

Содержание

1. Аналитический обзор	8
1.1. Обзор необходимости внедрения мультиагентных технологий в сферу энергетики	8
1.2. Обзор применяемого подхода.....	10
1.2.1. Концепция мультиагентной системы.....	10
1.2.2. Концепция агента	13
1.2.3. Определение мультиагентной системы	17
1.3. Применение мультиагентных технологий в решении задач электроники и энергетики	19
2. Разработка многокомпонентного источника электрической энергии с произвольной внутренней коммутацией	23
3. Преимущества и надежность системы.....	28
4. Математическое моделирование многокомпонентного источника электрической энергии.....	31
4.1. Описание мат.модели.....	31
4.2. Реализация мат.модели в JAVA.....	32
4.2.1. Класс DC_voltage_source	33
4.2.2. Метод void rnd_neighbor().....	34
4.2.3. Метод boolean path_finder(double U_zad).....	34
4.2.4. Метод boolean to_power_line ()	35
4.3. Интерфейсная часть мат.модели.....	36
4.4. Имитационное моделирование	37
Экономический раздел	40
Раздел охраны труда	42
Заключение	44
Список литературы.....	45

Введение

В настоящее время, вследствие повсеместного распространения силовой электроники, решение проблем управления, повышения качества и надежности в этой сфере занимает многие умы. Во всех странах развернуты интенсивные научно-исследовательские работы по силовой электронике, что обеспечивает быстрое расширение данной области и появление большого количества новых разработок в данной сфере. Нельзя не заметить появление новых методов управления, носящих название «интеллектуальные», к которым относится нейросетевой способ управления, адаптивное управление и которые получают все большее распространение.

Наивысшим уровнем интеллектуального управления в перспективе обладают мультиагентные системы. Способные самостоятельно реагировать на события, получать данные, а также принимать решения, агенты, являются основой данной технологии. Спектр применения мультиагентных систем очень широк, и за последние десять лет появились разработки, использующие мультиагентные системы в управлении распределенными сетями электроснабжения и умными электрическими сетями, так называемыми “smart grid”. Большое количество исследований проводится учеными из США и Китая.

Таким образом, абсолютное большинство научно-исследовательских работ в данной сфере посвящено применению мультиагентных технологии в управлении электросетями. В данной работе будет рассматриваться разработка постоянного бесперебойного источника питания на основе мультиагентной системы, а также применение данной технологии в управлении распределенными источниками питания.

Актуальность данной работы заключается в том, что рассматриваемая технология не использовалась ранее для создания многокомпонентных

источников электрической энергии повышенной надежности и подобных исследований не проводилось. Также данная технология имеет огромные перспективы и малая изученность ее применимости к силовой электронике в мире и абсолютная не изученность в России дает широкий простор для исследований и разработок.

Целью данной работы является разработка многокомпонентного источника электрической энергии с произвольной внутренней коммутацией компонентов, алгоритм функционирования которого подчинялся бы парадигмам мультиагентного подхода.

Для достижения данной цели были представлены и решены следующие задачи:

1. Провести аналитический обзор литературы, в которой описываются разработки, связанные с использованием мультиагентного подхода в силовой электронике и энергетике;
2. Разработать модель многокомпонентного источника электрической энергии и алгоритм его функционирования, который будет основан на мультиагентном подходе;
3. Выбрать среду для проведения имитационного моделирования исследуемого источника электрической энергии.

1. Аналитический обзор

1.1. Обзор необходимости внедрения мультиагентных технологий в сферу энергетики

Несколько различных сил приводят к изменению текущего мирового энергоснабжения. Одним из перманентных изменений, которые терпит рынок, является растущее проникновение распределенной генерации электроэнергии [1]. Распределенная генерация может быть определена как источник электроэнергии, подключенный к распределительной сети или к месту потребителя ("за счетчиком"). Этот подход принципиально отличается от традиционной центральной модели производства и поставки электроэнергии. Движущими силами растущего развития РГ являются [2]:

1. Экологические соображения. Производители альтернативной – или "зеленой" - электроэнергии в значительной степени являются распределенными генераторами. Фотоэлектрические солнечные элементы и ветровые турбины являются примерами этих генераторов. Помимо крупных ветряных ферм, эти генераторы подключаются к распределительной сети (низковольтной) или "за счетчиком" на объектах заказчика. Правительственные цели по увеличению доли устойчивой энергетики в национальном энергобалансе были воплощены в стимулирующую политику для содействия освоению возобновляемых источников энергии в европейских странах, а также в других частях мира.
2. Дерегулирование рынка электроэнергии. В результате дерегулирования на данный момент неясны долгосрочные перспективы крупных инвестиций в электроэнергетику. В результате наблюдается сдвиг интереса инвесторов от крупных электростанций к средней и малой генерации. Инвестиции в РГ ниже и, как правило,

имеют более короткие сроки окупаемости, чем у более традиционных центральных электростанций. Подверженность капиталу и риски снижаются, а ненужных капитальных затрат можно избежать, сопоставляя увеличение потенциала с ростом местного спроса.

3. Диверсификация источников энергии. Диверсификация источников энергии является способом снижения экономической уязвимости к внешним факторам. В частности, более высокая доля альтернативной энергетики в энергобалансе снижает зависимость от ископаемых видов топлива. Например, российские потребности в энергии в основном существуют на ископаемом топливе. Поскольку спрос на энергию продолжает расти, эта внешняя зависимость может вырасти с 50 до 70% в течение 25 лет или менее.
4. Энергетическая автономия. Достаточный объем производственных мощностей, расположенных в локальной электрической сети, открывает возможность преднамеренного отделения от центральной энергосети. Преднамеренное отделение – это переход на автономную работу во время аномальных условий на внешней сети, таких как перебои или нестабильности, например, во время технической чрезвычайной ситуации. Таким образом, автономия может быть достигнута в различных масштабах, от отдельных зданий до подсистем большой площади.
5. Энергоэффективность. В целом распределенная генерация снижает потери при передаче энергии. Оценки потерь электроэнергии в системах дальней передачи и распределения западных экономик составляют порядка 7%. Производя электроэнергию вблизи места ее потребления, можно избежать транспортных потерь. Однако существует опасение, что в тех случаях, когда местное производство

перерастает местное потребление, потери при передаче вновь начинают расти.

