют текущие значения режимов.

Важны также и основные аспекты взаимных влияний существенных составляющих процессов.

3.3.2 Информационный аспект

Информационный аспект реализации процесса состоит в определении направления приложения усилия или энергетического влияния и требуемой его величины.

$$K_{BI} = f \left(\sum_{n=1}^N (I_c)_n, E \right),$$

где $\sum_{n=1}^N (I_c)_n$ отражает результирующее влияние содержательной части информационных составляющих процесса;

E — уровень энергетического обеспечения.

Часто информационный аспект реализации процесса преимущественно состоит в определении направления начальной его инициации.

$$K_{HI} = f \left(\sum_{n=1}^N (I_{Tc})_n, E_H \right),$$

где $\sum_{n=1}^N (I_{Tc})_n$ отражает результирующее влияние необходимой содержательной части информационных составляющих процесса;

E — требуемый уровень начального энергетического обеспечения.

Таким образом, появляется возможность влиять на реализацию процессов.

3.3.3 Энергетический аспект

Энергетический аспект реализации процесса во многом определяется величиной необходимой для реализации процесса энергии. Однако величина часто существенно зависит от заданного направления влияния.

$$K_{BE} = f \left(\sum_{n=1}^N E, I_C \right)$$

где $\sum_{n=1}^N E$ отражает результирующее влияние энергетической части составляющих процесса;

I_C — уровень необходимого информационного обеспечения.

3.4. Энергоинформационный обмен

Энергоинформационный обмен в технических системах преимущественно основан на взаимных влияниях энергетических и информационных компонентов в рамках реализации технологии или процесса

$$WI = \sum_{n=1}^N W_n + \overset{N}{W}(I),$$

где $\sum_{n=1}^N W_n$ — результирующая энергетических влияний;

$\sum_{n=1}^N W(I)$ — результирующая информационных влияний.

Указанные влияния осуществляются на взаимной компенсационной основе на уровне физических возможностей составляющих.

3. 4. 1 Основные принципы энерго-информационного обмена

Основные принципы энергоинформационного обмена следующие:

1. Энергетические и информационные компоненты процессов взаимно дополняемы и определяются обобщенным фактором эффективности.
2. Энергетическая составляющая формируется информационным влиянием.
3. Информационная компонента проявляется на фоне энергетического влияния и формирует его ресурс.

Важным обобщающим принципом является баланс суммарных энергоинформационных и информационноэнергетических влияний любой технической системы

$$\sum IW = \sum WI$$

Приведенные основные принципы отражают единство процессов и взаимное влияние информационных и энергетических составляющих в общем рабочем балансе системы.

Указанный баланс реализуется также и на материальной составляющей технических объектов. Ее свойства также имеют важное значение.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. Информационные и энергетические составляющие непосредственно и существенно влияют на качество и эффективность реализуемых процессов в технических системах.

2. Основные принципы энергоинформационных процессов отражают практическое наполнение технологических балансов.

3. Энергоинформационные влияния и взаимодействия составляют основу реализации технологических процессов

4. Мера влияния составляющих во многом зависит не только от характера процесса, но и его исходных характеристик.

5. Энергоинформационный обмен технической системы существенно определяет ее характеристики.

4 МАТЕРИАЛЬНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Материя является непреременным компонентом создания и существования любой технической системы.

Именно материальные составляющие обеспечивают необходимые условия реализации требуемых технологических процессов.

При этом существует определенное разнообразие в исполнениях, проявлениях, влияниях и действиях материальных компонентов.

Материальные составляющие в сочетании с информационными, энергетическими формируют функциональный уровень технических объектов.

Поэтому следует рассмотреть основные свойства и возможности данного класса компонентов.

4.1 Основные определения и характеристики материи

Согласно философским представлениям материя (от лат. *Materia* - вещество), - понятие обозначающее отличительный признак очевидной пространственной телесности, /1/.

В новой физике термин «материя» также обозначает некоторую особую точку поля, что связывает это понятие также и с теорией поля.

С точки зрения классической физики материя имеет целый ряд количественных описаний разных ее свойств, используемых в различных ее технических приложениях.

Так, например, количество вещества выражается через моль, масса — в килограммах (ньютонгах), размеры, — в метрах, напряжения механические — в паскалях...

Сила материального взаимодействия выражается в ньютонгах и имеет направление:

$$F = m a.$$

Основные физические свойства материальных объектов характеризуются прежде всего размерами, массой и жесткостью. Эти три составляющие позволяют в первом приближении описать статическое состояние любого материального объекта.

Описание динамических свойств требует учета ряда дополнительных характеристик, в первую очередь, скоростных, инерционных и производных, таких как усилия, моменты и др.

Так, в частности, скорость и градиент скорости отражают динамические возможности материальных объектов.

$$v = dl/dt.$$

Градиент скорости непосредственно характеризует движение масс или течение газов и жидкостей. Представляет собой характеристику изменения скорости в направлении перпендикулярном основному вектору и направлен в сторону возрастания скорости

$$\text{grad } v = dv/dl.$$

В технике материальная составляющая составляет основу всех потоков, сооружений, агрегатов и устройств.

4. 2 Общая характеристика материальной составляющей в энергетике

В энергетике материальная составляющая часто носит вспомогательный характер, составляет основу, создает условия реализации технологии или процесса получения или преобразования энергии.

Так, все конструктивные элементы гидрогенератора, включая его активную часть служат одной основной цели, обеспечивают параметры его основного элемента — рабочего зазора, в котором собственно и реализуется процесс преобразования энергии. При этом условия

преобразования реализуются соответствующим перемещением основных функциональных элементов.

Гидросооружения создаются для того, чтобы обеспечить необходимые условия преобразования энергии воды. При этом удельные капитальные затраты существенно выше, чем для других типов электростанций.

Объем материальной составляющей во многом зависит от физических условий преобразования энергии. Так, например синхронная частота вращения турбогенератора тепловой станции максимальна и составляет 3000 об/мин, в то время как гидрогенераторы имеют частоты вращения в пределах 50...600 об/мин.

Гидрогенераторы с частотой вращения до 100 об/мин считаются тихоходными, свыше 200 об/мин — быстроходными.

Материальная составляющая непосредственно связана и с конструктивными особенностями исполнения как устройств, так и основных их элементов, а также отдельных, наиболее важных компонентов.

Так, например, гидроагрегат Саяно-Шушенской ГЭС при мощности 640 Мвт и массе порядка 3000 т может испытывать гидростатическое давление более 8000 т. Усилия гидродинамические могут существенно превышать указанные величины, а процессы гидроэлектродинамические при наличии резонансных явлений вполне способны вызывать крупные техногенные аварии.

Турбогенераторы имеют преимущественно горизонтальную ось вращения и форму вытянутого цилиндра, соотношениями диаметра ротора к его длине порядка 0,179. При этом ротор неявнополюсный, а зазор более однородный. КПД достигает 99%, а активная масса на единицу мощности составляет величину порядка 0,456 кг/(кВ А).

Пуск паротурбинного блока из холодного состояния длится не менее 10—12 ч., газотурбинного — порядка 10 мин.

Гидроагрегат обеспечивает функциональную готовность в течение времени до 1 мин.

Гидрогенераторы имеют также цилиндрическую форму активной части, но ось вращения у них преимущественно вертикальная, ротор явнополюсный с числом полюсов от 8 до 120, рабочий зазор менее однородный. Соотношения диаметра ротора к его длине в данном случае представляет собой величину порядка 9,2, КПД достигает 98,2%

Пуск гидроагрегата, включая его полную загрузку, составляет 30—40 с, скорость изменения нагрузки достигает 400—500 Мвт/мин. Это существенно повышает действующие механические нагрузки основных элементов гидроагрегата, соответственно их материалоемкость и требования к рабочим характеристикам материалов.

Еще больше сказывается повышение частоты преобразования на материальном содержании в первую очередь активных материалов энергетических преобразователей.

Так ПСЧ-50 имеет частоту 500 Гц, его масса с приводом составляет **величину порядка 250 кг.**

Синхронный генератор соизмеримой мощности, частотой 50 Гц имеет соизмеримую массу без привода.

Связь материальной составляющей с энергетической в преобразователях можно проследить на основе сравнения удельных затрат например, активных материалов на единицу мощности.

В мощных турбогенераторах, в среднем наблюдаются величины порядка 0,5 кг/кВт.

Для гидрогенераторов удельный расход активных материалов на единицу мощности определяется максимальным коэффициентом

использования активного объема, Эссона и составляет величины порядка

$$C_{\text{Э}} = 8 - 10 \text{ кВ А/(м}^3 \text{ об/мин)}.$$

Материальная составляющая представлена и на уровне энергетических ресурсов, в энергоносителях. Она существенно влияет на энергетическую эффективность процессов. В данном случае она формирует потоки.

В зависимости от способа извлечения энергии возможно определить основные критерии эффективности, влияющие на практику использования.

Так, тепловые электростанции мощностью 10 млн. кВт потребляют ежегодно около 14 млн. т угля.

Для таких носителей энергии как, излучение, ветер, вода, - энергия сосредоточенная в них пропорциональна фактически плотности носителя. Именно этим обстоятельством объясняется более высокая эффективность гидроэнергетических устройств по отношению к ветроэнергетическим и соответственно к гелиосистемам.

Доказано, что ресурсы энергии ветра и солнца весьма существенны, но они рассеяны в пространстве, что препятствует эффективному извлечению из них энергии.

4. 3 Информационный аспект материальных систем

Информационный аспект материальных систем достаточно часто прежде всего непосредственно связан с их структурой. Форма, как известно, определяет содержание.

Так, например, из механики достоверно известно, что профили обеспечивают механические характеристики сечений. Это свойство

достигается соответствующим перераспределением нагрузок за счет информационных связей влияющих на распределения концентрации напряжений в конструкциях.

В плане динамических влияний известны резонансы конструкций вызванные малыми направленными, периодическими влияниями, способными существенно влиять не только на характеристики и работоспособность в целом, но и их целостность. Поэтому вопросы материальноинформационного обмена и влияний имеют существенное значение в технических системах.

Материальноинформационный обмен

Материальноинформационный обмен основан на взаимных влияниях материальных и информационных компонентов в рамках реализации технологии или процесса

$$MI = \sum_{n=1}^N M_n + \sum_{n=1}^N M(I),$$

где $\sum_{n=1}^N M_n$ — результирующая материальных влияний;

$\sum_{n=1}^N M(I)$ — результирующая информационных влияний.

Указанные влияния осуществляются на взаимной компенсационной основе на уровне физических возможностей составляющих.

Организация и учет указанного обмена реализуется балансным принципом.

4.4 Материально информационный баланс

Любая материальная система испытывает влияния внешних и внутренних факторов.

Важным принципом организации является баланс суммарных материальноинформационных и информационноматериальных влияний

$$\sum \mathbf{I} \cdot \mathbf{M} = \sum \mathbf{M} \cdot \mathbf{I}$$

Поскольку особенностью преобладающего большинства материальных систем является их физическая замкнутость, возможно считать, что

$$\sum \mathbf{I} \cdot \mathbf{M} = 0.$$

Действительно, любая законченная материальная система при условии отсутствия или равновесия внешних реакций может быть отнесена к замкнутым.

Приведенные основные принципы отражают единство процессов и взаимное влияние информационных и энергетических составляющих в общем рабочем балансе системы.

4.5 Информация и энергия в механике и гидромеханике

Механика и гидромеханика в гидроэнергетических системах взаимосвязаны условиями преобразования энергии. Информация и энергия потока передается гидромеханическому преобразователю – турбине, интегрирующей мгновенные составляющие процессов, но реагирующей на весь спектр влияний, что доказывают вибрации ее лопастей в рабочем потоке и др.

Информация и энергия материальных конструкций часто непосредственно связана с их деформациями, /24/.

Функции напряжений в данном контексте достаточно корректно отражают энергоинформационные влияния в материальных системах.

Уравнение неразрывности плоских деформаций относительно функции напряжений φ имеет вид



Дифференцированием приведенного уравнения получают бигармоническое уравнение Максвелла

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\alpha^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\beta^2} = \epsilon,$$

используя дифференциальный оператор Лапласа

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\alpha^2} + \frac{\partial^2}{\beta^2},$$

бигармоническое уравнение в более компактной форме можно выразить через двойной оператор Лапласа

$$\nabla^4 \varphi = 0$$

Таким образом возможно на уровне физическом учесть влияния энергоинформационных факторов на материальном уровне.

Поэтому существуют все основные группы компонентов для рассмотрения результирующего баланса технической системы.

4. 6 Результирующий баланс системы

Результирующий баланс технической системы позволяет комплексно подходить к выделению факторов действия. Он непременно должен включать все основные группы компонентов влияний: материальные, энергетические и информационные.

На практике влияния перечисленных составляющих отвечают принципу коммутативности

$$\sum \mathbf{M} \cdot \mathbf{W} \cdot \mathbf{I} = \sum \mathbf{I} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{W} = \sum \mathbf{W} \cdot \mathbf{M} \cdot \mathbf{I}$$

Приведенные соотношения отражают объективный фактор единства технических систем, показывают возможности и пути достижения необходимых качеств.

Кроме того, важен срез взаимодействий с окружающей средой. При этом следует учитывать внешние и внутренние факторы реализуемых процессов

$$\sum M_B \cdot W_B \cdot I_B = \sum M_{BH} \cdot W_{BH} \cdot I_{BH},$$

где индексы В – соответственно отражают характеристики внутренних, а ВН – внешних составляющих процессов.

$$\sum M_D \cdot W_D \cdot I_D = \sum M_P \cdot W_P \cdot I_P,$$

где индексы Д – соответственно отражают влияния динамических составляющих, а П – переходных составляющих процессов

Таким образом возможно получение балансов любых требуемых уровней, позволяющих не только детально анализировать любые технические объекты в разрезе действия МЭИ факторов, но и выделять необходимые существенные составляющие.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. Материальные составляющие обеспечивают необходимые условия реализации требуемых технологических процессов.
2. Показаны основные свойства материальных составляющих технических систем, позволяющие реализовать энергетические и информационные взаимодействия.
3. Основные факторы действия технической системы должны выделяться и рассматриваться комплексно, с учетом требуемых показателей эффективности.
4. Результирующий баланс технической системы должен включать основные компоненты влияний: материальные, энергетические и информационные.
5. Действие энергоинформационных факторов материального уровня возможно учесть на уровне физических влияний.

5 ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ КОММУНИКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Коммуникации в технических системах играют особую, важную функциональную роль, способны определять результирующие параметры системы, особенно критичны они в динамических режимах технических объектов.

Требуемые коммуникационные характеристики чрезвычайно важны для обеспечения необходимого уровня взаимодействия компонентов любой технической системы. При этом следует различать коммуникационные характеристики информационных каналов, энергетических, а также энергоинформационных.

Коммуникации материальные систем часто имеют индивидуальные особенности. Они обусловлены достаточной степенью жесткости механических конструкций, взаимодействий и распределения нагрузок. Основным критерием коммуникации материальных систем может служить их форма и возможности ее обеспечения в различных условиях, в том числе и динамических.

Коммуникации информационные систем преимущественно обеспечивают их наполнение, в том числе содержательное.

Коммуникации энергетические любых объектов и систем преимущественно обеспечивают их проявления.

Коммуникации энергоинформационные преимущественно обеспечивают основное действующее начало технической системы.

Суммарные действия коммуникационных составляющих обеспечивают характеристики и взаимодействия основных действующих факторов технических систем и реализуемых ими процессов.

Коммуникационные характеристики каналов в общем виде определяются их пропускной способностью.

Коммуникационный аспект влияния при реализации процесса во многом определяет характеристику текущей его реализации. Однако величина часто существенно зависит от характеристик канала, осуществляющего передачу.

$$K_{BK} = f \left(\sum_{n=1}^N K, E, I_C \right)$$

где $\sum_{n=1}^N K$ отражает результирующее влияние коммуникационных составляющих процесса;

E — уровень энергетического влияния;

I_C — уровень необходимого информационного обеспечения.

Однако существуют особенности коммуникаций информационных и энергетических. Их следует рассмотреть подробнее.