Сочетание распределенной генерации, хранения электроэнергии, реагирования на спрос, цен на электроэнергию в реальном времени и интеллектуального управления открывает возможность оптимизации экономики, надежности и устойчивости. Поскольку распределенная генерация постепенно вытесняет центральную генерацию в качестве основного источника электроэнергии, распределенная координация вытеснит центральную координацию. Стандартная парадигма централизованного управления, которая используется в существующей электроэнергетической инфраструктуре, больше не будет достаточной. Количество компонентов системы, активно участвующих в задаче координации, будет огромным. Централизованное управление такой сложной системой достигнет пределов масштабируемости, вычислительной сложности и накладных расходов на связь. Новые системы должны обладать способностью соответствовать новым требованиям, например, чрезмерной распространенности, нерегулярности возобновляемых источников энергии и ограниченной пропускной способности передачи данных для связи [3].

Многоагентные системы имеют атрибуты, соответствующие этим предварительным требованиям. Определенная степень распределенного или коллективного интеллекта может быть достигнута посредством связи этих агентов друг с другом, путем борьбы агентов за достижение своих целей

1.2. Обзор применяемого подхода

1.2.1. Концепция мультиагентной системы

Основным тезисом, который упоминается при попытках объяснить популярность мультиагентных систем, является предложенный в ней абсолютно новый, ранее не используемый, взгляд на реализацию

программных продуктов и приложений. Приложения, которые имеют в основе своей архитектуры агенты, характеризуются следующими качествами — распределенности и открытостью. Не новостью будет упомянуть, что проблема вычислительной сложности является главным препятствием при создании устройств силовой электроники, использующих нейросетевое управление, а при использовании концепции мультиагентных систем подход реализации изменился. Применяются такие инструменты, как *модульность* и *обобщение*, которые уже давно применяются при построении сложных математических решений.

Известно, что если область исследований достаточно сложна и не тривиальна, а факторы влияющие на ход событий невозможно предсказать, то единственным решением, которое может помочь, является *декомпозиция* задачи. После декомпозиции подзадачи решают частные проблемы, а совместный результат решения этих подзадач используется с помощью *координации*.

Наиболее важным определением при построении мультиагентной системы является определение *открытой системы*. Современное определение открытой системы звучит следующим образом: «Открытая система — это такая система, которая способна сама изменять свою структуру при внешнем изменении среды». Кроме того, система называется открытой, если множество компонент, из которых состоит система и изначальный состав которых неизвестен, может меняться. Достаточно известным примером данной открытой и распределенной среды является всем хорошо знакомая сеть Интернет. Ее создателями является большое количество людей, она содержит невероятно большое количество всевозможных компонентов, ресурсов и имеет различные инструменты и способы взаимодействия с ними.

В период развития мультиагентной технологии были выработаны основные признаки, с помощью которых можно характеризовать систему как мультиагентную:

- Каждый агент имеет неполную информацию и ограниченные возможности по решению «своей», уникальной задачи, а также имеет ограниченную информацию о среде и имеет только собственную модель среды;
- Глобальное управление агентами ограничено или отсутствует;
- Все данные, которые известны агенту, должны быть децентрализованы и храниться в распределенных базах данных. Часть данных должна быть от отдельных агентов системы;
- Все агенты должны функционировать в асинхронном режиме.

Большой список преимуществ сделал данный подход таким привлекательным для разработки систем управления сетями электропитания и разрешил реализацию многих других приложений данной технологии к нуждам силовой электроники. Вот некоторые из них:

- Ориентированность на реализацию крупномасштабных проектов. Парадигмы мультиагентной системы нацелены именно на решение подобного рода задач;
- Возможность переиспользования компонент для решения различного рода задач. Для поддержки данной возможности универсальные и масштабируемые протоколы поведения. Таким образом достигается возможность системы к развитию. Это полностью перевешивает вариант постоянного переписывания программного кода для совершенствования системы;

- Возможность выработки решений на основе пространственно распределенных агентов, что может быть использовано в управлении солнечными электростанциями и ветряными фермами, разнесенными на большие расстояния;
- Возможность оптимизировать вычислительную эффективность за счет асинхронности и параллелизма вычислений, надежность и расширяемость.

1.2.2. Концепция агента

С самого начала исследований в этой области не было единственного определения того, что же такое «интеллектуальный агент». Все доступные определения находятся под сильным влиянием области, которая в своей основе имеет использование агентов, а именно технологии искусственного интеллекта, разработка различного программного обеспечения, когнитивная наука, информатика, инженерия в целом. Но, тем не менее, есть два определения, которые четко устоялись в научном сообществе. Первое определение звучит следующим образом: «Агент — это любая сущность, которая может быть наблюдаема в системе обитания с помощью датчиков и воздействовать на среду с помощью различных реакций на воздействия».

Следуя определению, приведенному выше, можно сказать, что агент — это сущность, физическая или виртуальная, которая чувствует окружающую среду и может воздействовать на нее. Физические сущности, которые могут считаться агентами, в случае системы питания это самое простое защитное реле или любой контроллер, которые напрямую контролирует некоторые компоненты или целую часть системы. Виртуальные сущности, которые могут считаться агентами, это часть программного обеспечения, которая получает разного рода входные данные от среды и генерирует на их основе выходные значения, которые изменяют саму среду. Чаще всего агент представляет собой комбинацию физических (вычислительная архитектура) и виртуальных (часть

программного обеспечения, которая управляет вычислительной архитектурой) свойств.

Наиболее точное определение агента немного расширяет пример, приведенный выше: «Автономные агенты — это вычислительные системы, которые находятся в некой сложной динамической системе, автономно совершают в ней действия, которые приводят к выполнению набора задач, которые они должны выполнить».

Назначение задачи агенту означает, что операции выполняемые в поле среды должны быть выполнены и привести к достижению определенной цели и раскрыть поведение в среде. Поведение в данном контексте означает порядок действий, который выполняет агент после поступления данных. В дополнение к входным значениям, действия и задачам агент может включать в себя знания о среде или проблеме, которую необходимо решить). Это знание может представлять собой алгоритм, методы искусственного интеллекта (нейронные сети и машинное обучение), эвристика и т.д.

Понятие среды, в которой пребывает агент, включает также понятия физических системы, операционных систем, интернет или даже некоторые вместе взятые. Также не стоит забывать о том, что как физические, так и виртуальные свойства могут быть объединены в состав агента. Если агент просто отвечает на процесс изменчивости среды и выполняет обрабатывает входные данные, то этот агент называется реактивный (рефлекторным). Реактивные агенты не поддерживают свое внутреннее состояние (простым примером внутреннего состояния является набор предыдущих входных данных системы) и не могут предоставить информацию о том, что будет являться продуктом их действий. Также можно утверждать и обратное — если агент управляет своим состоянием и может предоставить информацию о результатах выполненных операций, то он не является реактивным. С другой стороны, если агент управляет внутренним состоянием и может

спрогнозировать результат выполнения своих действий, или «обдумывать» свои решения, то такого агента называют совещательным агентом, который отслеживает изменения среды.

Таблица 1 — Характеристики агента

Характеристика	Другие названия	Значение
Реактивный	Рефлексирующий, чувствующий и действующий	Своевременно реагирует на изменения окружающей среды
Автономный	—	Осуществляет полный контроль над своими действиями
Целенаправленный	Pro-active, purposeful	Не изменяет окружение
Временно непрерывный	—	Продолжительный во времени процесс
Коммуникативный	Способный к социальному поведению	Взаимодействует с другими объектами
Обучающийся	Адаптирующийся	Изменяет поведение с появлением опыта
Мобильный	—	Способен перемещаться в сети агентов
Гибкий	—	Нет четкого порядка действия

Различные определения агентов включают список свойств, которые обычно классифицируются, основываясь на следующих качествах. Список

качеств, который приведен в таблице 1 может встречаться в литературе и приведен здесь для того, чтобы наиболее полно разобраться с понятием агента.

Опишем некоторые свойства агента более подробно:

- реактивность — характеристика, которая говорит о способности агента анализировать текущее состояние своего окружения и своевременно реагировать на происходящие изменения;
- интеллектуальность и целенаправленность — агент способен создавать задачи и предпринимать различные действия для их достижения. В этом основное отличие интеллектуального агента. Он может отменить выполнение действия, которое не приведет к результату. Данное свойство находит широкое применение в том случае, если система не может быть полностью наблюдаема;
- коммуникативность — способность агента взаимодействовать с другими агентами в системе, передавать и получать данные с помощью общего для всех агентов языка коммуникации.

Перечисленные выше свойства это необходимый минимум для того, чтобы используемый агент мог называться интеллектуальным. Интеллектуальный агент также может обладать рядом дополнительных характеристик, которые имеют значение при создании моделей поведения агента или агентов в системе. Основные свойства агента условно делятся на ментальные и поведенческие. Они играют главную роль при создании логики намерений агента.

К ментальным свойствам относятся такие понятия, как:

- знания — постоянная часть знаний агента о себе и своем окружении. Эта часть не меняется;

- убеждения — знания агента о других агентах и системе. Эта часть информации должна постоянно обновляться, так как на основе старых знаний агент будет предпринимать неверные решения.

К поведенческим свойствам относят:

- желания — это цели или состояния, которые необходимо достигнуть. Могут быть не реализуемы;
- намерения — это те действия, которые агенту необходимо выполнить при учете своих обязательств по отношению к другим агентам системы;
- цели — совокупность конечных и промежуточных состояний, достижение которых определяет стратегию поведения агента;
- обязательства — задачи переходящие от других агентов системы в контексте выполнения общей задачи системы.

1.2.3. Определение мультиагентной системы

Определение мультиагентных систем следует из определения самого агента. На протяжении всего времени исследований было предложено большое количество потенциальных определений мультиагентной системы из разных исследовательских дисциплин. Цель определения не в том, чтобы перечислить как можно больше возможных определений, а выделить одно, которое абсолютно точно бы служило описанием мультиагентной системы. Определение приведено ниже:

«Мультиагентная система — это слабосвязанная сеть, состоящая из сущностей(агентов), которые выполняют определенные действия. Их

совместные операции приводят к решению задачи, которая выходит за рамки индивидуальных возможностей и знаний каждого агента в отдельности».

Однако, концепт взаимодействия в мультиагентной системе не так прозрачен, как может показаться на первый взгляд. Данный концепт в худшем случае может быть абсолютно противоречив и не ясен. Мультиагентная система является независимой, если каждый отдельный агент нацелен на выполнение своей собственной задачи и предпринимает различные действия и реализует операции по ее достижению независимо от остальных агентов в системе. Дискретная система подразумевает под собой полное отсутствие взаимодействия между агентами. Система называется дискретной, если она независима и задачи агентов не имеют никакого отношения друг к другу. Однако, агенты могут взаимодействовать, не имея общих целей. В таком случае взаимодействие агентов в системе носит название независимое взаимодействие.

Взаимодействие между агентами в МАС может быть осуществлена следующими способами:

- определение способности к взаимодействию на этапе создания агента;
- адаптация агента (каждый агент в отдельности при развитии учится взаимодействовать с другими агентами в системе);
- эволюция агента (каждый агент в процессе эволюции приобретает навыки взаимодействия с другими агентами).

Изначально выгода мультиагентных систем казалась научному сообществу спорной. Тем не менее дальнейшие продвижения и успехи в данной области исследований показали две самые основные выгоды от использования мультиагентных систем — робастность (устойчивость) и расширяемость.

В настоящее время технологии доступная вариация мультиагентных систем многообразна. Есть большое количество моделей поведения, свойств агентов, семейств архитектур, которые ориентированы на современные требования. Спектр применения агентных технологий очень широк. С их помощью эффективно решаются задачи поиска информации и интеллектуальной обработки данных, что позволяет использовать их во многих сферах исследований.

1.3. Применение мультиагентных технологий в решении задач электроники и энергетики

Многие страны ЕС, а также США и Китай ведут развернутую разработку методов оптимизации и улучшения управления электросетями при использовании мультиагентных технологий [6], [7]. Основные направления исследований: управление распределенными энергосистемами и распределение нагрузки между источниками электроэнергии. Сочетание распределенной генерации, хранения электроэнергии, реагирования на спрос, цен на электроэнергию в реальном времени и интеллектуального управления открывает возможность оптимизации экономики, надежности и устойчивости. Поскольку распределенная генерация постепенно вытесняет центральную генерацию в качестве основного источника электроэнергии, распределенная координация вытеснит центральную координацию. Стандартная парадигма централизованного управления, которая используется в существующей электроэнергетической инфраструктуре, больше не будет достаточной. Количество компонентов системы, активно участвующих в задаче координации, будет огромным. Централизованное управление такой сложной системой достигнет пределов масштабируемости, вычислительной сложности и накладных расходов на связь.