5. 1 Коммуникации и информационные их влияния

Коммуникационные составляющие очень часто вносят существенные изменения в исходные информационные компоненты. Основные влияния оказывают свойства канала и внешние искажения. В общем виде систему передачи информации можно представить, как на рис. 5. 1.

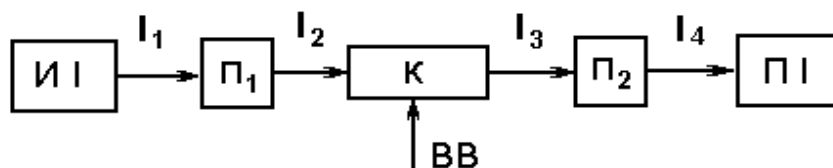


Рис. 5. 1 Обобщенная схема реализации коммуникационного процесса:

И I — источник информации, I — информация, П — преобразователь, К — канал, В В — внешние влияния, П I — получатель информации.

Часто важны именно динамические качества коммуникационных каналов. Поэтому следует рассматривать их временные характеристики: запаздывания, постоянные времени и др.

5.2 Основные характеристики энергетических каналов

Каналы энергетические прежде всего должны обеспечивать достаточную проводимость потоков энергии. При этом важны характеристики этих потоков. Потоки активной энергии. Реактивная энергия.

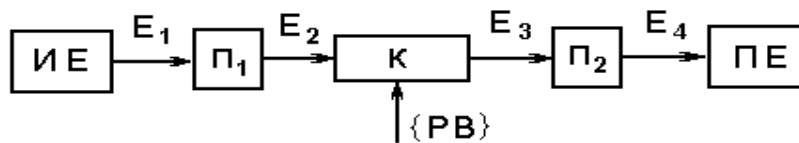


Рис. 5.2 Обобщенная схема реализации энергетического коммуникационного процесса: И Е — источник энергии, Е — энергия, П — преобразователь, К — канал передачи, Р В — результирующие влияния, П Е — потребитель энергии

К основным характеристикам энергетических каналов прежде всего относят их пропускную способность.

Немаловажны также потери и коэффициент мощности.

Отдельным пунктом следует рассматривать временные характеристики: запаздывания, постоянные времени. Они отражают динамические качества энергетических каналов.

5.3 Особенности энергоинформационных коммуникаций

Энергоинформационные коммуникации не могут просто представляться свойствами коммуникаций информационных или энергетических, а также их простой суммой. Они имеют выраженные индивидуальные особенности, обусловленные новым качественным уровнем энергоинформационных влияний. Однако основные схемы их практической реализации возможно свести к известной классификации, рис. 5.3.

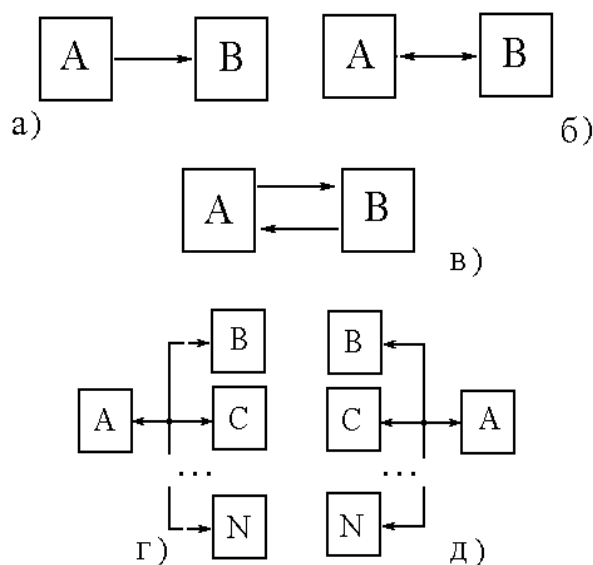


Рис. 5.3 Основные схемы реализации энергоинформационных коммуникационных процессов:

а) симплексная; б) полудуплексная;

в) дуплексная; г) мультиплексная; д) селекторная

Основной особенностью приведенных схем являются возможности их практической ориентации и действия. При этом различаются два основных, базовых режима: симплексный и дуплексный. Все остальные схемы являются по сути комбинациями базовых.

Так, симплексная схема обеспечивает непрерывные однонаправленные процессы, а дуплексная — двунаправленные.

Полудуплексная схема является симплексной в каждый отдельный момент времени.

Мультиплексная схема в любой момент времени имеет выраженные признаки полудуплексной для системы «источник — получатель», которые по сути равнозначны.

Селекторная схема иерархична, имеет ведущий элемент и сеть ведомых, которые могут быть источниками по выбору ведущего. При этом коммуникационные возможности их повышаются.

Выбор схемы и режима коммуникационного процесса должен учитывать возможности источников и существующие потребности обмена на основе рабочего алгоритма взаимодействия. Так, симплексный метод и режим практически неприемлем в системах с многосторонним обменом, дуплексный имеет явную избыточность при двустороннем реверсивном последовательном обмене, а селекторный — не в состоянии заменить мультиплексный.

Это моменты явные, очевидные, но возможны реальные ситуации когда необходимо использование или объединение нескольких различных свойств, присущих различным схемам. При этом возможно изменение типа и режима коммуникационного процесса в соответствии с потребностями и алгоритмом реализации процесса.

Следует отметить, что именно коммуникационный процесс обеспечивает необходимые условия системного существования любого уровня. Он обуславливает необходимый энергоинформационный обмен в системе и ее организацию, / 26 /.

5. 4 Влияние характеристик коммуникационных каналов

Характеристики коммуникационных каналов и внешние факторы оказывают непосредственное влияние на искажение исходной

информации. Вид и степень искажения во многом определяются характеристиками канала.

Влияние искажений возможно учесть на основе соотношения функций мощностей, именуемое динамическим диапазоном.

$$D = \log P_c/P_n,$$

где P_c и P_n — соответственно мощности сигнала и искажений.

Используя временную характеристику T и спектральную F можно получить обобщенную идеализированную коммуникационную модель, геометрическое представление которой в системе координат f, t, d соответствует параллелепипедам, рис. 5. 4. Аналитические характеристики, описание канала и сигнала в такой модели инвариантны.

Объем канала оценивается соотношением

$$V_k = T_k \cdot F_k \cdot D_k,$$

Объем сигнала оценивается соотношением

$$V_c = T_c \cdot F_c \cdot D_c,$$

Таким образом возможно построение коммуникационной модели с условием неискаженной передачи: $V_k > V_c$.

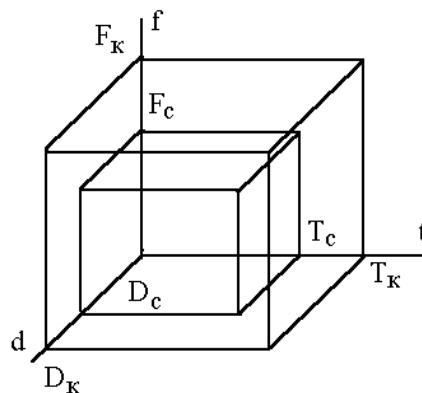


Рис. 5. 4 Обобщенная коммуникационная модель

Такая модель достаточно удобна для оценки коммуникационных возможностей. Однако реальное согласование ее выполняется по всем параметрам по условиям достаточности.

Таким образом возможна реализация граничной коммуникационной модели. Она дает представление о возможностях канала, сигнала и их согласования.

Основными коммуникационными характеристиками канала являются скорость и пропускная возможность C . Этими условиями формируются потоки.

Однако для систем управления важны также и динамические коммуникационные характеристики. К ним, прежде всего, следует отнести постоянные времени и запаздывания сигналов, рис. 5. 5.

Динамическая функция коммуникационного канала

$$F_K = f (V_K, \tau_K),$$

где τ_K — постоянная времени коммуникационного канала.

Следует отметить, что характер влияния характеристик канала существенно зависит от вида действующей его временной характеристики.

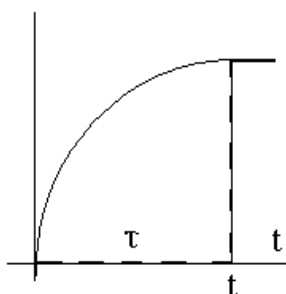


Рис. 5. 5 Временные характеристики каналов

В данном случае представлены наиболее распространенные варианты изменения любого сигнала в течение соизмеримого временного интервала. Один непосредственно связан с инерционностью системы и характеризуется постоянной времени τ , а второй — ее запаздыванием t .

Звено запаздывания физически выполняет роль сдвига входного сигнала на время t . Выходной сигнал равен входному, но сдвинутому на время запаздывания.

При этом основную роль часто играет не столько интервал сдвига, а именно характер изменения сигнала. Именно он определяет результирующие динамические качества систем.

Звено запаздывания иногда называют звеном чистого или транспортного (коммуникационного) запаздывания.

Следует отметить, что постоянные времени канала управления в системах с обратными связями существенно изменяют динамические свойства системы регулирования напряжения на основе синхронного генератора и характер переходного процесса.

При этом следует учитывать, что постоянные времени синхронного генератора величины конструктивного порядка, заданные при проектировании электрической машины, /27/. Соответственно, постоянные времени регулятора напряжения в составе системы возбуждения и даже измерительного органа переменного напряжения, как это показано выше, способны определять характер переходного процесса, /28/.

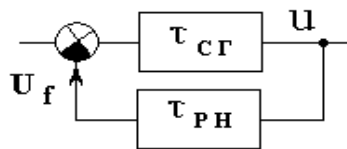


Рис. 5. 6 Структура коммуникаций обратной связи

Управляющее воздействие в замкнутой системе, рис. 5. 6 формируется в зависимости от величины и знака отклонения истинного значения управляемой величины от ее заданного значения:

$$y(t) = A_y[\varepsilon(t)], \quad (5.1)$$

где $\varepsilon(t) = x_3(t) - x(t)$ – сигнал ошибки или рассогласования.

Замкнутую систему называют часто системой управления по отклонению.

В такой системе контролируется непосредственно управляемая величина и тем самым при выработке управляющего воздействия учитывается действие всех возмущений, влияющих на управляемую величину. В этом заключается преимущество замкнутых систем.

Но из-за наличия в замкнутой цепи инерционных воздействий в этих системах могут возникать колебания, которые в некоторых случаях делают систему неработоспособной. Кроме того, сам принцип действия замкнутых систем (принцип управления по отклонению) допускает нежелательные изменения управляемой величины:

В тоже время в системах управления по возмущению, часто разомкнутых управляющее воздействие зависит от возмущающего и задающего воздействий:

$$y(t) = A_y [x_z(t), z(t)]. \quad (5.2)$$

В большинстве случаев разомкнутые системы управления по возмущению выполняют функции стабилизации управляемой величины.

При этом преимущество разомкнутых систем управления по возмущению – их быстродействие: они компенсируют влияние возмущения еще до того, как оно проявится на выходе объекта. Но применимы эти системы лишь в том случае, если на управляемую величину действуют одно или два возмущения и есть возможность их измерения.

С учетом изложенного, представляется целесообразным объединить в измерительном преобразователе свойства двух типов устройств, действующих по отклонению и возмущению одновременно, скорее важна сама возможность компенсации возмущения по форме контролируемого напряжения.

Следует отметить, что всякое измерительное устройство по сути является преобразователем измеряемой величины в величину удобную для дальнейшего использования. Измерительное устройство обладает собственными динамическими свойствами и может достаточно сильно исказить измеряемую величину.

Указанная задача решается естественным способом на основе использования показанного МЭИ подхода с учетом использования разработанного метода измерений и его коммуникационных характеристик.

Так, инерционность измерительного органа регулятора напряжения системы возбуждения гидрогенератора, поскольку он в составе РН находится в цепи обратной связи, повышает порядок системы управления.

Это, в свою очередь, существенно влияет на характер, длительность и соответственно потери переходного процесса гидрогенератора, рис. 5. 7.

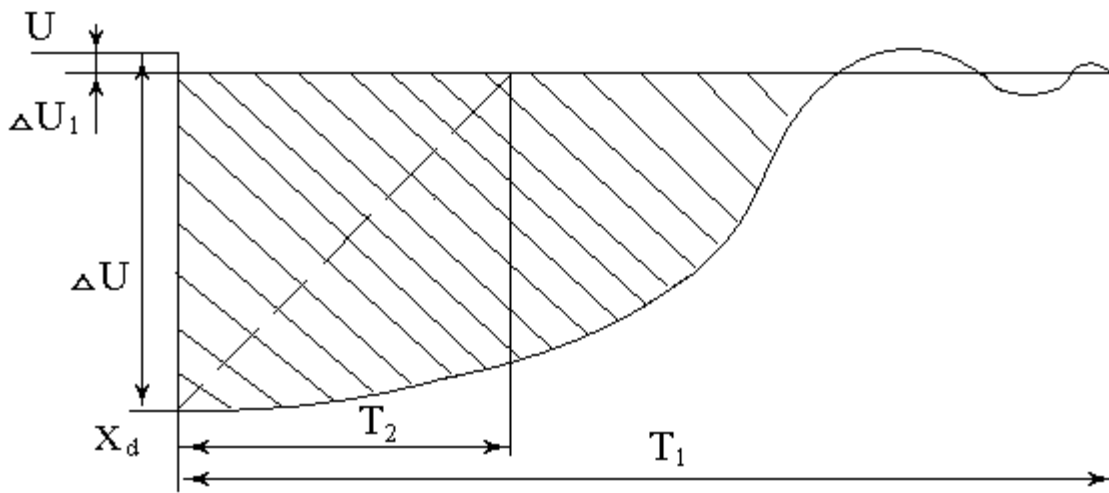


Рис. 5. 7 Характеристики переходного процесса гидрогенератора

Наличие инерционности обратной связи с точки зрения теории автоматического регулирования фактически превращает систему гидрогенератор – регулятор напряжения в эквивалентное

апериодическое звено с колебательным характером переходного процесса восстановления напряжения при включении нагрузки. Длительность такого процесса характеризует величина T_1 .

В случае исключения коммуникационной инерционности в контуре обратной связи появляется возможность обеспечить линейный характер переходного процесса за время T_2 . Это существенно снизит потери переходных процессов, повышает устойчивость и эффективность систем управления.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. Коммуникационные характеристики каналов влияния существенно сказываются на реализации процессов.
2. Обобщенная идеализированная коммуникационная модель позволяет учитывать влияния характеристик каналов по различным параметрам.
3. Коммуникационные характеристики канала регулирования напряжения гидрогенератора существенно влияют на характер и характеристики переходного процесса.
4. Инерционность канала обратной связи повышает порядок системы управления и вызывает апериодический переходный процесс гидрогенератора.
5. Постоянные времени и временные задержки не только отличны по природе, но имеют различные механизмы действия в системах управления.

6 ПРИМЕРЫ ПРАКТИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕДЛАГАЕМЫХ РЕШЕНИЙ

Практическая реализация предложенного подхода имеет достаточное разнообразие практических приложений.

Разработанные приложения охватывают достаточно широкий круг разнообразных технических задач в областях контроля, измерения, защиты и управления энергетическими объектами.

Особенностью решений является единство подходов, основанных на выделении содержательной составляющей процесса.

Показаны различные уровни выделения содержательных составляющих, соответствующие требованиям конкретных реализуемых процессов. Это измерения, контроль, защита и управление.

Важной задачей является начальная инициация энергетических процессов, требующая достаточных и точных влияний.

6.1 Особенности реализации измерительных схем переменного напряжения

Реализация измерительных схем переменного напряжения на уровне функциональном предполагает их определенную техническую и алгоритмическую ориентацию.

Однако существуют определенные особенности реализации указанных измерений и дополнительные информационные возможности, которые следует рассматривать отдельно.

В частности, в смысле информационном, существуют достаточно весомые различия однофазных и многофазных измерительных схем и алгоритмов. При этом сохраняется основной принцип тактовости. Особенностью рассматриваемых измерительных схем является встроенная алгоритмическая преобразовательная функция. Она состоит

в формирования угла управления пропорционального отклонению величины переменного напряжения.