В последние несколько лет мультиагентные методы нашли свое место во многих распределенных системах, таких как распределенное решение задач, распределенное слияние информации, распределенные научные вычисления, а также управление распределенными источниками энергии. Однако, эти более ранние приложения, особенно в области управления, имели тенденцию пренебрегать размером области применения, сосредотачиваясь только на функциональных свойствах как согласование агента, сотрудничество и коммуникация [5]. В контексте электроэнергетики масштаб энергосистемы может составлять от тысяч до десятков тысяч узлов с массивом взаимосвязей между узлами. Поэтому для того, чтобы перевести мультиагентные методы в практические системы, проблемы масштабируемости становятся существенными. Масштабируемость многоагентной системы зависит от того, ограничена ли наихудшая производительность системы полиномиальной функцией нагрузки. В качестве средства достижения масштабируемости предложена динамическая гибридная многоагентная система.

В мультиагентной парадигме можно выделить два типа агентов: главные агенты и вспомогательные агенты. Главные агенты моделируют поведение генератора, нагрузки и линий передачи, в то время как вспомогательные агенты моделируют компенсатор, различные погодные условия или другие элементы, необходимые для планирования передачи энергии. Каждый агент представляет собой гибридную сущность с четырьмя атрибутами: идентификация, метод, знание, интерфейс. Идентификация используется для идентификации наименованием модальности (например, генератор, нагрузка, передающая линия, компенсатор) с которой этот агент связан. Метод является встроенным алгоритмом формирования коалиции, обсуждаемым далее в этой статье. Знание включает в себя априорной информации (например, значений параметров, таких как напряжение, ток и т. д.) своих соседей и накопленных полученных знаний в процессе формирования коалиции. Интерфейс

предоставляет функции интерфейса для агентов для доступа к базе знаний друг друга, а также для связи агентов (обмена знаниями). В большой распределенной системе, например, как отдельная страна, электросеть, связь от одного или нескольких агентов будет прерываться время от времени. В этих неблагоприятных условиях остальные агенты должны быть в состоянии принимать решения, которые не ставят под угрозу стабильность или надежность сети. Требуются отказоустойчивые агенты, которые могут принимать решения при отсутствии данных от одного из соседних агентов. Хотя данные от конкретного агента могут отсутствовать, много раз эти данные могут быть выведены из потока нагрузки и информации напряжения от соседних агентов. Таким образом, благодаря совместной работе агентов может быть достигнуто обнаружение неисправностей [8].

Агенты могут быть разработаны для силовых электронных компенсаторов, которые могут предоставлять множество услуг, таких как генерация реактивной мощности, регулирование потока мощности, гармоническая компенсация, регулирование напряжения или динамическое управление частотой и напряжением. Эти конвертеры можно интегрировать с ресурсами, нагрузками, или подействовать как отдельно стоящая система поколения. Для агентов необходим большой набор критериев принятия решений, позволяющих им принимать управленческие решения, которые в конечном итоге повысят качество электроэнергии и надежность электросети.

Координация распределенных источников энергии на модернизированных энергетических рынках является еще одной областью, где может быть использовано сотрудничество на основе мультиагентных технологий. PowerMatcher, концепция, разработанная ECN в Нидерландах, является примером. Цель заключается в координации деятельности агентов в целях обеспечения экономически эффективного баланса спроса и предложения. Чтобы решить эту проблему, агенты имеют возможность конкурентно торговать энергией на общем рынке. Эти рыночные переговоры

обеспечивают основу для принятия решений на основе микроэкономики. Переговорный процесс опирается на динамические схемы ценообразования, при которых цены могут меняться в течение дня в зависимости от баланса между спросом и предложением: чем выше спрос, тем выше цены, и наоборот. Каждый агент покупает или продает энергию в зависимости от ее типа (нагрузка, источник и т. д.), и фиксирует эту купленную или проданную сумму. В этом конкурентном рынке равновесие, все агенты имеют доступ к той же информации о цене, полученной путем поиска равновесия между спросом и предложением [3].

Различные факторы подталкивают производство электроэнергии в существующей электроэнергетической инфраструктуре к децентрализации. Мультиагентные системы формируют соответствующую технологию для решения возникающей проблемы координации. Описанные случаи применения агентных технологий показывают ситуацию в сфере энергетики сейчас и доказывают необходимость и дальше развивать их в данном направлении.

2. Разработка многокомпонентного источника электрической энергии с произвольной внутренней коммутацией

Мультиагентные технологии зарекомендовали себя как инновационное решение проблем коммуникации децентрализованных источников электрической энергии, особенно в больших масштабах. Но что, если масштабировать не расстояния между компонентами, а количество их в системе и их размеры. Реализация данной идеи позволила бы создать компактные и мобильные источники электрической энергии, в перспективе питать небольшие электродвигатели, например, искусственное сердце. Для реализации на техническом уровне требуется разработать модель источника электрической энергии, компоненты которого координировали бы по принципам мультиагентных технологий.

Так как имеет место разработка многокомпонентного источника, стоит разобраться с тем, что из себя представляет минимальная функциональная ячейка многокомпонентного источника электрической энергии. Агенты имитируют источники электрической энергии, соединенные между собой цифровыми и силовыми линиями. Силовые линии обеспечивают электрическую связь между источниками электрической энергии, а цифровые олицетворяют коммуникацию между агентами. Помимо источника электрической энергии, агент, по всей видимости, содержит некую вычислительную мощность, силовой ключ и драйвер, а также аккумулятор и датчик напряжения. При этом, агентами могут изначально служить аккумулирующие энергию сущности, в этом случае сторонний аккумулятор не требуется. Схематичное изображение описанного элемента будет иметь следующий вид, показанный на рисунке 2.1.

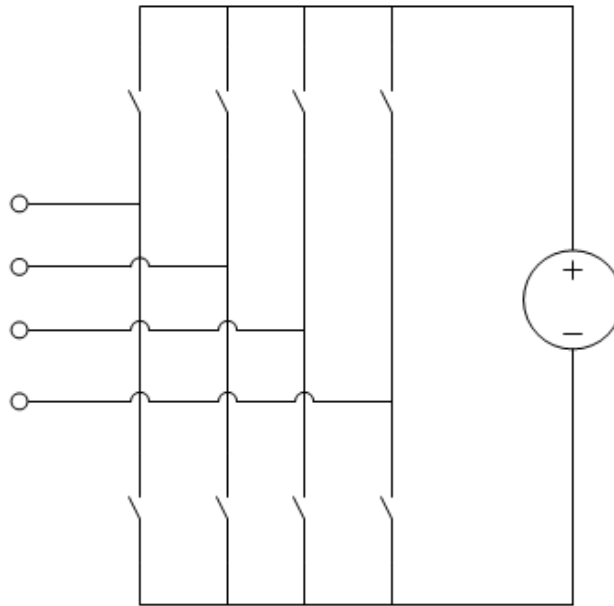


Рисунок 2.1 – Схематичное изображение минимального функционального элемента

Таким образом, каждому источнику электрической энергии соответствует некий микропроцессор, фиксирующий информацию о его состоянии и разрешающий его соединение с другими элементами и работу на общую нагрузку. Схематичное описание конструкции изображено на рисунке 2.2.