Однофазный вариант измерений

Однофазный вариант измерений учитывает текущую информационную структуру контролируемого однофазного сигнала. Позволяет выделить существенную содержательную составляющую информации об отклонении текущего значения напряжения от заданного значения. Реализует двухтактную обработку и преобразование входного сигнала, рис. рис. 6. 1.

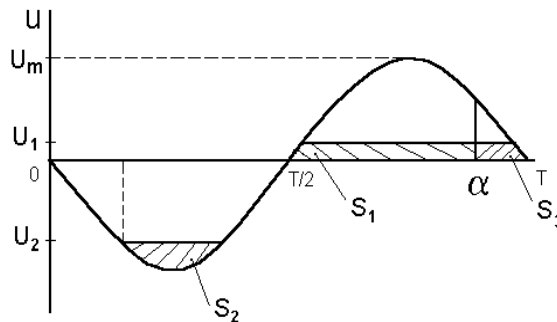


Рис. 6. 1 Схема однофазного варианта преобразований

Из приведенной схемы следует, что характерная информативная область у вершины синусоиды S_2 первого рабочего такта, сравнивается с опорной характерной областью у основания S_1 и по условиям сравнения выделяется информативная область S_3 и угол α .

В течение одного такта вычисляется интеграл превышения установленного уровня текущим сигналом

$$S_2 = \int (u - U_2) d \omega t$$

В следующем такте происходит интегрирование опорной величины

$$S_1 = \int U_1 d \omega t$$

В этом же такте происходит сравнение интегрированных величин путем вычитания

$$S_3 = S_1 - S_2$$

Однако для выделения информационной составляющей простого вычитания недостаточно. Поскольку выделенная информация должна быть представлена в удобном для управления, например тиристором, виде — угла α , то при сравнении необходимо учитывать координату положения момента совпадения указанных сигналов на втором такте рабочего цикла. Тогда получаем зависимость

$$\Delta u = f(\alpha).$$

Таким образом, существенная содержательная составляющая информации о текущем изменении переменного напряжения преобразуется в угол управления тиристором.

Для оценки возможностей практической реализации данного метода прежде всего следует определиться с выбором основного операционного элемента – интегратора.

Так, интегрирование в общем виде о достаточной точностью можно описать зависимостью

$$Z(x) = \int_0^x y \cdot dx, \quad (6.1)$$

где x , y , Z - соответственно независимая переменная, интегрируемая функция и интеграл.

Так как указанная функция в пределах интервала интегрирования линейна, по преобразованию Лапласа имеем;

$$Z(p) = J(p) \cdot Y(p),$$

где p , $Y(p)$, $Z(p)$ - соответственно оператор Лапласа, изображения интегрируемой функции и интеграла;

$J(p)$ - передаточная функция интегратора.

После подстановки $p = j\omega$ выражение примет вид

$$J(j\omega) = A(\omega) \cdot e^{j\varphi(\omega)}.$$

В операторной форме передаточная функция запишется

$$w(p) = \int_0^{\infty} \exp(-px) \omega(x) dx.$$

Реальный интегратор в процессе работы осуществляет преобразование не исходных переменных x, y, z , а однозначно соответствующих им параметров, например, амплитуды напряжения, длительности импульса и других, которые в данном случае являются машинными переменными.

Исходные математические или физические переменные при этом связываются с машинными переменными масштабными соотношениями вида

$$v_{\omega} = M_{\omega} \omega$$

Поэтому, в процессе работы интегратора реализуется зависимость

$$v_{\omega} = k \int_0^{v_x} v_y d v_x. \quad (6.2)$$

где k - масштабный коэффициент интегратора.

Для обеспечения эквивалентности (6.1) и (6.2) должно выполняться равенство

$$k M_x M_y M_z^{-1} = 1$$

В данном случае независимой переменной является время

$$v_t = M_t t$$

Таким образом, например, для магнитного интегратора, можно записать

$$dB = k \int_0^t v_{МИ} dt,$$

при $k M_t M_U M_B^{-1} = 1$.

В качестве основы практической реализации измерительного преобразователя возможно применение интегратора с ограничением, например магнитного с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ), рис. 6.2.

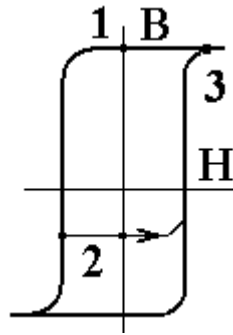


Рис. 6. 2 Схема перемагничивания магнитного сердечника с ППГ

Рабочий цикл магнитного интегратора соответствует двум тактам. В течение первого такта перемагничивания магнитное состояние из т. 1. перемещается в т. 2 и по его окончании проецируется на ось В. Во втором такте происходит обратное перемагничивание до т. 3, в которой и проявляются ключевые свойства элемента.

На указанной основе выполнена физическая модель измерительного преобразователя переменного напряжения.

Схема физической модели измерительного преобразователя приведена на рис. 6. 3.

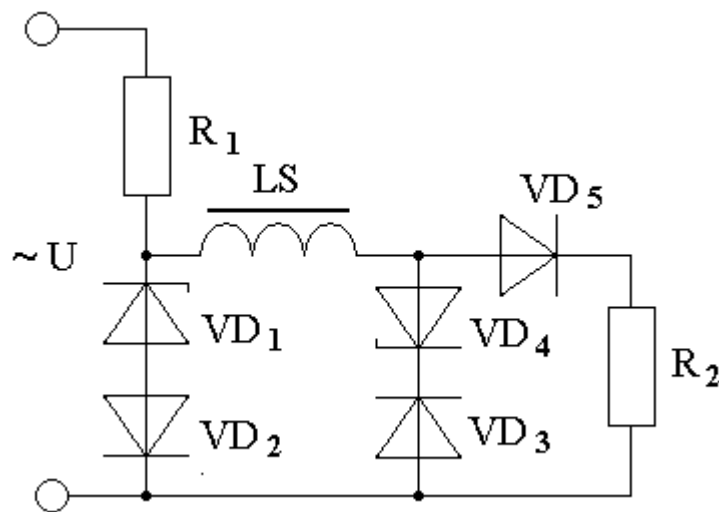


Рис. 6. 3 Схема физической модели измерительного преобразователя

Данная схема имеет ряд особенностей, обеспечивающих ее простоту, достаточную компактность и лаконичность.

В приведенной схеме роль формирующих элементов выполняют

следующие элементы: VD_1, VD_2 – встречно-последовательная цепочка стабилитрона и диода, подключенная в течение полупериода к источнику переменного напряжения параллельно; VD_3, VD_4 – последовательная цепочка в течение полупериода подключена к источнику переменного напряжения последовательно LS. Преобразование выделенных величин осуществляется магнитным интегратором LS, в котором приложенное в течение полупериода или его части напряжение преобразуется в приращение индукции ΔB .

Задающими в измерительном органе являются цепочки определяющие режимы тактового перемагничивания LS. Это цепочки встречно последовательно включенных нелинейных элементов - диода и стабилитрона.

Для первого такта, рис. 6.3. напряжение ограничения

$$U_1 = I_1 R_1 + U_{VD3} + U_{VD4} .$$

Если LS не насыщен

$$I_1 = \frac{H_c \cdot l}{w} = I_\mu .$$

Напряжение приложенное к LS в течение первого такта

$$U_{LS} = U_m \sin \omega t - U_1 .$$

В свою очередь,

$$U_{LS} = I_\mu \cdot I_\mu$$

Так как зависимость, отражающая динамику перемагничивания, имеет вид

$$r(t) = w^2 \frac{S}{l} \frac{dB/dt}{H(t)} .$$

Магнитное сопротивление LS выражается соотношением

$$R_\mu = 2f \frac{w^2 \cdot S \cdot 2B_s}{H_c \cdot l} .$$

Формирующая цепочка, рис. 6.3 в течение второго такта . включена параллельно LS. Ее характеристики определяются

соотношением

$$U_2 = 4 f w S B_S.$$

За счет этого обеспечивается установка интервала интегрирования путем перемагничивания сердечника LS в интервале $2B_T$. Сопротивление балластного резистора определяется по формуле

$$R_1 = \frac{u - U_2}{I_{cm}}$$

Параметры цепочки выбираются таким образом, чтобы компенсировать на выходе дрейф параметров по амплитуде управляющего сигнала тиристора.

- В схеме многофазного измерительного органа LS дополнительно выполняет функцию сумматора - накапливает сигналы превышения переменным напряжением чередующихся фаз, которые участвуют в формировании сигнала управления данного канала заданного уровня. Он же реализует и функции элемента задержки и памяти, осуществляющего хранение накопленной за первый рабочий такт информации в течение паузы следования сравниваемых импульсов. Информация хранится в виде определенного магнитного состояния сердечника LS.

Орган сравнения LS позволяет соотносить между собой величины полученные в течение первого и второго тактов. Условие начала формирования сигнала отклонения

$$\Delta B_1 = \Delta B_2.$$

При выполнении указанного условия, после окончания интегрирования формируется величина отклонения напряжения от заданного значения ΔU .

Следует отметить, что ключевой магнитный интегрирующий элемент LS является основным функциональным элементом приведенного измерительного преобразователя. В процессе рабочего цикла он последовательно выполняет ряд функций: интегрирующего

фильтрующего, суммирующего (в многофазных схемах), памяти, формирующего, опорного элементов и органа сравнения.

Такое многообразие выполняемых функций и позволяет обеспечить максимальную простоту схемных решений при максимальной функциональной загрузке LS и измерительного органа в целом.

По своей сути LS, работающий в указанном режиме является достаточно сложным функциональным элементом, так как в указанном выше объеме такая функциональная интеграция невозможна в обычных полупроводниковых и микроэлектронных измерительных органах [36, 38, 39], в которых, как правило, каждой функции соответствует отдельный узел или элемент схемы.

В этом смысле LS представляет уникальную возможность совмещения функций среди всего многообразия известных исполнений интеграторов, ввиду того, что все перечисленные функции логически вытекают из его принципа работы, физических процессов и режимов работы.

Фильтрующая функция LS основана на его интегрирующих свойствах. Различного рода помехи, содержащиеся в сигнале приложенном к LS, могут иметь значительные мгновенные значения, но длительность их, как правило, мала. Поэтому, усредняясь при интегрировании, они не окажут существенного влияния на значение интеграла, а, следовательно, и – выходного параметра [37, 47].

При необходимости, в многофазных схемах измерительных органов, LS, как интегратор, может осуществлять дополнительную операцию - суммирование, если

$$Y = \sum_k a_k \cdot h_k$$

В этом случае LS является суммирующим интегратором и накапливает импульсы чередующихся фаз, которые в течение первого рабочего такта

к нему прикладываются в порядке чередования.

Одна из основных особенностей магнитных сердечников с ППГ – способность неограниченно долго сохранять необратимые изменения индукции после намагничивания. Эту их способность используют для записи, хранения и переработки информации [38, 40]. На этом основана функция памяти. Указанный эффект достигается за счет того, что LS с ППГ ни на одном из этапов перемагничивания нельзя рассматривать как индуктивность, так как его потери перемагничивания по существу не являются реактивными.

Намагничивающий ток совпадает по фазе с напряжением, приложенным к магнитному элементу и вся цепь ведет себя как чисто активное сопротивление, но это относится только к случаю идеально прямоугольной петли гистерезиса материала сердечника LS.

На практике петля гистерезиса не строго прямоугольна и на пологих ее ветвях имеется перепад индукции, а перемагничивание по крутому ее участку связано с изменением намагничивающего тока. Потери на перемагничивание в этом случае имеют реактивную составляющую.

Однако в низкочастотных устройствах, работающих на частотах 50+400 Гц в большинстве случаев, указанной непрямоугольностью можно пренебречь и считать перемагничивание идеальным. До тех пор, пока максимальное значение индукции в сердечнике LS, в процессе перемагничивания остается меньше величины индукции насыщения, намагничивающий ток мал и определяется шириной петли гистерезиса.

После насыщения поток в сердечнике изменяться не может и напряжение на LS падает до величины равной падению напряжения на активном сопротивлении его обмотки.

Падение напряжения на LS после насыщения незначительно, поэтому оставшаяся часть периода после насыщения, ток определяется приложенным напряжением и активным сопротивлением цепи, имея

форму напряжения источника питания. Угол насыщения LS определяется по формуле

$$\Theta_S = \frac{w \cdot S \cdot B_S}{e}$$

В зависимости от приложенного напряжения изменяется угол насыщения в пределах полупериода и, соответственно, момент появления напряжения на нагрузке. Из указанного видно, что роль ДН в этом случае сводится к роли ключа, изменяющего внутреннее сопротивление и осуществляющего формирующую функцию.

Функция опорного элемента реализуется путем интегрирования напряжения, ограниченного в течение полупериода заданным уровнем. Очевидно, что область ограниченная уровнем стабилизации у основания синусоиды является наиболее стабильной ее частью в отличие от области у ее вершины. В то время, как область у вершины, находящаяся над уровнем U_2 реагирует на любое возмущение (отклонение амплитудного значения, искажение его формы), основание синусоидального сигнала, ограниченное уровнем U_1 практически не изменяется, т. е. его вполне можно использовать как аналог опорной величины.

Это позволяет отказаться от операции сглаживания выпрямленного входного сигнала измерительного органа. Реальная опорная величина получается за счет связи аналога опорной величины с пределами интегрирования применяемого интегратора ($+B_r, -B_r$). Это достигается при соблюдении соотношения

$$U_1 = 4 f w B_S S.$$

•Так как величины, представляющие пределы интегрирования, являются физическими константами данного материала, диапазон интегрирования можно считать величиной опорной.

Из изложенного следует, что если обеспечить переманчивание LS по тактам, соответствующим полупериодам, первому из которых

соответствует интегрирование превышения текущего значения напряжения над установленным уровнем и фиксирование результата в виде магнитного состояния материала, а второму такту соответствует интегрирование противоположного по знаку сигнала, ограниченного другим заданным уровнем, то реализуется функция сравнения измеряемого сигнала с опорной величиной. Поскольку для цикла перемагничивания справедливо равенство приращений индукции по тактам, а также с учетом характера перемагничивания (от источника напряжения) и формы импульсов, прикладываемых к LS, средние скорости перемагничивания в течение каждого такта равны

$$\frac{dB_1}{dt} = \frac{dB_2}{dt}$$

Интегральное отклонение напряжения составляет

$$G = \int_0^\pi U_2 \cdot dt - \int_0^{\theta_s} U_1 \cdot dt.$$

Таким образом, LS в приведенной схеме (см. рис. 6. 3.) является многофункциональным тактовым интегратором, проявляющим перечисленные выше свойства в течение рабочего цикла.

Важную роль имеют и режимы перемагничивания LS, рис. 6. 4.

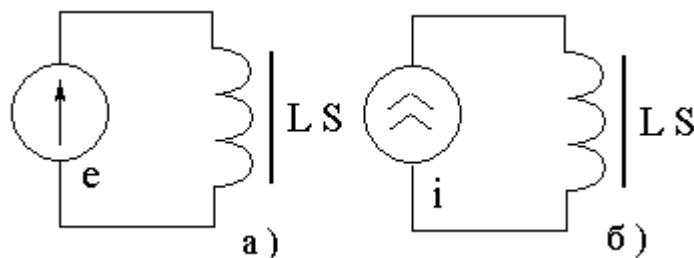


Рис. 6. 4 Режимы перемагничивания LS

Перемагничивание LS может происходить в двух режимах, отличающихся характером изменения магнитного состояния его сердечника /48/. Режим определяется соотношением внутреннего сопротивления источника r_u подключенного к LS и сопротивления перемагничивания R_n элемента. Под сопротивлением источника следует понимать суммарное, внешнее по отношению к LS сопротивление цепи

перемагничивания, включая внутреннее сопротивление источника питания

$$r_u = \sum R_{\text{цп.}}$$

Сопротивление перемагничивания LS выражается соотношением

$$R_n = \frac{w^2 \cdot S}{l \cdot H(t)} \cdot \frac{dB}{dt}$$

Внутреннее сопротивление источника питания само по себе достаточно мало и он является источником ЭДС. Поэтому режимы перемагничивания LS, в основном, определяются характеристикой и сопротивлением внешней, по отношению к источнику цепи.

Режиму перемагничивания LS от источника ЭДС соответствует условие по схеме рис. 6. 4.а.

$$r_u \ll R_n,$$

где

$$r_u \approx 0,1 R_n$$

В этом случае скорость перемагничивания зависит от материала, из которого изготовлен сердечник ДН и задается источником питания

$$\frac{dB}{dt} = \frac{e}{w \cdot S}$$

Изменение индукции за время такта определяется интегралом действующего на LS напряжения

$$\Delta B = \frac{1}{wS} \int_0^t e_u(t) dt$$

Следует отметить, что воздействие e_u на LS может быть, как непрерывным, в течение всего указанного интервала времени, так и импульсным, тогда

$$\Delta B = \sum_n^{i=1} \Delta B_i$$

Импульсное перемагничивание практически эквивалентно непрерывному, сигналом прямоугольной формы, среднее значение за такт которого равно сумме средних значений импульсов за этот период.

Процесс перемагничивания от источника ЭДС практически не зависит от геометрических размеров LS, его характеристик и материала магнитопровода.

Перемагничивание от источника тока соответствует условию по рис. 6.4.б.

$$r_u \gg R_n,$$

На практике указанный режим возможен при условии

$$r_u > 5 R_n,$$

В этом случае процесс перемагничивания протекает со скоростью, преимущественно определяемой характеристиками материала магнитопровода и его геометрическими размерами.

Режим перемагничивания определяет сопротивление и характеристика элемента управления, применяемого для формирования магнитного состояния LS.

В качестве такого сопротивления могут быть применены фоторезистор, фотодиод, транзистор и т. п. Сопротивление управляющего элемента, складываясь с внутренним сопротивлением источника, увеличивает его по отношению к $R_n LS$.

При перемагничивании LS от источника тока, намагничивающая сила и напряженность поля являются независимыми переменными, а изменение индукции в течение такта управления может быть определено для заданного материала и геометрии сердечника, в зависимости от формы импульсов приложенных к LS, только по известным динамическим кривым размагничивания (ДКР). Эквивалентное магнитное сопротивление обмотки LS в этом случае определяется соотношением

$$R_\mu = \frac{4 \cdot f \cdot \mu_0 \cdot \mu_d \cdot w^2 \cdot S}{l}$$

где μ_d - эквивалентная динамическая магнитная проницаемость материала сердечника, определяемая наклоном ДКР. При непрерывном

управлении в течение такта, следует пользоваться ДКР снятой на частоте питания усилителя. При управлении импульсами тока, занимающими часть полупериода основной частоты питания, следует применять ДКР, соответствующие эквивалентной частоте

$$f_{\text{экв}} = 1/T_u$$

В случае импульсного перемагничивания от источника тока, изменение индукции не соответствует среднему значению тока управления за полупериод, в отличие от перемагничивания в режиме источника ЭДС, что также следует из анализа ДКР.

С учетом изложенного следует отметить, что первый рабочий такт LS измерительного преобразователя может быть реализован как в режиме от источника ЭДС, так и от источника тока, а в течение второго такта перемагничивание осуществляется в режиме источника ЭДС.

Перемагничивание в течение разных тактов может осуществляться на разных частотах

- Из изложенного ясно, что сигнал отклонения выделяется с транспортной задержкой в полпериода, необходимой для определения величины отклонения напряжения.

Особенности трехфазного варианта измерений

Трехфазные измерительные органы имеют определенные схемные и структурные особенности, определяемые их назначением и функциональными требованиями.

В соответствии с назначением они должны состоять из некоторого набора основных функциональных элементов, обеспечивающих требуемые алгоритмы обработки сигналов и характеристики. От их построения достаточно часто зависят и особенности алгоритмов обработки управляющих сигналов. В соответствии с целями и

конкретными условиями различаются практические схемные решения многофазных измерительных систем.

$$u_1 = U_m \sin(\omega t + \psi_1)$$

$$u_2 = U_m \sin(\omega t + \psi_2)$$

$$u_3 = U_m \sin(\omega t + \psi_3)$$

Фазовый сдвиг ψ в трехфазной системе напряжений между фазами составляет $\pm 2/3\pi$. За счет этого сигналы отдельных фаз перекрываются на величину $1/3\pi$, а общая длительность трехфазного пакета, соответствующего такту измерений, составляет от 2π до $21/3\pi$, рис. 6. 2.

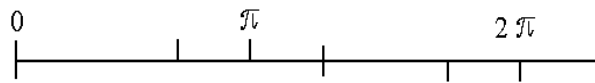


Рис. 6. 2 Измерительный такт трехфазного измерительного органа

Измерительный такт в данном приложении может изменяться в соответствии с принятой схемой выделения информации.

Таким образом, трехфазная система сигналов позволяет реализовать несколько возможных разновидностей вариантов измерений.

Трехфазный вариант измерений учитывает текущую информационную структуру контролируемого трехфазного сигнала. Однако в зависимости от схемной реализации измерительного органа возможны варианты.

Возможные варианты исполнений, прежде всего, направлены на организацию выделения и сравнения сигналов. Это проще всего решается структурным, схемным путем. Общая структура трехфазного измерительного органа представлена на рис. 6. 3.

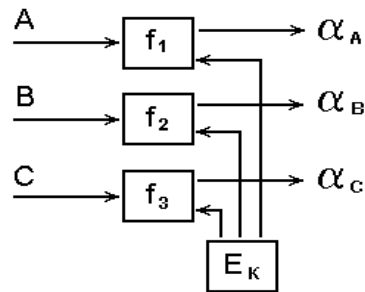


Рис. 6.3 Функциональная схема трехфазного измерительного преобразователя

Приведенный трехфазный измерительный преобразователь структурирован, имеет три идентичных функциональных преобразователя f_1 — f_3 и интегрированную систему смещения (уставок) E_K . Схемные решения измерительного органа и его входных цепей непосредственно влияют на динамику и уровень влияния, определяют его начальные характеристики. Целесообразно рассмотреть основные схемы реализации измерений. Они следующие.

Возможна реализация измерений в трехфазной системе по схеме «1 к 1». Это означает, что характерная информационная область одной фазы фазного напряжения сравнивается с опорным сигналом этой фазы. Такая схема реализуется в случае соединения входных цепей измерительного органа звездой.

В случае соединения входных цепей измерительного преобразователя треугольником входные напряжения соответствуют линейным значениям трехфазной системы, рис. 6.4.

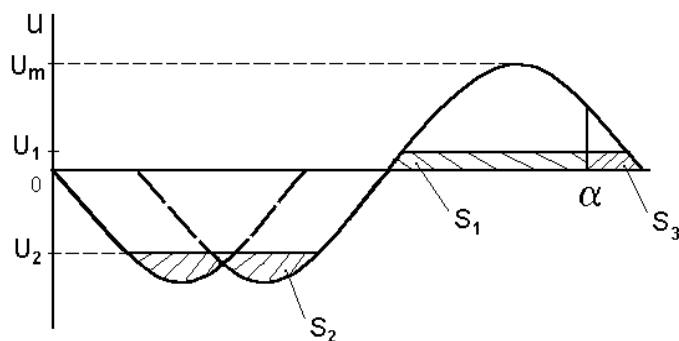


Рис. 6. 4 Схема трехфазного варианта преобразований

Сравнение фазных сигналов в данном случае реализовано по схеме «2 к 1»

При этом характерная информационная область двух смежных чередующихся фаз одного полупериода сравнивается с опорным сигналом одной из этих фаз другого полупериода. Алгоритм последовательности действий идентичен однофазному варианту измерений.

В течение одного такта вычисляется интеграл превышения установленного уровня текущим трехфазным сигналом

$$S_2 = \int (u_{\phi(n)} - U_2) d\omega t,$$

где $u_{\phi(n)}$ — фазные или линейные напряжения контролируемых фаз.

В следующем такте происходит интегрирование выделенной опорной величины

$$S_1 = \int U_1 d\omega t$$

В этом же такте происходит сравнение полученных величин

$$S_3 = S_1 - S_2$$

Это позволяет формировать сигнал соответствия

$$\Delta u_{\phi(n)} = f(\alpha_{\phi}).$$

Таким образом, существенная содержательная составляющая информации о текущем изменении трехфазного переменного напряжения преобразуется в фазный угол управления. Однако качество преобразования напрямую зависит от реализуемых настроек.

6. 1. 1 Математическая модель настроечных характеристик измерительного преобразователя

Важным практическим вопросом является правильная настройка измерительного преобразователя, поскольку выбор установочных параметров существенно сказывается на его внешних характеристиках.

Для решения указанной задачи разработана математическая модель влияния и выбора основных параметров измерительного преобразователя переменного напряжения, /49-52/.

Основная цель: выявление влияния значений уровней ограничения сигнала на характеристики преобразователя.

• Введем обозначения:

A_0 – амплитудное значение номинального напряжения;

Y_1, Y_2 – уровни стабилизации, соответствующие U_1 и U_2 ;

X_1, X_2 – координаты углов пересечения уровней стабилизации с синусоидальной кривой измеряемого напряжения;

S – площадь, ограниченная синусоидальной кривой и осью абсцисс в течение полупериода;

S_1, S_2 – площади, равные интегралам ограниченных уровнями Y_1, Y_2 соответственно, сигналов.

В зависимости от решаемой задачи регулирования, выбор значений уровней стабилизации может осуществляться с учетом следующих начальных условий:

$S_1 = S_2$. В этом случае при номинальном значении контролируемого напряжения сигнал управления отсутствует;

$S_1 > S_2$. - номинальному значению контролируемого напряжения соответствует начальный сигнал управления;

$S_1 = 0,5 S$, является граничным условием и соответствует равенству $Y = Y_1 = Y_2$. Для получения уравнений в обобщенном виде вводим коэффициенты:

1. коэффициент неравенства площадей $m = S_2/S_1$, ($m \leq 1$);
2. коэффициент пропорциональности $k = S_1/S$, ($k \leq 0,5$).

Закон изменения измеряемого напряжения: $U = U_m \sin \omega t$

Преобразование заключается в формировании угла управления α пропорционально изменению амплитудного значения напряжения U_m . Закон управления $\alpha = f(U)$ преимущественно зависит от уровней U_1 и U_2 ограничения сигналов, согласно алгоритма преобразования.

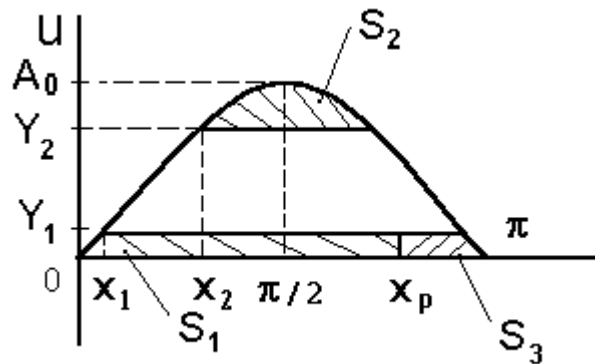


Рис. 6. 5 Графическое представление модели

Математическое представление процесса преобразования следующее.

Соотношения уровней ограничения определяются на основе физической модели процессов преобразования сигналов.

Для упрощения расчетов, без нарушения адекватности модели в отношении определения уровней ограничения, можно рассматривать u_1 и u_2 в положительной области в течение одного полупериода. Такая идеализация вполне допустима для данной задачи.

Исходной величиной является номинальное напряжение сети с фиксированным амплитудным значением A_0 . Для данной модели $A_0 = \text{const}$.

Площадь S_1 ограничена основанием синусоиды и уровнем y_1 , а S_2 – верхней частью и уровнем y_2 . Площадь полупериода синусоидального сигнала обозначаем S .

$$S_1 = S\Pi + 2SC$$

где $S\Pi$ – площадь прямоугольной части;

SC – площадь синусоидальной части.

Используем коэффициент соотношения площадей

$$k = S_1/S$$

По условиям работы ИП сигнал на его выходе имеет нулевое значение при $S_2 = S_1$. Однако это равенство может смещаться по требованиям реальным объектов управления.

Применяем коэффициент начального рассогласования

$$m = S_2/S_1$$

Находим площади

$$S = \int_0^{\pi} A_0 \sin x \, dx = A_0 (-\cos x)|_0^{\pi} = 2A_0$$

$$S_1 = S - 2 \left(\int_{x_1}^{\pi/2} A_0 \sin x \, dx - \int_{x_1}^{\pi/2} A_0 \sin x_1 \, dx \right),$$

где $\sin x_1 = \text{const}$.

$$S_1 = 2A_0 - [2A_0 (-\cos x)|_{x_1}^{\pi/2} - 2A_0 (\sin x_1 - x)|_{x_1}^{\pi/2}] = 2A_0 - 2A_0 \cos x_1 + 2A_0 \sin x_1 (\pi/2 - x_1) = 2A_0 [1 - \cos x_1 + \sin x_1 (\pi/2 - x_1)].$$

Учитывая, что $S_1 = kS$, последнее выражение принимает вид

$$2kA_0 = 2A_0 [2\sin^2 x_1/2 + \sin x_1(\pi/2 - x_1)]$$

$$2 \sin^2 x_1/2 = \sin x_1(\pi/2 - x_1) - k = 0$$

После преобразования получаем

$$\sin x_1 (\pi/2 - x_1) - \cos x_1 - k + 1 = 0$$

Из полученного уравнения можно определить x_1 . Значение соответствующего уровня ограничения находится из выражения

$$y_1 = A_0 \sin x_1 .$$

Выражения для вычисления значений x_2 и y_2 выводятся аналогично приведенным выше

$$S_2 = S - 2 \left(\int_{x_2}^{\pi/2} A_0 \sin x \, dx - \int_{x_2}^{\pi/2} A_0 \sin x_2 \, dx \right),$$

где $\sin x_2 = \text{const}$.

$$S_2 = 2A_0 - [2A_0 (-\cos x)|_{x_2}^{\pi/2} - 2A_0 (\sin x_2 - x)|_{x_2}^{\pi/2}] = 2A_0 [1 - \cos x_2 + \sin x_2 (\pi/2 - x_2)].$$

В свою очередь $S_2 = kmS$, тогда

$$2kmA_0 = 2A_0 [\cos x_2 - \sin x_2(\pi/2 - x_2)]$$

После преобразования получаем

$$\cos x_2 - \sin x_2 (\pi/2 - x_2) - km = 0$$

$$y_2 = A_0 \sin x_2$$

Таким образом, уравнения для вычисления уровней ограничения имеют вид

$$\sin x_1 (\pi/2 - x_1) - \cos x_1 - k + 1 = 0$$

$$y_1 = A_0 \sin x_1 = 0$$

$$\cos x_2 - \sin x_2 (\pi/2 - x_2) - km = 0$$

$$y_2 = A_0 \sin x_2$$

Выбор исходных данных

Граничным условием является $S_1 = 0,5 S$, что соответствует равенству уровней $y_1 = y_2$; $k < 0,5$; $m < 1$; $A_0 = 1$

Ожидаемые результаты: зависимости $y_1 = f(y_2)$ с учетом варьирования k и m

Полученные нелинейные трансцендентные уравнения решены приближенным итерационным методом Ньютона.

Получено семейство настроечных характеристик для различных рабочих режимов, рис. 6. 6.

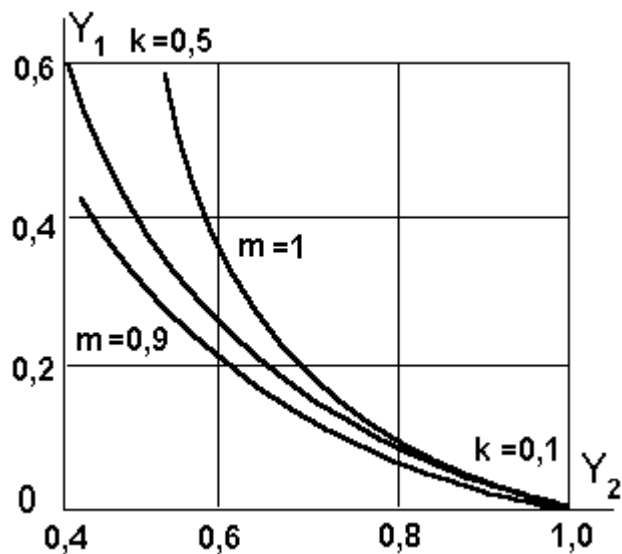


Рис. 6. 6 Настроечные характеристики измерительного преобразователя.