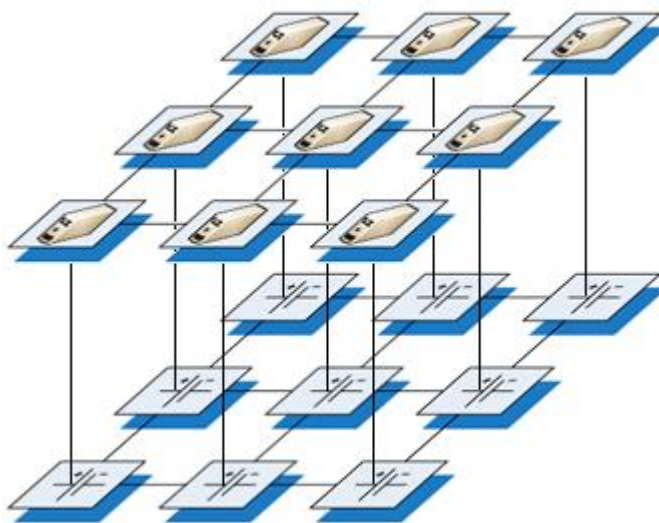


Рисунок 2.2 – Схематическое изображение конструкции небольшого участка многокомпонентного источника электрической энергии

В связи с тем, что парадигма мультиагентной системы не предполагает наличие централизованного вычислительного ядра, каждый агент содержит собственный микропроцессор. Если возможность вычленивать из системы один агент имеется, и он будет работать как автономный источник питания, способный в дальнейшем интегрироваться обратно в систему, то при потере вычислительного элемента теряется основа мультиагентной системы. Можно выделить следующие функции, выполняемые каждым вычислительным центром агента:

- Хранение информации об источнике электрической энергии. В каждом агенте имеются данные о номинальном напряжении своего источника (при наличии датчика, данные о напряжении берутся с него), данные о работоспособности агента и возможностях его коммутации с соседями, информация о его работе в предыдущий цикл включения (это необходимо для предотвращения выхода из строя элемента и повышения надежности системы в целом) и флаг соединения с шиной питания. Помимо данных о самом себе, агент располагает информацией о своих непосредственных соседях, а именно, об их количестве и расположении. Во время непосредственной работы многокомпонентного источника электрической энергии, в нем также хранятся данные о соединенных с ним элементах в полученной цепи;
- Обеспечение напряжения задания и опрос соседей. Как только многокомпонентный источник электрической энергии начинает свою работу, на элементы, соединенные с шиной питания, подается сигнал на заданное напряжение. Если номинального напряжения соединенных с шиной компонентов не хватает до напряжения задания, происходит опрос соседних агентов, сколько напряжений они могут дать. Если напряжений соседних агентов не хватает для набора нужного напряжения, происходит опрос соседей следующего

уровня, и так до тех пор, пока цепь из последовательно соединенных агентов даст нужное напряжение. После того, как один из агентов многокомпонентного источника набирает нужное напряжение, сигнал об успешном опросе поступает последовательно на все предыдущие элементы, а самый последний агент начинает по уже описанному сценарию искать соединение с противоположной шиной питания. После соединения с шиной происходит открытие силовых ключей всех элементов в полученной цепи и на зажимах многокомпонентного источника появляется нужное напряжение;

- Подача импульса отпирания на силовые ключи. При достижении напряжения задания сигнал об успешном выполнении работы подается последовательно от самого последнего элемента в цепи к самому первому, соединенному с шиной питания. При подаче данного сигнала на каждый из источников происходит открывание силовых ключей, и при открытии ключа у самого первого в цепи элемента начинает течь ток, и на разность потенциалов первого и последнего элементов цепи становится равно напряжению задания.

Таким образом продемонстрируем схематичный вид разработанного многокомпонентного источника электрической энергии с произвольной внутренней коммутацией на рисунке 2.3.

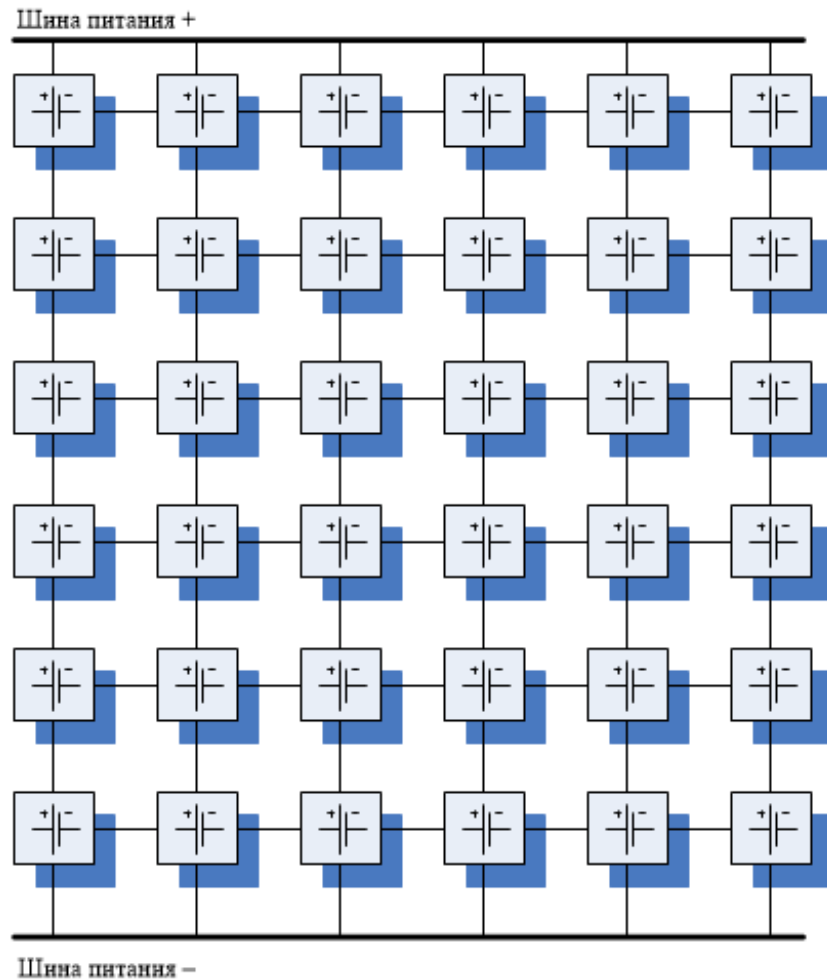


Рисунок 2.3 – разработанный многокомпонентный источник электрической энергии с произвольной внутренней коммутацией.

Таким образом был разработан многокомпонентный источник электрической энергии с произвольной внутренней коммутацией, алгоритм функционирования которого подчиняется парадигмам мультиагентного подхода.

3. Преимущества и надежность системы

Помимо очевидных достоинств системы, основанной на парадигмах мультиагентного подхода, данная реализация многокомпонентного источника электрической энергии обладает повышенной надежностью. Так как рассматриваемый источник электрической энергии содержит в себе большое количество равнозначных компонентов, имеет место смешанный способ резервирования с разделением [12].

В разработанном источнике электрической энергии коммутация элементов происходит произвольным образом, руководствуясь псевдослучайными функциями распределения (алгоритм подбора соседей организован настолько случайно и непредвзято, насколько это позволяют использованные библиотеки JAVA [13]). Это обеспечивает то, что каждому элементу в системе соответствует $N - 1$ резервных элементов, где N – число элементов в системе. В системе с несложной организацией и небольшим количеством элементов кривая интенсивности отказов выглядит таким образом, как показано на рисунке 3.1:

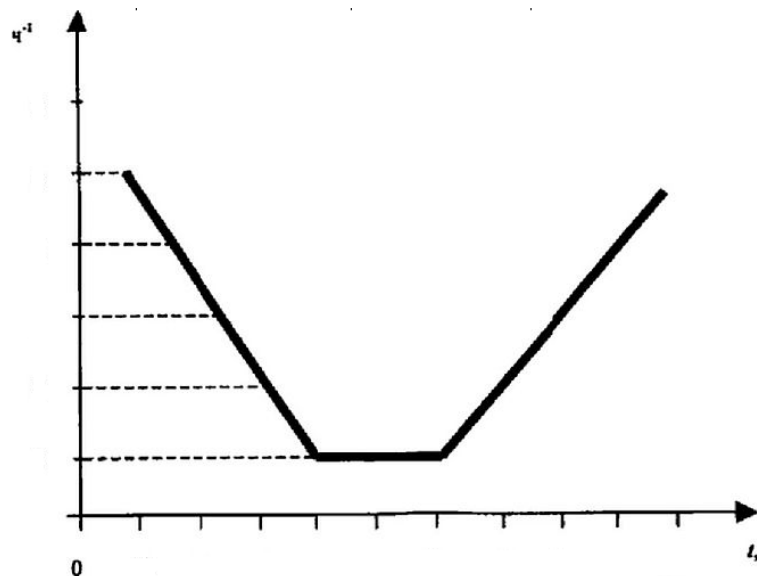


Рисунок 3.1 – Кривая интенсивности отказов во времени простоя системы

Как видно из рисунка 3.1, кривую интенсивности отказов можно разбить на три участка: участок внезапных отказов системы в первые часы работы (высокая степень интенсивности отказов), участок средней прогнозируемой вероятности отказов и стабильной работы системы (низкая степень интенсивности отказов) и участок постепенных отказов элементов системы по мере выхода из строя их согласно прогнозируемому сроку службы (высокая степень интенсивности отказов). Таким образом система мы имеем слабопрогнозируемую величину отказа из строя системы, так как вероятность этого события отличается в разные моменты времени.

Но при приближении числа элементов системы к бесконечности, мы получаем иной вид кривой, изображенный на рисунке 3.2 [14]:



Рисунок 3.2 – Кривая интенсивности отказов системы с большим количеством элементов

Как видно из рисунка 3.2, вероятность отказа системы снижается в целом, а так как снижается интенсивность внезапных отказов и постепенных отказов. Это означает, что при увеличении числа элементов системы, повышается точность прогнозируемого времени отказа всей системы. Таким образом, всегда будет известен точный срок службы многокомпонентного источника электрической энергии, вплоть до определенного часа. Данное

преимущество играет важную роль особенно в оборонной промышленности, тогда как во всех остальных сферах идет тенденция на искусственное устаревание.

Также, все агенты в системе не только нагружаются равномерно в случайном порядке, но и запоминают свое последнее состояние, что обеспечивает не только повышение времени безотказной работы системы, но и снижает вероятность отказа каждого ее элемента многократно.

Подведем итоги исследования свойств разработанного многокомпонентного источника электрической энергии:

- Отсутствие необходимости в центральном вычислительном узле;
- Возможность точного прогноза срока службы;
- Высокая надежность вследствие использования смешанного резервирования.

4. Математическое моделирование многокомпонентного источника электрической энергии

4.1. Описание мат. модели

В качестве среды моделирования объекта исследования был выбран язык программирования JAVA и среда разработки Eclipse. Выбор языка обусловлен простой реализацией на его основе объектно-ориентированного подхода и большой популярностью. Объектом моделирования является набор из 49 источников электрической энергии, соединенных последовательно-параллельно, изображенный на рисунке 4.1. Каждый из этих элементов имеет электрическую связь с расположенными рядом горизонтально и вертикально элементами. Также каждый элемент, исходя из парадигмы мультиагентного подхода, имеет собственную вычислительную мощность, и не обладает информацией об объекте исследования в целом, а только о своих непосредственных соседях.

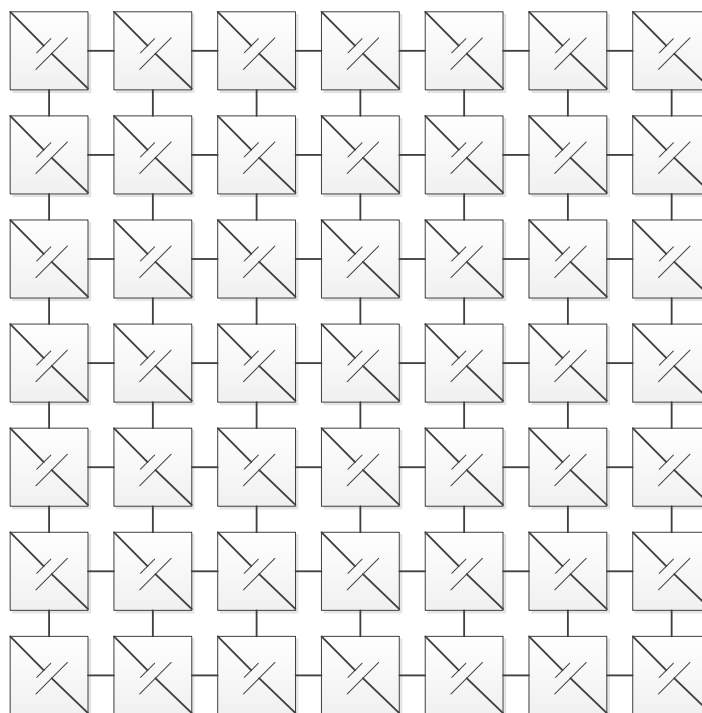


Рисунок 4.1 – схематичное изображение исследуемого объекта.