Указанные характеристики позволяют обеспечить требуемые настройки и параметры измерительного преобразователя.

6. 1. 2 Особенности математической модели настройки для трехфазной системы напряжений

Для трехфазной системы напряжений вида

$$u_A = A \sin \omega t$$

$$u_B = A \sin (\omega t - 2/3 \pi)$$

$$u_C = A \sin (\omega t + 2/3 \pi)$$

Для данной модели основное отличие состоит в том, что в течение первого такта к интегратору приложено напряжение двух чередующихся фаз, рис.6.7.

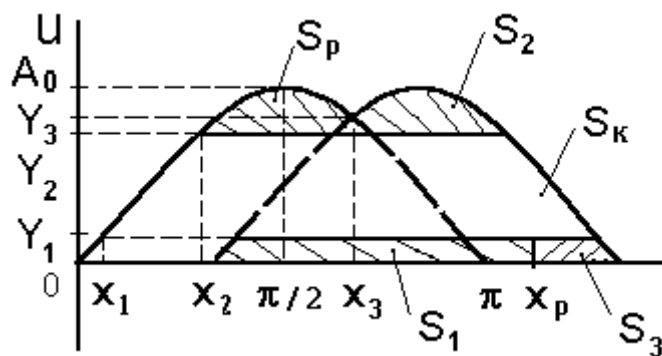


Рис. 6. 7 Графическое представление трехфазной модели

Введем обозначения:

A_0 - амплитудное значение соответствующего номинальному напряжению;

Y_1, x_1 - координаты нижнего уровня стабилизации;

Y_2, x_2 - координаты верхнего уровня стабилизации;

Y_3, x_3 - координаты точки смены фазы;

S_k - площадь, ограниченная двумя чередующимися полупериодами.

S_p - площадь, ограниченная текущим значением напряжения и уровнем u_3 .

S_2 - площадь, ограниченная текущим значением напряжения и уровнем u_2 .

S_1 - площадь, ограниченная уровнем u_1 .

• Уровень точки смены фазы, для разных начальных условий, можно выразить следующими соотношениями:

$$u_3 = A_0 \sin x_3$$

$$u_3 = A_0 \sin (x_3 - 2/3\pi).$$

Приравняв правые части полученных выражений, получим;

$$A_0 \sin x_3 = A_0 \sin (x_3 - 2/3\pi)$$

После преобразования уравнение примет вид

$$A_0 [\sin x_3 - \sin (x_3 - 2/3\pi)] = 0$$

Полученное трансцендентное уравнение решается показанным выше итерационным методом относительно x_3 .

$$S_n = 2 A_0 (1 - \cos x_3)$$

Площадь, ограниченная двумя чередующимися полупериодами определяется из соотношения;

$$S_p = 2 \left[\int_{\pi/2}^{x_3} A_0 \sin x \, dx - y_3(x_3 - \pi/2) \right]$$

Площадь превышения сигнала одного полупериода над уровнем точки смены чередующихся фаз определяется как ,

$$S_p = 2 A_0 [\sin x_3 (x_3 - \pi/2) - \cos x_3]$$

Введем дополнительные коэффициенты

$$k_1 = S_p/S_k$$

$$k = m S_1/S_k$$

где m - коэффициент начального регулирования.

Уравнение для площади, ограниченной уровнем y_1 имеет вид

$$S_1 = 2 A_0 [1 - \cos x_1 + \sin x_1(\pi/2 - x_1)]$$

При вычислении площади превышения сигнала над уровнем y_2 необходимо учесть несколько текущих ограничений:

если $k \leq k_1$

$$S_2 = 4 \left[\int_{x_2}^{\pi/2} A_0 \sin x \, dx - y_2 (\pi/2 - x_2) \right]$$

После преобразования получим;

$$S_2 = 4 A_0 [\cos x_2 - \sin x_2(\pi/2 - x_2)].$$

Если $k > k_1$

$$S_2 = 2 \left[\int_{x_2}^{x_3} A_0 \sin x \, dx - y_2 (x_3 - x_2) \right].$$

После преобразования получим:

$$S_2 = 2 A_0 [(\cos x_2 - \cos x_3) - \sin x_2 (x_3 - x_2)].$$

При вычислении координаты уровня y_2 также рассмотрим два случая. Если $k \leq k_1$, из условия $S_2 = k S_k$ получим уравнение:

$$4 A_0 [\cos x_2 - \sin x_2(\pi/2 - x_2)] = 2k A_0 (1 - \cos x_3).$$

После преобразования получим

$$4 A_0 [\cos x_2 - \sin x_2(\pi/2 - x_2)] - k S_k = 0.$$

Если $k > k_1$ при том же условии исходное уравнение примет вид:

$$2 A_0 [(\cos x_2 - \cos x_3) - \sin x_2 (x_3 - x_2)] = 2k A_0 (1 - \cos x_3).$$

После преобразования получим:

$$2 A_0 [(\cos x_2 - \cos x_3) - \sin x_2 (x_3 - x_2)] - k (1 - \cos x_3) = 0.$$

Из приведенных уравнений методом Ньютона, вычисляем x_2 , а затем и y_2 по формуле

$$y_2 = A_0 \sin x_2.$$

Координаты нижнего уровня стабилизации определяем из условия

$$S_2 = m S_1.$$

•Для упрощения вычислений совмещаем первый и второй рабочие такты как показано на рис.6.7.

По условию $m S_1 = k S_k$ получаем уравнение нижнего уровня

$$2 m A_0 [1 - \cos x_1 - \sin x_1(\pi/2 - x_2)] = k S_k$$

После преобразования получим

$$2 m A_0 [1 - \cos x_1 - \sin x_1(\pi/2 - x_2)] - k S_k = 0.$$

По вычисленному значению координаты x_1 находим величину нижнего уровня стабилизации

$$y_1 = A_0 \sin x_1.$$

По результатам расчета строится зависимость $y_1 = f(y_2)$, рис.6.8.

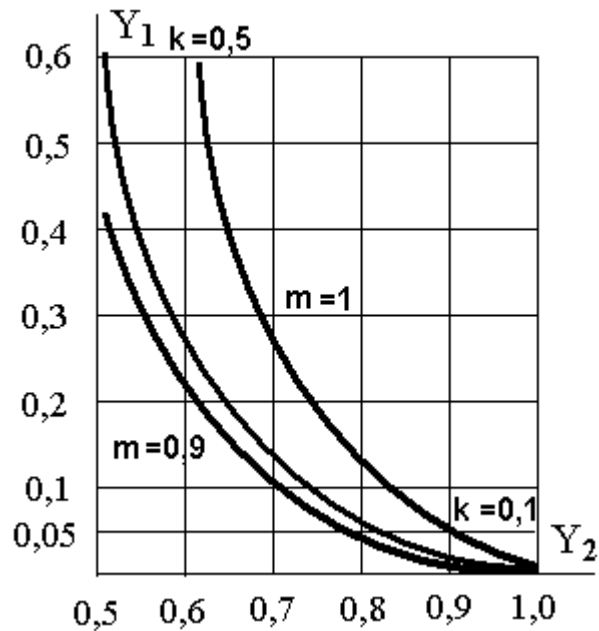


Рис. 6. 8 Настроечные характеристики трехфазного измерительного преобразователя переменного напряжения.

Таким образом особенности трехфазного варианта измерений прежде всего представляются возможностями выделения существенной содержательной составляющей информации о текущем изменении переменного напряжения на основе контроля фазного или линейного входных сигналов, инвариантностью алгоритмических подходов и рядом других ценных свойств.

Однако в любом варианте исполнения основную роль играют именно метрологические характеристики измерений.

6. 1. 3 Метрологические характеристики измерительного преобразователя

Вопросы оценки погрешностей измерений, при выполнении которых не требуются повторные наблюдения, изложены в /43/, метрологии полупроводниковых устройств посвящена /44/, подходы к оценке результатов измерений изложены в /45/, отдельные способы повышения точности измерений приведены в /46/.

Под метрологическими характеристиками понимают такие характеристики измерительного органа, которые позволяют судить о его пригодности для измерений в известном диапазоне с известной точностью.

К метрологическим характеристикам измерительного органа можно отнести:

- диапазон измерения (преобразования);
- функцию преобразования;
- погрешности измерений и их нормы;
- порог реагирования;
- стабильность характеристики преобразования;
- динамические характеристики.

Основные метрологические характеристики измерительного преобразователя переменного напряжения можно определить, пользуясь следующими соотношениями.

• Отклонение характеристики от линейной определяется соотношением

$$\sigma = \frac{\Delta I}{I_{\max}} 100, \%$$

где I_{\max} - рабочий участок характеристики;

ΔI - максимальное отклонение от линейного закона.

Отклонение масштаба от линейного закона

$$K_M = \pm \frac{\Delta I}{I_{\max}}$$

Пределы активного участка регулирования

$$\Pi = \frac{U_H}{U_K} 100\%$$

где U_H - начало активного участка;

U_K - конец активного участка.

Чувствительность

$$S = \frac{\Delta U_{\text{ВЫХ}}}{\Delta U_{\text{ВХ}}},$$

где $\Delta U_{\text{ВЫХ}}$ - приращение напряжения на выходе;

$\Delta U_{\text{ВХ}}$ - изменение напряжения на входе.

Погрешность измерения

$$\Delta A = A_{\text{ИЗМ}} - A_{\text{УСТ}},$$

где $A_{\text{ИЗМ}}$ - значение напряжения измерения;

$A_{\text{УСТ}}$ - установленное значение напряжения.

Диапазон регулирования

$$\Delta i = i_{\text{Н}} - i_{\text{К}},$$

где $i_{\text{Н}}$ - начало участка регулирования;

$i_{\text{К}}$ - конец участка регулирования,

Рассматриваемый измерительный орган является функциональным измерительным преобразователем реализующим функцию преобразования

$$\alpha = f(U),$$

которая может быть представлена с достаточной точностью полиномом вида:

$$y = 0,16 \cdot x^4 - 10,3 \cdot x^3 + 0,64 \cdot x^2 + 0,62 \cdot x$$

Разностью номинальной и реальной функций преобразования измерительного органа определяются его погрешности. Так как измерительный преобразователь не имеет шкалы, его номинальная функция (градуировочная характеристика) может задаваться в аналитической форме, графиком либо таблицей. Так же указываются диапазоны входных и выходных сигналов. Характеристики измерительного преобразователя приведены на рис. 6. 9.

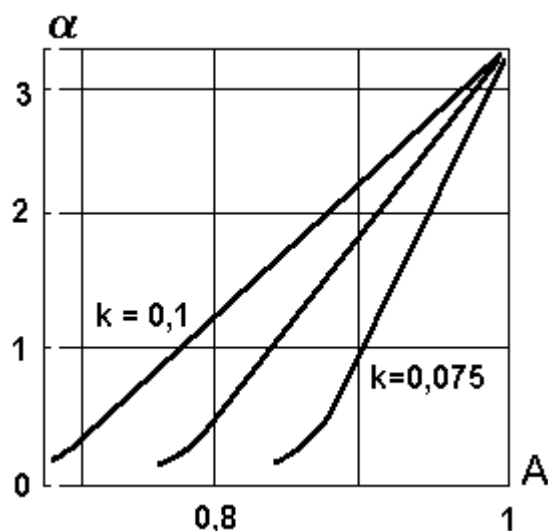


Рис. 6. 9 Характеристики измерительного преобразователя
 Основные метрологические характеристики измерительного преобразователя приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1.

Метрологические характеристики измерительного преобразователя

Параметр, размерность	Вариант настройки		
	а	б	в
σ , %	25	15	25
Км, о. е.	$\pm 1,25$	$\pm 0,75$	$\pm 1,25$
Π , %*	1-10	5-50	1-10
S, В*	0,1-1	0,5-5	0,1-1
ΔA , В	0,05	0,1	0,05
ΔU , В	10-20	20-50	10-20

* Показаны возможные пределы изменения параметра.

Не менее важны и информационные возможности разработанных методов и измерительных преобразователей переменного напряжения, рис. 6. 10.

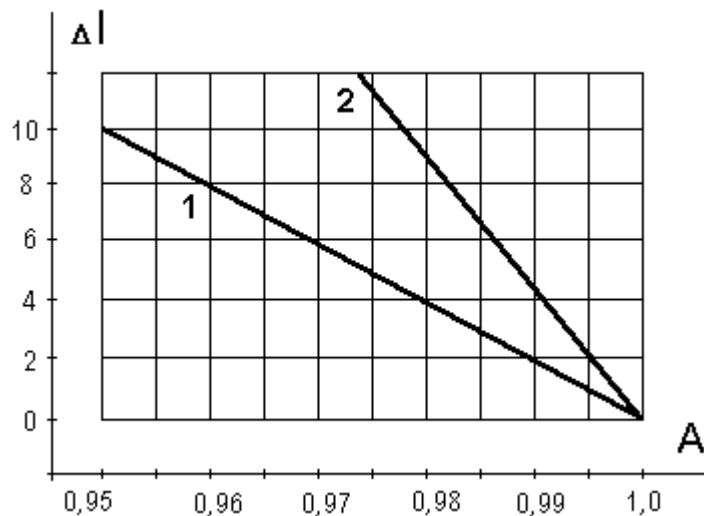


Рис. 6. 10 Информационные характеристики измерительных преобразователей: 1 – однофазный вариант исполнения; 2 – трехфазный.

Из приведенного вытекает, что трехфазный вариант, используя семантику двух чередующихся фаз способен осуществлять более точное и оперативное преобразование сигналов.

Таким образом, практическое выделение существенной семантической составляющей процесса позволяет обеспечить требуемый уровень и исключить инерционность канала измерения.

6. 2 Системы контроля электрического оборудования

Системы контроля электрического оборудования менее чувствительны к семантической составляющей сигналов, не требуют выделения характерных областей контролируемых сигналов и могут в качестве контролируемой величины использовать обобщенные параметры сигналов.

Такой величиной, выполняющей семантическую роль может быть, например, частота. Такой подход позволяет с помощью относительно несложных технических решений обеспечить контроль необходимого уровня.

Так, например, требованиям контроля встречно-параллельных групп тиристоров (бивентилей) вполне удовлетворяет решение /53/.

Его основой является частотный принцип контроля, обеспечивающий необходимый оперативный уровень. При данном подходе именно частота обеспечивает необходимую семантическую основу, позволяющую достаточно просто выделять сигналы функциональных отклонений.

Структурная схема контролирующего устройства приведена на рис. 6. 11.

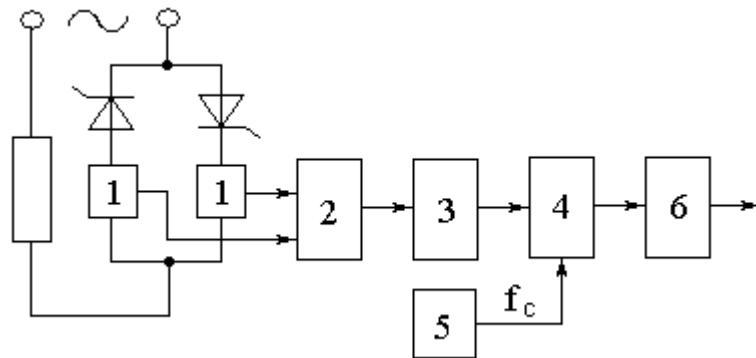


Рис. 6. 11 Система контроля встречно-параллельно включенных тиристоров: 1 – датчики тока; 2 – суммирующий элемент; 3 – формирователь; 4 – преобразователь „частота – двоичный код”; 5 – генератор опорной частоты; 6 – исполнительный орган

В качестве генератора опорной частоты используется питающая сеть. Это обеспечивает устойчивость к текущим отклонениям и колебаниям контролируемого параметра.