Кроме того, каждый элемент также содержит следующую информацию о самом себе:

- Номинальное напряжение элемента питания;
- Информация о работе в предыдущем цикле включения;
- Информация о нахождении рядом шины питания.

Вся вместе эта информация не дает функциональному элементу сведений об общей картине в многокомпонентном источнике электрической энергии, но она довольно исчерпывающа для корректной работы системы

4.2. Реализация мат.модели в JAVA

Для описания объекта исследования на основе схемы на рисунке 1 была создана модель, также содержащая 49 функциональных единиц – источников питания. Номинальное напряжение в них изменяется по методу половинного деления. Вид полученной модели изображен на рисунке 4.2.

50	50	50	50	50	50	50
25	25	25	25	25	25	25
10	10	10	10	10	10	10
5	5	5	5	5	5	5
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
1	1	1	1	1	1	1
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Рисунок 4.2 – Математическая модель многокомпонентного источника ЭЭ, реализованная с помощью среды разработки Eclipse

Цифры на функциональных ячейках означают их номинальное напряжение. Ячейки, окрашенные в белый цвет, соединены с шинами питания. Остальные, окрашенные в серый, являются обыкновенными источниками электрической энергии.

Для описания работы каждого элемента питания был написан класс `DC_voltage_source`, содержащий все переменные и константы, информация о которых доступна элементу питания, а также методы, содержащие инструкции к работе элемента питания.

4.2.1. Класс `DC_voltage_source`

Данный класс содержит такие переменные и константы, описывающие работу элемента питания, как:

- `EMF` – константа типа `double`, число с плавающей точкой, содержащая номинальное напряжение элемента питания;
- `used` – переменная типа `boolean`, может иметь только два значения – 0 и 1; описывает работу элемента питания в данном цикле;
- `eff` – переменная целочисленного типа, служит для описания работы элемента в предыдущих циклах работы; 1 – работал как источник питания, 2 – только коммутировал, 0 – не принимал участия в работе;
- `power_line` – переменная целочисленного типа, описывающая нахождение элемента рядом с шиной питания; -1 – соединен с входной шиной питания, 0 – не соединен с шиной питания, 1 – соединен с выходной шиной питания;

- `neighbors[]` – массив, содержащий объекты типа `DC_voltage_source`, то есть элементы питания которые соединены непосредственно с данным элементом питания;
- `previous_agent` – переменная типа `DC_voltage_source`, содержащая ссылку на элемент, предшествующий данному в электрической цепи; если элемент соединен с шиной питания, данная переменная хранит значение `null`;
- `forward_agent` – переменная типа `DC_voltage_source`, содержащая ссылку на элемент, последующий данному в электрической цепи; если элемент соединен с шиной питания, данная переменная хранит значение `null`;
- `rnd_neighbors[]` – массив, содержащий объекты типа `DC_voltage_source`, то есть элементы питания, которые соединены непосредственно с данным элементом питания, в псевдослучайном порядке (заполняется автоматически).

4.2.2. Метод `void rnd_neighbor()`

Данный метод заполняет массив `rnd_neighbors[]` ссылками на непосредственных соседей элемента, в псевдослучайном порядке, для повышения вероятности использования всех элементов питания в многокомпонентном источнике электрической энергии. Данный метод не имеет возвращаемых значений, как и аргументов.

4.2.3. Метод `boolean path_finder(double U_zad)`

Метод `path_finder` возвращает значения логического типа: 1 или 0. Среди аргументов у метода только напряжение задания, которое нужно получить от

системы. Данный метод имитирует работу многокомпонентного источника электрической энергии, а именно работу по поиску группы элементов, соединение которых даст нужное напряжение на шинах питания. При выполнении метода элементом питания, происходит вычитание номинального напряжения элемента из напряжения задания, и далее выполняется передача соседу элемента информации об оставшемся напряжении, нужным для добора до напряжения задания. Выбор соседнего элемента, к которому передается управление, осуществляется посредством метода `rnd_neighbors[]`. Если номинальное напряжение элемента больше напряжения задания, метод возвращает значение 0 и предыдущий элемент обращается к следующему своему соседу. Также, метод возвращает 0 в случае если было выполнено обращение ко всем соседям, и они вернули 0, а также в случае если элемент уже участвует в электрической цепи. При достижении напряжения задания метод возвращает значение 1, которое по цепочке возвращается самому первому элементу, подключенному к шине питания, тем самым формируя электрическую цепь из источников питания. Также, после достижения напряжения задания, последним элементом вызывается метод `to_power_line()`, который осуществляет коммутацию элементов питания до шины питания.

4.2.4. Метод `boolean to_power_line()`

Данный метод выполняет коммутацию последнего элемента в электрической цепи к шине питания, замыкая тем самым цепь, и завершая цикл работы системы управления многокомпонентного источника электрической энергии. Так же, как и метод `path_finder`, данный метод является рекурсивным, то есть вызывает сам себя с другим элементом, и так же возвращает значение логического типа, а именно, 1 если цепь достигла шины питания, и 0 если элемент питания, которому было передано управление, уже используется в электрической цепи, и когда все его соседи передали значение 0.

4.3. Интерфейсная часть мат.модели

Для проверки работоспособности данной математической модели был разработан пользовательский интерфейс, отражающий работу многокомпонентного источника электрической энергии в режиме реального времени. Окно программы, изображенное на рисунке 4.3, содержит набор элементов питания, поле ввода напряжения задания и кнопку, по нажатию которой происходит расчет.