Частотная инвариантность решения позволяет гарантировано выделять требуемую для данного процесса семантику.

Указанный подход может быть использован и в других практических приложениях для контроля, например, неполнофазных режимов электрических установок на уровне полупериодов.

6.3 Защита от неполнофазных режимов

Неполнофазные режимы работы оборудования способны вызывать аварийные ситуации, требующие достаточно быстрых реакций, не обеспечиваемых традиционной релейной защитой. Особенно наглядно это проявляется на уровне полупериодном в преобразовательной технике.

Такая защита может быть построена на основе выделения сравнительной семантической составляющей контролируемого процесса, рис. 6. 12.

Для этого достаточно обеспечить сравнение контролируемых сигналов требуемого уровня, /54/.

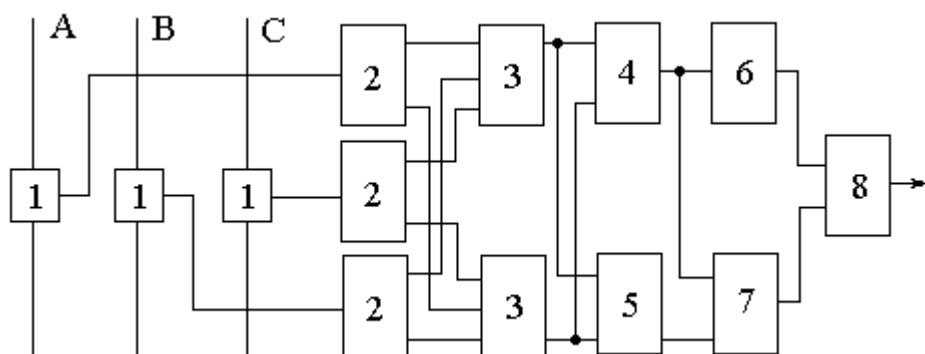


Рис. 6. 12 Система защиты трехфазных цепей от неполнофазных режимов: 1 – датчики тока (напряжения); 2 - АЦП; 3 – элементы „ИЛИ-НЕ”; 4 – элемент „ИЛИ”; 5 – элемент „И-НЕ”; 6 – элемент задержки; 7 – элемент „И”; 8 – элемент „И”

Переменные токи или напряжения каждой фазы преобразуются в двоичный код, согласно которому наличие полупериода контролируемой сети соответствует „1”, а отсутствию – „0”. Длительность импульсов пропорциональна полупериоду фазного напряжения или тока.

Импульсы положительных полупериодов выделяются и поступают на цепочку элементов 2, 3, 4, 6, а отрицательных, –соответственно на 2, 3, 5, 7.

Рабочая диаграмма для нормального режима контролируемого объекта представлена на рис. 6. 13. Нормальному рабочему режиму контролируемой установки соответствует отсутствие сигнала защиты.

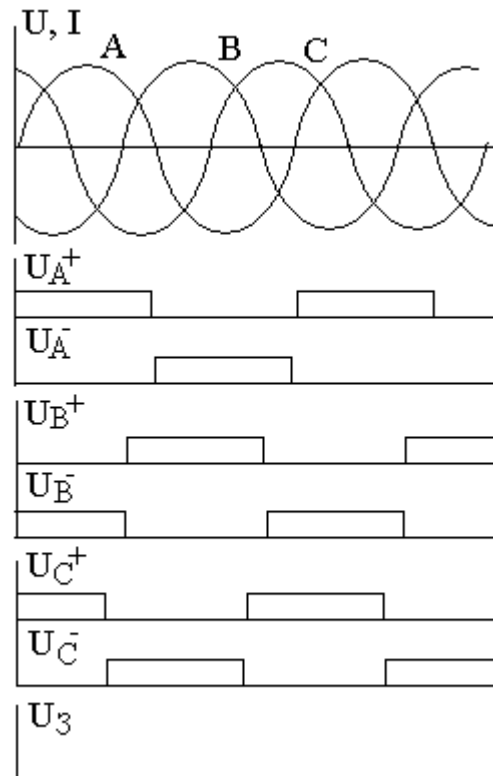


Рис. 6. 13 Рабочая диаграмма нормального режима

В случае отсутствия импульсов, соответствующих полупериодам контролируемых сигналов, на выходе любого из элементов 3 формируются сигналы „1”, сдвинутые по фазе. При этом, одновременное появление сигналов на выходах обоих элементов не является критерием неисправности и блокируется, как недостоверная информация. Элемент 6 также блокирует ложные срабатывания защиты при кратковременных нарушениях коммутации полупроводниковых приборов, имеющих случайный характер.

Рабочая диаграмма для аномального режима контролируемого объекта представлена на рис. 6. 14. Неполнофазному рабочему режиму контролируемой установки соответствует сигнал защиты.

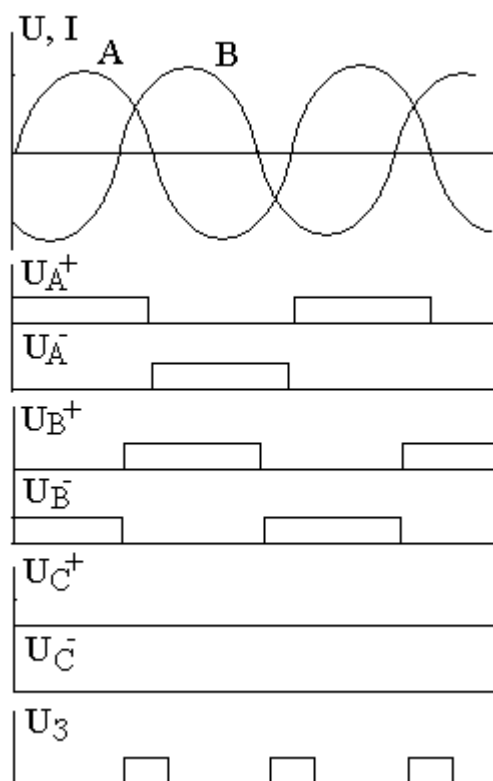


Рис. 6. 14 Рабочая диаграмма неполнофазного режима

Применение указанного решения позволяет не только существенно упростить устройства защиты, но и расширить их функциональные возможности путем защиты, например, индуктивной нагрузки от подмагничивания постоянным током.

6. 4 Динамическая балансировка вала гидрогенератора

В процессе эксплуатации оборудования ГЭС при регламентных и иных ремонтных работах, связанных с разборкой гидроагрегатов, достаточно распространенной задачей является разборка и сборка вала. Вал гидроагрегата ДнепроГЭС состоит из трех основных частей, общей массой порядка 90 т. Фланцевые соединения не обеспечивают точной установки элементов вала и требуют регулировок.

Его сборка имеет некоторые особенности. При этом важны не только условия соосности, но и центровки масс вращения. Этим определяются вибрационные и рабочие характеристики гидроагрегата.

Динамическая балансировка вала при указанных характеристиках и вертикальном рабочем его положении достаточно проблематична. Однако существует возможность выделения требуемой содержательной составляющей, рис. 6. 15.

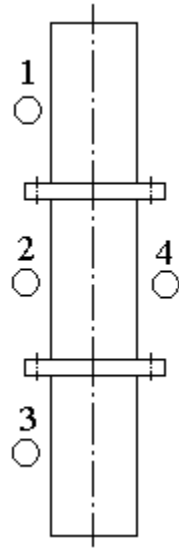


Рис. 6. 15 Информационная схема балансировки вала гидрогенератора:
1, 2, 3 – датчики вибраций; 4 – датчик положения

Запись текущих колебаний ротора, при соответствующей последующей их обработке позволяет определить пространственную систему векторов небаланса, рис. 6. 16.

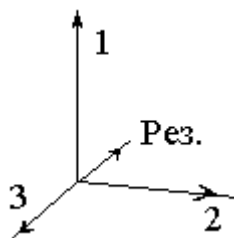


Рис. 6. 16 Векторы небаланса.

Векторная система биения элементов вала позволяет выделить требуемую информацию, определить результирующую составляющую и обеспечить необходимую балансировку.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

6. 1. Практическая реализация измерительных схем переменного напряжения на основе предложенных подходов и решений позволяет обеспечить необходимый уровень их динамических качеств;
6. 2. Однофазные и трехфазные измерительные преобразователи позволяют их унифицировать и обеспечить экономные решения;
6. 3. Системы контроля состояния и диагностики позволяют использовать семантику существующих процессов и тем самым существенно упрощать решения.
6. 4. Системы защиты на основе семантического подхода позволяют не только существенно упростить устройства защиты, но и расширить их функциональные возможности.
6. 5. Семантическая информационная составляющая на практике позволяет существенно упрощать решения достаточно сложных проблем в различных областях деятельности.

7 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭНЕРГО- ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Возможности практического применения показанных выше подходов далеко не исчерпываются приведенными практическими приложениями.

Существует достаточное разнообразие практических задач в энергетике различного уровня и областей, требующих эффективных решений.

Особенности некоторых из них приведены в данной главе. Их объединяет энергетическое начало процессов а также изложенный выше подход к реализации.

Эффективность таких решений обусловлена возможностями рациональной организации объектов и процессов на основе предлагаемых подходов.

7.1 Системы управления РПН

Регулирование напряжения силовых трансформаторов под нагрузкой достаточно распространенная задача, осуществляемая особыми регуляторами – РПН, представляющими собой коммутаторы отводов регулирующих обмоток трансформаторов.

Управление РПН осуществляется автоматическими регуляторами в составе комплексных систем автоматического регулирования коэффициента трансформации силовых трансформаторов под нагрузкой (СРКТ).

Автоматические регуляторы напряжения трансформаторов обеспечивают регулирование как плавно, так и резко изменяющейся нагрузки и имеют возможность:

- коррекции уровня регулируемого напряжения по току нагрузки;

- контроля, блокировки и сигнализации неисправности тракта регулирования и РПН;
- группового управления, контроля и блокировки параллельно работающих трансформаторов;
- внешнего направленного ограничения регулирования.

Измерительные органы таких устройств преимущественно реагируют на отклонение среднего значения напряжения и имеют коэффициент возврата 1.

Зона нечувствительности по напряжению составляет 0- 4% от величины номинального напряжения.

Минимальная уставка по времени накопления составляет не менее 60 сек., максимальная – не менее 180 сек. Величина времени сброса обычно соответствует уставке времени накопления информации, но может не превышать 3 сек. при любом времени накопления.

Точность установки уставки напряжения составляет 1%. Грубая установка соответствует 5%.

Повторное срабатывание при том же знаке отклонения напряжения блокируется на время не менее 1, 5 сек.

Основной проблемой данного вида регулирования являются ложные срабатывания, которые могут привести к неоправданным перетокам, потерям и перераспределениям нагрузок, способным существенно снижать эффективность работы оборудования.

Решение данной проблемы во многом возможно путем выделения существенных содержательных составляющих и их использования в процессах регулирования.

При этом могут быть важны поисковые свойства указанных регуляторов, при которых управляющее воздействие формируется путем анализа результатов их работы.

Такую процедуру поиска правильного управляющего воздействия применяют в тех случаях, когда характеристики объекта управления меняются или известны не полностью; например, известен вид зависимости управляемой величины от управляющего воздействия, но неизвестны числовые значения параметров этой зависимости. Поэтому поисковые системы относят к системам с неполной информацией в условиях рабочей нестабильности.

Наиболее часто принцип автоматического поиска управляющих воздействий применяют для управления объектами, характеристики которых имеют экстремальный характер. Целью управления является отыскание и поддержание управляющих воздействий, соответствующих экстремальному значению управляемой величины. Такие поисковые системы называют экстремальными (оптимальными) системами.

Возможно также использование элементов адаптивности в таких регуляторах к свойствам процессов, протекающих как в объекте управления, так и внешним.

Данное решение преимущественно постановочного плана, оно позволяет определить направление возможной реализации, выделения требуемой семантики и развития данного класса устройств.

7. 2 Системы возбуждения синхронных генераторов

Системы возбуждения синхронных генераторов на основе предлагаемых подходов могут быть реализованы в виде согласованных схем на основе самовозбуждения с элементами функционального резервирования. Это принципиальное отличие от существующих решений обусловлено прежде всего применением безинерционных регуляторов, позволяющих наряду с повышением устойчивости систем регулирования обеспечить их ресурсо и энергоэффективность /55, 56/.

При этом важны функциональные уровни реализации цепей возбуждения.

Возможно выделить начальное возбуждение и рабочее. Их условия функциональности во многом противоречивы и требуют индивидуальных подходов к разрабатываемым решениям.

Каждая из указанных систем не только имеет особенности реализации, но практического применения, рис.7.1.

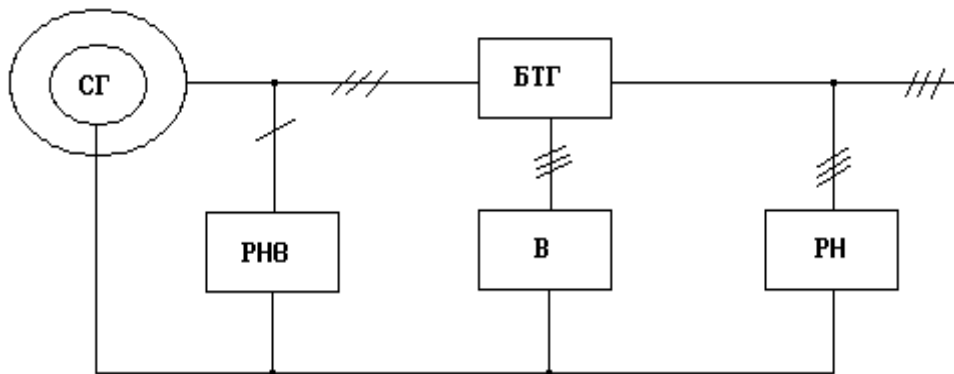


Рис. 7. 1 Структура согласованной системы возбуждения СГ: БТТ – блок трансформаторов тока; В – выпрямитель; РН – регулятор напряжения; РНВ – регулятор начального возбуждения.

Функциональная согласованность элементов данной схемы важна для обеспечения ее эффективной работы. Особенно важна согласованность начального и рабочего возбуждения, поскольку именно их взаимодействие во многом определяет эффективную работу всей системы возбуждения.

Структурная схема включения регуляторов показана на рис. 7. 2.

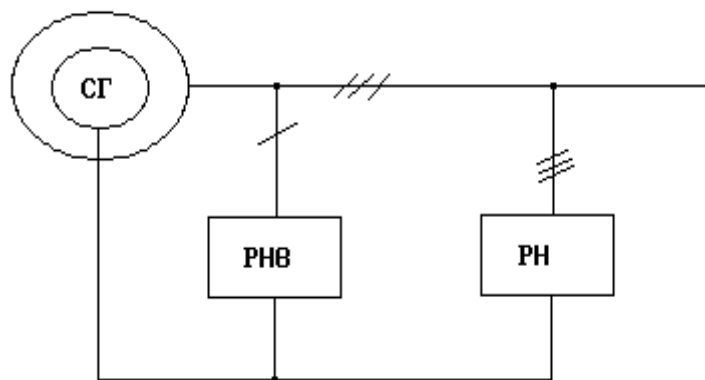


Рис. 7. 2 Структурная схема включения регуляторов напряжения и начального возбуждения.

Реализация такой схемы практически возможна, преимущественно на основе достаточно быстродействующих и неинерционных регуляторов, способных обеспечивать требуемую селективность их работы.

Практическое решение такого регулятора представлено на рис. 7. 3.

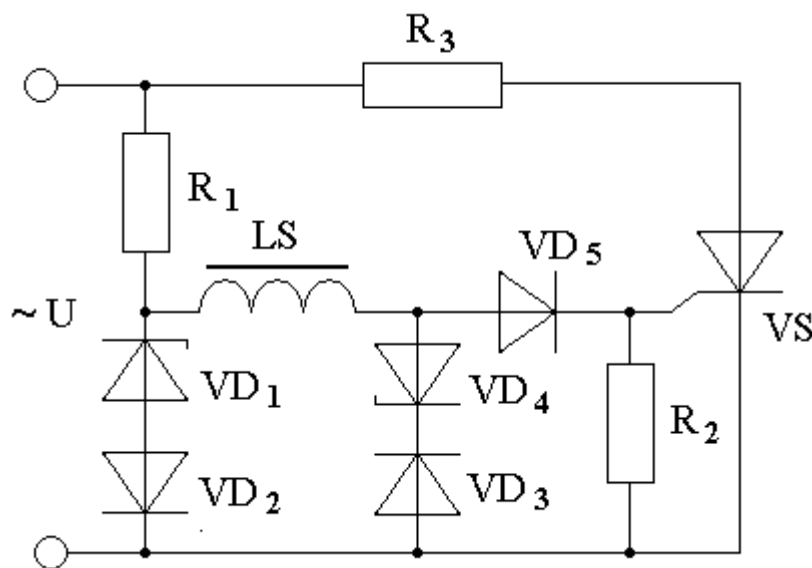


Рис. 7. 3 Схема регулятора напряжения

Приведенная схема выполнена на основе безинерционного измерительного преобразователя, описаного выше.

Она позволяет в составе согласованной системы возбуждения обеспечивать требуемую точность поддержания напряжения и высокие динамические качества.

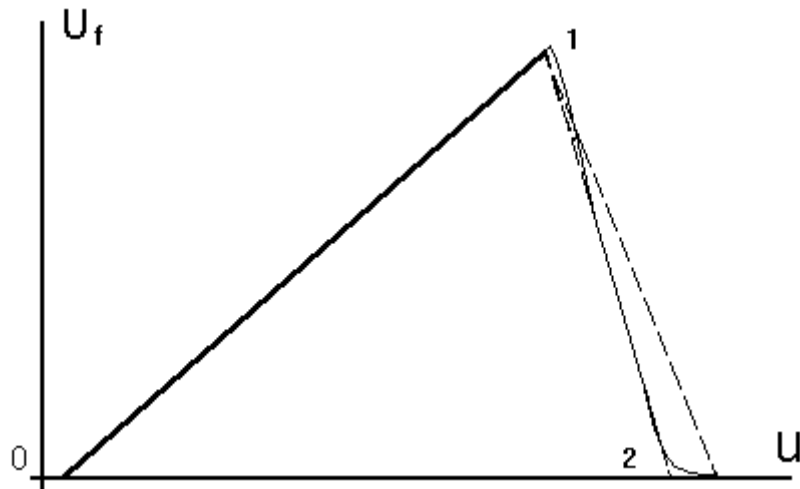


Рис. 7. 4 Внешняя характеристика регулятора напряжения

Приведенная характеристика регулятора напряжения СГ имеет достаточный потенциал форсировки, позволяющий существенно сокращать длительность переходных процессов.

При этом РН имеет определенную зону нечувствительности и не обеспечивает реализацию функции начального возбуждения. Это обусловлено противоречивостью ряда требований к реализации указанных процессов.

Поэтому разработан отдельный регулятор начального возбуждения (РНВ) по принципу самовозбуждения генератора за счет использования магнитного потока его остаточной намагниченности /57, 58/.

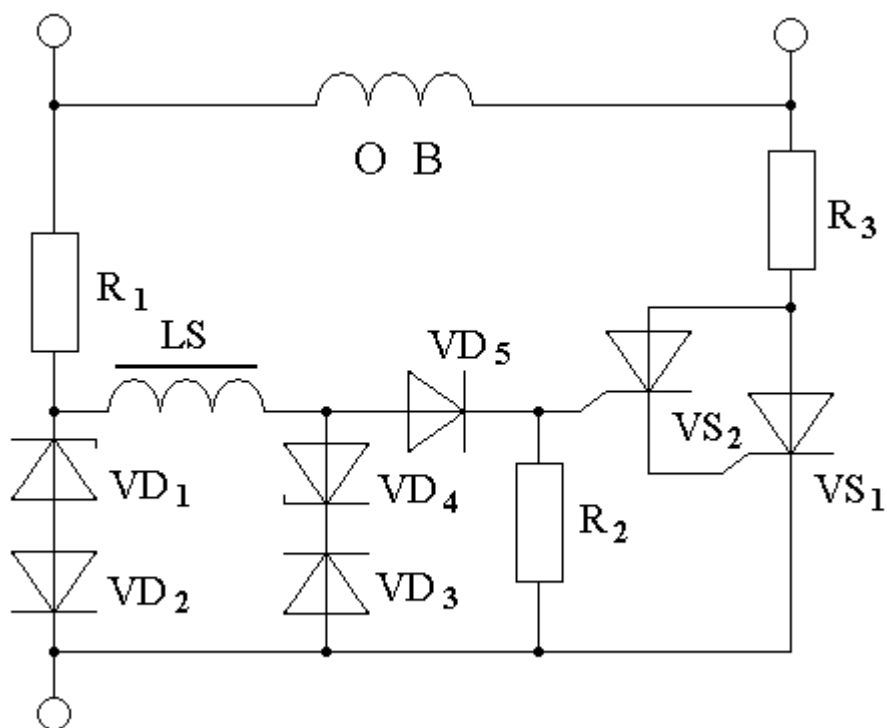


Рис. 7.5 Регулятор начального возбуждения

Остаточная намагниченность генератора на практике может составлять величину порядка 1 – 5% от номинальных значений и обеспечивает соответствующую ЭДС. Использование этого источника для самовозбуждения генератора достаточно перспективно, поскольку не требует использования внешнего питания.

Однако практическая реализация данного способа, предполагает преодоление по меньшей мере двух существенных препятствий: сопротивления цепи возбуждения и высокого быстродействия на отключение.

Сопротивление цепи возбуждения с учетом наличия в ней РНВ может существенно ограничивать возможности инициации процесса в его начальной стадии. Потому крайне необходимо обеспечить параметры действенного вектора инициации процесса.

Решение указанной задачи может быть облегчено повышением чувствительности цепей управления и шунтированием в цепи силовой.

Однако в процессе реализации начального возбуждения необходимо оперативное его отключение по достижении порога включения РН.

Эта задача осуществляется выбором режимов РНВ. Параллельная работа регуляторов должна быть согласована и селективна, рис. 7. 6.

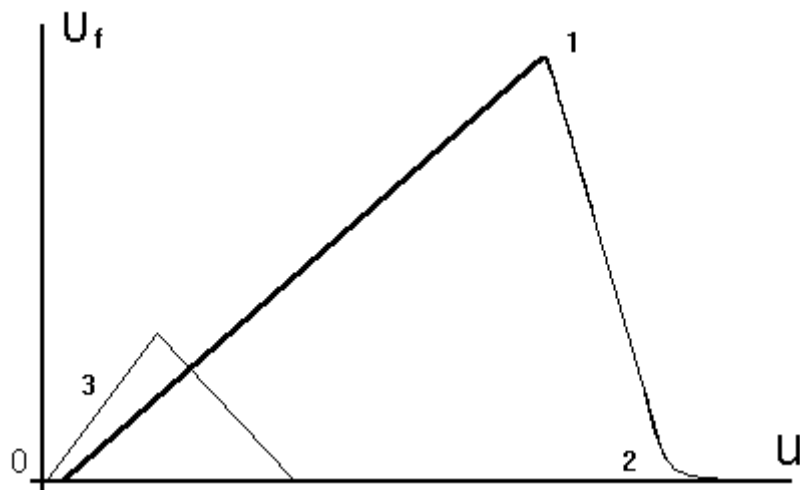


Рис. 7. 6 Взаимодействие регуляторов возбуждения СГ: 1—2 активный участок характеристики регулятора напряжения; 3 – характеристика регулятора начального возбуждения

Таким образом энергоинформационный обмен в системе возбуждения генератора переменного тока позволяет существенно повысить эффективность его работы, уровень регулирования и энергетическую отдачу, в том числе и динамическую.

Инициация процесса возбуждения на основе ЭДС остаточного намагничивания СГ позволяет отказаться от использования внешних источников энергии.

7. 3 Система стабилизации производительности электролизера

Данная проблема преимущественно относится к области сельскохозяйственного производства, в частности технологии выращивания злаковых культур. Указанная технология предполагает обязательную предпосевную подготовку семян, что позволяет обеспечить требуемое их качество.

Для данной операции немаловажна ее токсичность и экологическое влияние на окружающую среду.

Наиболее приемлемы с точки зрения условия минимизации токсичности физические методы предпосевной обработки семян.

В настоящее время наиболее эффективным и перспективным, из разработанных физических методов предпосевной обработки семян, является плазменный, позволяющий тепловым ударом очистить посевной материал.

Он позволяет не только на 20% повысить всхожесть, но и уничтожить ряд существенных болезней, а также фито поражений семян. Данный метод позволяет эффективно бороться даже с такими существенными поражениями как пыльная и серая головня.

В качестве объекта исследования рассматривалась возможность практической реализации технологии плазменной обработки семян. Она включает следующие основные взаимосвязанные компоненты:

- транспортировка зерна;
- генератор плазмы;
- энергетическое обеспечение.

Выходной характеристикой является производительность установки, равномерность обработки семян. Они напрямую связаны с качеством энергетического обеспечения.

Входным параметром для рассматриваемых рабочих условий есть существенные колебания и нестабильность напряжения в сельских сетях.

Дополнительными возмущающими факторами являются физические процессы в нагрузке, которой служит щелочной электролизер. Это поляризация электродов, противо ЭДС и т. п.

Структуру узла энергетического обеспечения можно представить следующим образом, рис. 7. 7.

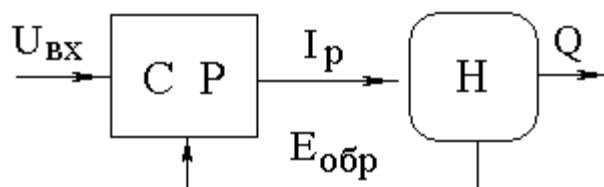


Рис. 7. 7 Структурная схема узла энергетического обеспечения плазменной установки: СР – система регулирования, Н – нагрузка

Анализ показывает, что производительность и равномерность обработки семян в основном обеспечивается свойствами узла энергетического обеспечения, в частности за счет производительности и равномерности работы электролизера.

Электролизер по своей сути это гальванический элемент, в котором основным действующим фактором и рабочим телом является не заряд, а газ. Его производительность определяется током

$$Q_э = f (I)$$

Это означает, что основным фактором для достижения эффективности действия всего объекта являются характеристики СР. Таким образом, СР с точки зрения реализации представляет наибольший интерес. На него можно перенести все основные характеристики и свойства данной системы.

Основные исходные данные этой задачи следующие. Входное напряжение $380 \text{ В} \pm 20\%$ ($U_{вх}$), ток на выходе $15 \text{ А} \pm 5\%$ (I_p), возмущение в виде противо ЭДС – 300В ($E_{обр}$).

Следует отметить, что с учетом нестабильности напряжения сельских сетей и указанной противо ЭДС электролизера решение такой задачи обычными средствами представляется весьма проблематичным.

Разработан следующий метод решения такой достаточно жесткой задачи /59/. Структурная схема устройства, отвечающего заданным требованиям представлена на рис. 7. 7.

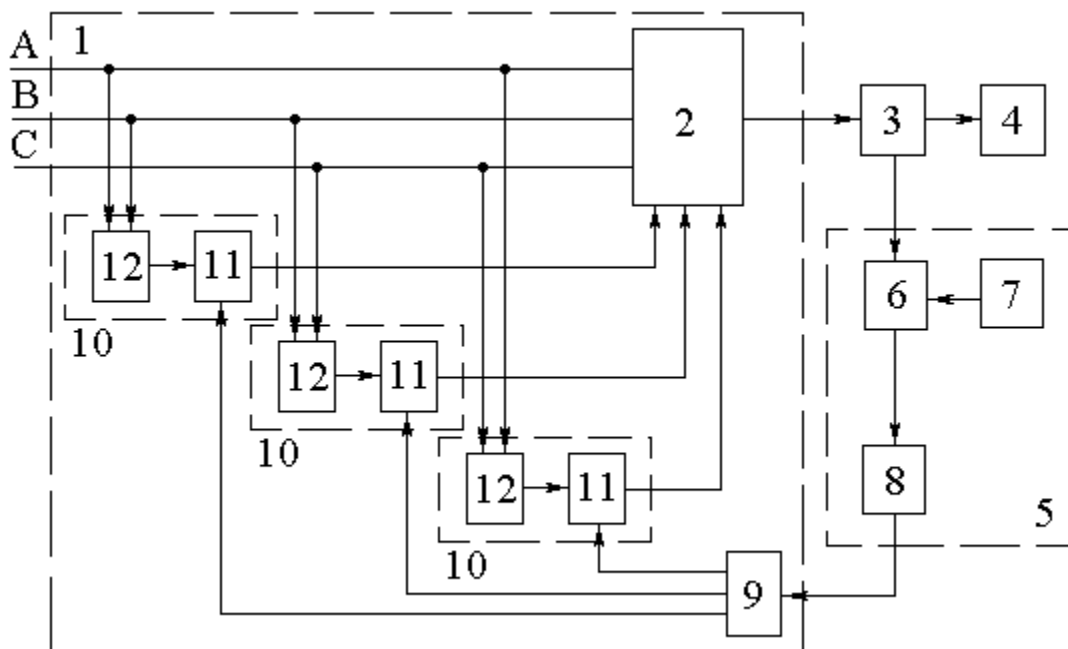


Рис. 7. 7 Структурная схема устройства энергетического обеспечения электролизера: 1 – трехфазный регулятор тока; 2 – полупроводимый выпрямитель; 3 – датчик тока; 4 – нагрузка; 5 – элемент обратной связи; 6 – усилительный каскад; 7 – блок коррекции тока; 8 – параметрическая цепочка стабилизации напряжения; 9 – блок коррекции напряжения; 10 – блок управления тиристором; 11 – тактовый интегратор формирователь; 12 – элемент установки пределов интегрирования

Входное напряжение прикладывается к блоку 10 управления тиристорами. К интегрирующему формирователю 11 в управляющем полупериоде прикладывается разность контролируемого напряжения и напряжений цепочки 8, 9, 6. В рабочем полупериоде напряжением на элементе 12 установки интегрирования, накопленная информация считывается и по окончании интегрирования формируется сигнал управления тиристорами. Это позволяет обеспечить требуемую точность и надежность стабилизации среднего значения тока электролиза.

Таким образом, выделение и комплексное использование содержательных составляющих о состоянии напряжения, тока и

загрузки, позволяют обеспечить стабильную работу электролизера и тем самым повысить качество обеззараживания зерна в растениеводстве на основе современных экологических технологий.

7. 4 Системы зажигания ДВС

Система зажигания двигателя внутреннего сгорания (ДВС) также имеет особенности энергоинформационного обеспечения процесса. Особую роль в данном случае играет начальная стадия процесса, - его инициация, от реализации которой существенно зависит последующее развитие и характеристики энергетического процесса.

Поджигание рабочей смеси ДВС в конце такта сжатия осуществляется высоковольтным электрическим розрядником, в данном приложении именуемым свечей зажигания.

Традиционная свеча зажигания имеет боковой электрод, перекрывающий кратчайший путь к вершине поршня, рис. 7 8. Вследствие этого первичная инициация процесса горения рабочей смеси происходит в плоскости разрядного промежутка, не совпадающей с рабочим ходом поршня.

Это приводит к неполному сгоранию топлива, что подтверждается характерной тенью бокового электрода на стенке цилиндра в виде нагара. Падает полезная мощность двигателя и повышается токсичность отработанных газов. Соответственно возрастает экологическая нагрузка на окружающую среду.

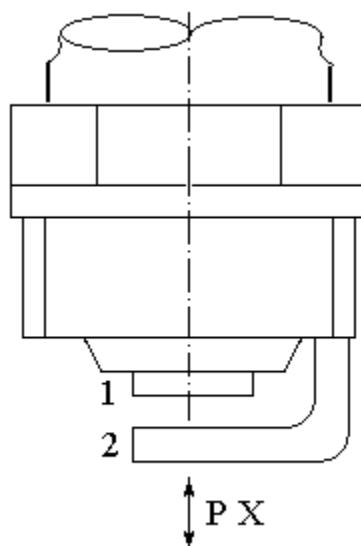


Рис. 7. 8 Разрядный промежуток свечи зажигания: 1 – центральный электрод; 2 – боковой электрод; РХ – рабочий ход

Указанные негативные факторы во многом возможно преодолеть за счет соответствующей инициации процесса зажигания рабочей смеси в камере сгорания ДВС.

Разработан способ зажигания рабочей смеси в камере сгорания ДВС, заключающийся в том, что в дополнение к существующей плоскости первичной инициации А добавлен вектор В, направленный в сторону центра масс сжатой горючей смеси, /60, 61/.

Общая схема модификации процесса начальной инициации зажигания представлена на рис. 7. 9.

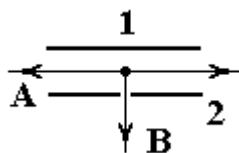


Рис. 7. 9 Схема модифицированной первичной инициации

Формирование дополнительного потока первичной инициации повышает степень сгорания горючей смеси, снижая тем самым токсичность отработанных газов, повышая мощность и приемистость двигателя.

Таким образом, применение энерго-информационного обмена позволяет повысить эффективность реализации энергетических процессов в различных областях техники.

КРАТКИЕ ВЫВОДЫ

1. Использование содержательных составляющих в энергетических процессах различной природы позволяет повышать эффективность их практической реализации.

2. Применение быстродействующих регуляторов систем возбуждения СГ позволяет применять согласованные схемы, повышать качественные характеристики и экономичность оборудования.

3. Комплексное применение содержательных составляющих энергетических процессов способствует разработке и применению современных, экологичных технологий.

4. Начальное самовозбуждение синхронных генераторов реализуется путем селективного действия регулятора на основе ЭДС остаточного потока намагничивания.

5. Эффективность энергетических процессов ДВС повышается путем организации их первичной инициации.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Количественные характеристики информации часто не обеспечивают достижения требуемого уровня эффективности технических систем.

2. Необходим учет ряда семантических составляющих при формировании функционального информационного обеспечения.

3. Смысловые компоненты семантических составляющих информации важны для достижения целевых заданий технических задач.

4. Предложены основные критерии определения семантики, ценности информации, выделения ее эффективной содержательной составляющей.

5. Ценностные критерии информации и количества информации позволяют эффективно формировать необходимые информационные массивы и потоки.

6. Предложена возможность учета влияния действующего энергетического начала семантической составляющей информации.

7. Рассмотрено влияние коммуникационных характеристик на параметры энерго информационного обмена.

8. Рассмотрен информационный аспект материальной составляющей технических систем.

9. Приведены примеры практической реализации разработанных методов и устройств на основе применения предлагаемого подхода в системах управления, контроля и защиты.

10. Показаны возможности применения МЭИ подхода в эффективной организации процессов различных энергетических объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные технологии и оборудование в энергетике часто избыточны по строению и содержанию. Это влечет существенные проблемы в плане обеспечения его рабочей эффективности. Особенно выражено это в динамике.

Разработанный подход выделения семантических информационных характеристик в сочетании с энергетическими и материальными составляющими позволяет преодолеть основные препятствия на пути к эффективности.

Для этого разработаны основные принципы выделения требуемых содержательных компонентов.

Приведены основные критерии содержательного значения позволяющие ему быть действующим началом информации.

Предложены основные критерии выделения эффективной содержательной составляющей, включающей стабильную и динамическую содержательную часть информации, контекстно связанные с параметрами функционирования и непосредственно влияющие на достижение основной цели.

Как известно важной проблемой является также определение ценностных характеристик информации.

Предложенные критерии ценности информации позволяют определить степень ее влияния на результаты функционирования с учетом текущих и поставленных целей.

Сформулированы основные принципы энерго-информационного обмена в технических системах.

Показаны практические приложения в различных областях техники, позволяющие повысить характеристики энергетических объектов.

Приведенные примеры практического использования указанного подхода в полной мере подтверждают его возможности повышения эффективности различных технических объектов, в том числе и энергетических.

ЛИТЕРАТУРА

1. Краткая философская энциклопедия./ Губский Е. Ф., Кораблева Г. В., Лутченко В., А. – М.: Прогресс - Энциклопедия, 1994. –576 с.
2. Прикладная логика информатики./ Козачков Л. С. – К.: Наукова думка, 1990. – 256 с.
3. Глушков В. М. Основы безбумажной информатики. – М.: Наука, 1987. –552 с.
4. Айзинов М. М. Избранные вопросы теории сигналов и теории цепей. –М.: Связь, 1971. – 349 с.
5. Сена Л. А. Единицы физических величин и их размерности. – М.: Наука, 1988. – 432 с.
6. Шилейко А. В., Кочнев В. Ф., Химушкин Ф. Ф. Введение в информационную теорию систем./ Под ред. А. В. Шилейко. – М.: Радио и связь, 1985. – 280 с.
7. Информационное обеспечение диспетчерского управления в электроэнергетике/ Алимов Ю. И., Гамм А. З., Ополева Г. Н. и др. – Новосибирск: Наука, 1985. – 224 с.
8. Ковалевская В. В., Машенков В. М. Энергетические измерительные преобразователи электрических величин. – Л.: Энергия, 1969. – 268 с.
9. Изотов А. З. Измерительные органы автоматических регуляторов. – М.: МЭИ, 1987. – 68 с.
10. А. С. 303591 (СССР) МКИ G01R 19/22. Измерительное устройство переменного напряжения. /Олейник Н. И. Опубл. БИ №

- 16, 1971.
11. А. С 375565 (СССР) МКИ G01R 19/165 Способ измерения величины отклонения переменного напряжения или тока. / Мишта В. В. Оpubл. БИ № 16, 1973.
 12. А. С. 417885 (СССР) МКИ G01R 19/26 Измерительный орган напряжения для автоматических регуляторов возбуждения синхронных машин. /Андреев Ю. П., Костюк О. Н., Костржевский Б. Е. Оpubл. БИ № 8, 1974.
 13. Радченко В. В. Інформаційні аспекти підвищення ефективності регулювання Електричний Журнал № 1, 1999. с. 23–29
 14. Хруслов Л. Л. Пузииков В. М., Радченко В. В. Способ определения отклонения переменного напряжения от заданного значения. А. С. № 1533509
 15. Вольдек А. И. Электрические машины. –Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
 16. Копылов И. П. Электрические машины. –М.: Энергоатомиздат, 1986. – 360 с.
 17. Иванов-Смоленский А. В. Электрические машины. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.
 18. Осин И. Л., Шакарян Ю. Г. Электрические машины: Синхронные машины. Под ред Копылова И. П. – М.: Высшая школа, 1990. – 304 с.
 19. Александров А. Г., Артемьев В. Н., Афанасьев В. Н. и др.

- Справочник по теории автоматического управления. Под ред. А. А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
20. Ариллага Дж., Брэдли Д., Боджер П. Гармоники в электрических системах. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 320 с.
 21. Специальные функции / Е. Янке, М. Эмде, Ф. Леш — М.: Наука, 1968. – 344 с.
 22. Пизо Ш., Заманский М. Курс математики: Алгебра и анализ. – М.: Наука, 1971. – 656 с.
 23. Бронштейн И. И., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука, 1986. – 544 с.
 24. Энергетический менеджмент/А.В. Праховник, А. И. Соловей, В. В. Прокопенко и др. – К.: ІЕЕ НТУУ "КПІ", 2001. – 472 с.
 25. Мартиненко А. О. Універсальна функція напруг в алгебричних поліномах. - Рівне: НУВГП, 2007. - 142 с.
 26. Радченко В. В. Комунікаційні особливості регулювання Електричний Журнал № 2, 1999. с. 8–14.
 27. Копылов И. П., Клоков Б. К., Морозкин В. П., Токарев Б. Ф. Проектирование электрических машин. –М.: Высшая школа, 2002. – 757 с.
 28. Радченко В. В. Регулятор напряжения генераторов переменного тока. Труды МЭИ, вып. №178, 1988 г. с.105–110.
 29. Veus H. L. The use of information in sorting. —J. ACM, 1970. v. 17, № 3.
 30. Information: The ultimate frontier. — Science, N. Y., 1978, Jan.,

р. 379.

31. Hellerman L. A measure of computational work. — IEEE Trans., 1972, v. C-21, №5, p. 439—446.
32. Стратонович Р. Л. О ценности информации, – Изв. АН СССР, Техническая кибернетика, 1965, № 5, с. 3—12
33. Харкевич А. А. О ценности информации. – В сб.: Проблемы кибернетики. – М.; Физматгиз, 1960, вып. 4, с. 53–57.
34. Шрейдер Ю. А. Об одной модели семантической теории информации. – Проблемы кибернетики, 1965, вып. 13.
35. Основы теории информации и кодирования/ И. В. Кузьмин, В. А. Кедрус. – К.: Вища школа, 1986. – 238 с.
36. Системы автоматического управления объектами с переменными параметрами/Б. Н. Петров, Н. И. Соколов, А. В. Липатов и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 256 с.
37. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации/А. Г. Зюко, А. И. Фалько, И. П. Панфилов, В. Л. Банкет и др. Под ред. А. Г. Зюко – М.: Радио и Связь, 1985. – 272 с.
38. Смоллов В. Б., Чернявский Е. А., Полянская Т. И. и др. Универсальные электронные преобразователи информации. Под ред. В. Б. Смоллова. – Л.: Машиностроение, 1971. – 312 с.
39. Каневский З. М. передача сообщений с информационной обратной связью. – М.: Связь, 1969. – 264 с.
40. Морозов В. К., Долганов А. В. Основы теории информационных сетей. – М.: Высшая школа, 1987. – 271 с.

41. Клишевич Г. В. Энергопроцесс гидроэнергетических установок. – Л.: Энергия, 1969. – 164 с.
42. Пожуєв В. І. Формування інформаційної технології як науки і нового наукового напрямку// Гуманітарний вісник ЗДІА, Вип. 26, 2006. с. 4–15.
43. Пожуєв В. И., Грищак Д. В. Приближенный аналитический метод анализа колебаний конструкций с массой, непериодически зависимой от времени. Методи розв'язування прикладних задач механіки деформівного твердого тіла. – Дніпропетровськ: зб. н. пр. ДНУ, 2009, вип. 10, с. 240–246.
44. Рабинович С. Г. Погрешности измерений. – Л.: Энергия, 1978. – 262 с.
45. Финатьев Ю. П. Основы метрологии и стандартизации электронных приборов. – М.: Моск.энерг.ин-т, 1987, – 88 с.
46. Тойберт П. Оценка точности результатов измерений, – М.: Энергоатомиздат, 1988, – 88 с.
47. Петров Б. Н., Викторов В. А., Лункин Б. В., Совлуков А. С. Принцип инвариантности в измерительной технике. – М.: Наука, 1976, – 243 с.
48. Хруслов Л. Л. Исследование безгистерезисного намагничивания и его применение для усиления сигналов постоянного тока. Автореферат канд. дисс. – М.: Моск. энерг. ин-т, 1972. – 20 с.
49. Радченко В. В. Особливості концептуального моделювання

Електричний Журнал № 1, 1997. с. 22–28

50. Радченко В. В. Про математичне моделювання швидкодіючих регуляторів Електричний Журнал № 2, 1996. с. 18–24
51. Радченко В. В. Математичні аспекти моделювання швидкодіючих регуляторів. Електричний Журнал № 2, 1997. с. 22–28
52. Радченко В. В. Особливості математичного моделювання характеристик багатофазних вимірювальних перетворювачів Електричний Журнал № 1, 1998. с. 10–15
53. Радченко В. В., Гапонов В. Н. Миронченко В. Л. Устройство для контроля состояния встречно-параллельно включенных тиристоров. А. С. № 1220049 БИ № 11, 1986 г.
54. Радченко В. В., Хрипко В. А. Кораблев В. М. Устройство для защиты многофазных потребителей от несимметрии. А. С. № 1288809 БИ № 5, 1987 г.
55. Хруслов Л. Л. Пискунов Л. А. Пузиков В. М. Ситников В. Ф., Радченко В. В. Устройство для автоматического регулирования напряжения электрической машины переменного тока. А.С. № 1396926, 1986
56. Пузиков В. М. Радченко В. В. Система возбуждения генератора переменного тока на основе быстродействующего регулятора. Труды МЭИ, вып. №647, 1991 г. с. 66–70.
57. Радченко В. В. Хруслов Л. Л. Ситников В.Ф. Устройство автоматического начального возбуждения электрической машины

- переменного тока. Пат. РФ № 2006175 Бюл. № 1, 1994 г.
58. Радченко В. В. Хруслов Л. Л. Пузииков В. М. Устройство начального возбуждения генератора переменного тока. Пат. РФ № 2015615 Бюл. № 12, 1994 г.
59. Сергованцев А. В. Хруслов Л. Л. Пузииков В. М., Радченко В. В. Устройство питания электролизера. А.С. № 1575978 БИ № 25, 1990 г.
60. Радченко В. В. Потеряев Н. А. Подлужный В. Ф. Способ искрового зажигания топливной смеси в камере сгорания. А.С. № 1817172 БИ № 19, 1993 г.
61. Радченко В. В. Потеряев Н. А. Подлужный В. Ф. Свеча зажигания для двигателя внутреннего сгорания. А.С. № 1817173 БИ № 19, 1993 г.

Володимир Іванович Пожуєв
*доктор фізико-математичних наук, професор,
Заслужений працівник освіти України*

Віталій Васильович Радченко
кандидат технічних наук, доцент

ІНФОРМАЦІЙНО-ЕНЕРГЕТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДІАГНОСТИКИ, КОНТРОЛЮ ТА УПРАВЛІННЯ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТАХ

(російською мовою)

МОНОГРАФІЯ

Розглянуті основні підходи до організації інформаційного забезпечення технічних систем, основні визначення і характеристики інформації, енергії і матеріального вмісту, а також засоби їх обліку і практичного застосування. Показані основні вимоги, можливості і критерії раціонального забезпечення технічних систем. Відображена роль змістовної складової інформації та її окремих аспектів. Сформульовані основні принципи енерго-інформаційного обміну в технічних системах. Наведені приклади практичної реалізації запропонованого підходу в системах діагностики, контролю та управління енергетичними об'єктами.

Може бути використана при підготовці студентів енергетичних спеціальностей вищих навчальних закладів, а також аспірантами, науковими співробітниками і фахівцями.

Підписано до друку 13.12.2011р. Формат 60x84 1/32. Папір офсетний.

Умовн. друк. арк. 10,0. Наклад 300 прим.

Видавничий договір № 25м/11.

Запорізька державна інженерна академія
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 2958 від 03.09.2007 р.

Віддруковано друкарнею
Запорізької державної інженерної академії
з комп'ютерного оригінал-макету

69006, м. Запоріжжя, пр. Леніна, 226,
ЗДІА,
тел. 2-238-240



**Ректор ЗДІА,
Пожуєв Володимир Іванович
д. ф-м. н, професор,
Заслужений працівник освіти України**



**Радченко Віталій Васильович
к. т. н. доцент**

Для енергетики важливі не тільки питання підвищення якості енергії, але і ефективності дії енергетичних перетворювачів. Це обумовлено достатньо жорсткими обмеженнями, в тому числі й екологічними.

Енергія і інформація разом з матеріальною складовою визначають можливості й рівень технічних систем.

Важливе значення при цьому має якість оснащення і забезпечення технологічних процесів перетворення енергії.

Поширеними при реалізації багатьох технічних систем є екстенсивні методи, що призводять до достатньо низьких загальних показників ефективності при невиправданому їх ускладненні.

Основною причиною цього найчастіше є відсутність обліку і цілеспрямованого використання взаємного впливу основних складових: матеріальних, енергетичних і інформаційних.

Врахування зазначених груп чинників дозволяє не тільки долати екстенсивні тенденції, але й досягати нових якостей та властивостей технічних об'єктів.