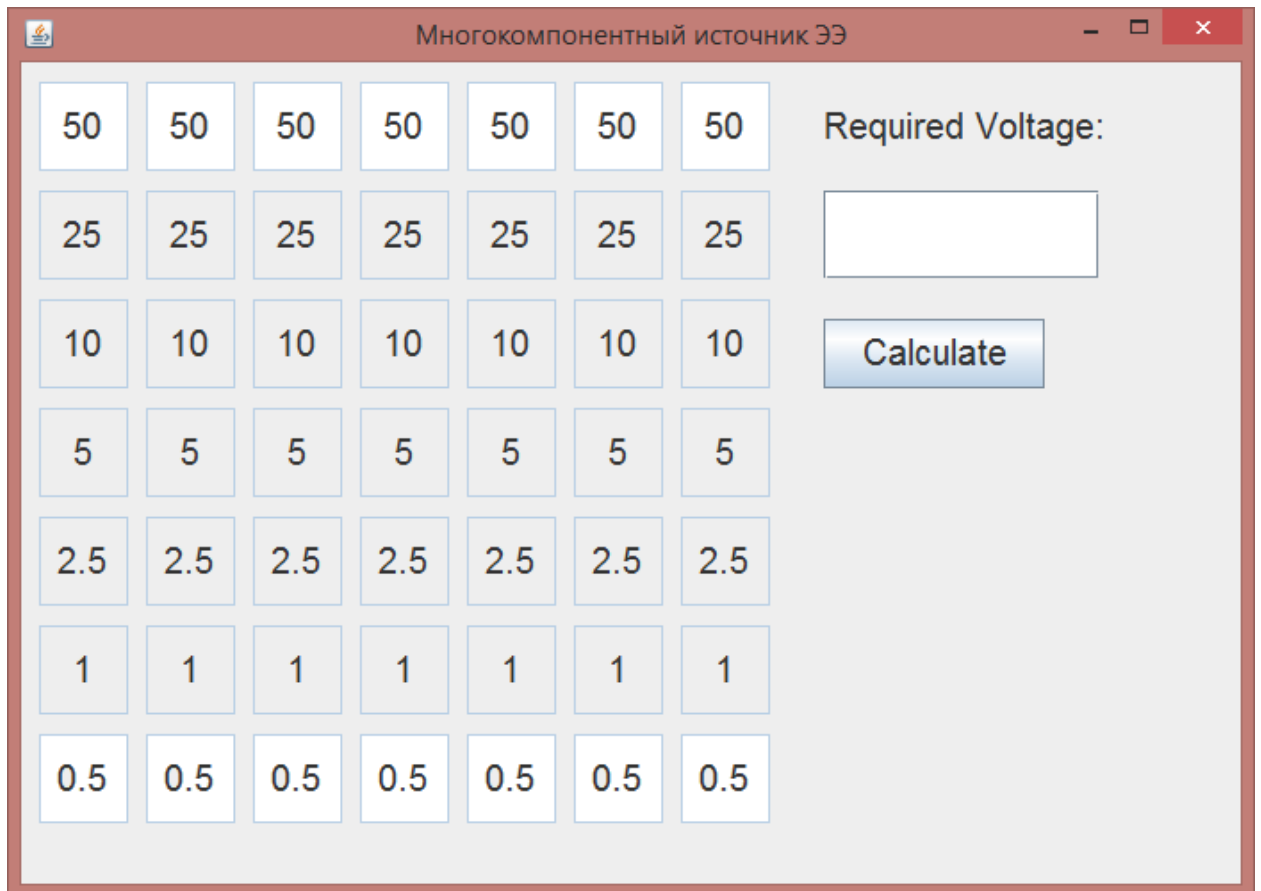


Рисунок 4.3 – Интерфейс многокомпонентного источника электрической энергии

4.4. Имитационное моделирование

Для проверки работы модели было проведено имитационное моделирование при различных значениях напряжения задания, результаты которого отражены на рисунках в данной главе. На рисунках, изображенных ниже, изображены скриншоты рабочего окна программы, написанной в целях имитационного моделирования. Как можно увидеть в ходе визуального изучения рисунка 4.4.1, розовым цветом отмечены элементы, участвующие в цепи в качестве источников питания, а оранжевым цветом те, что являются закороткой.

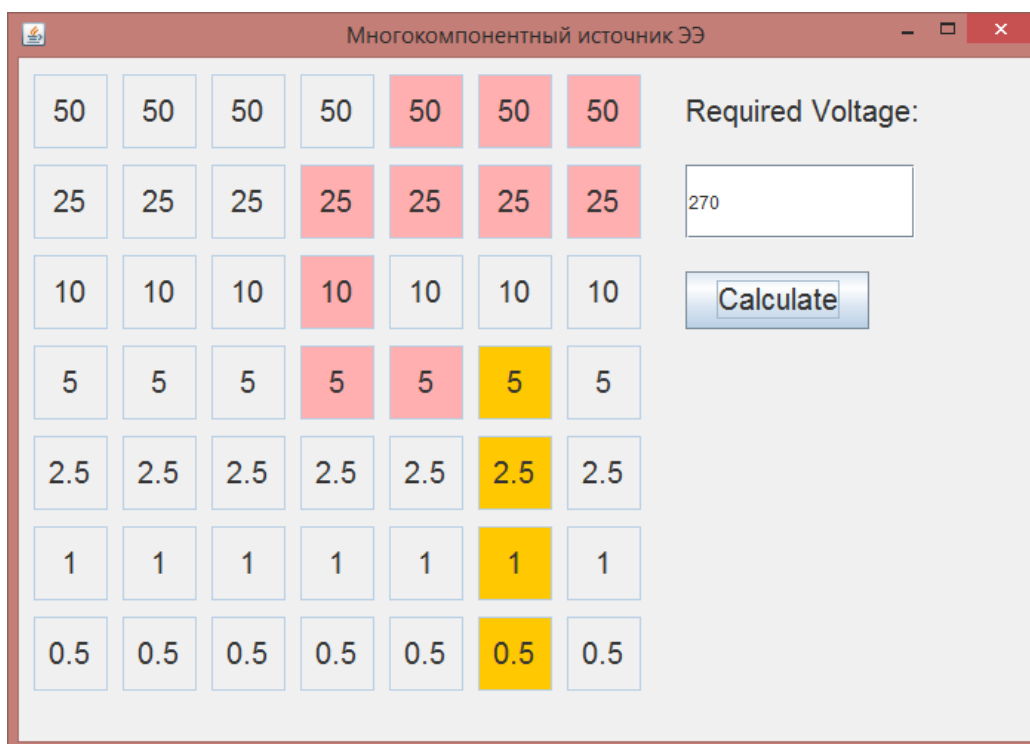


Рисунок 4.4.1 – Моделирование работы многокомпонентного источника ЭЭ при напряжении задания равном 270 В

Многокомпонентный источник ЭЭ

50	50	50	50	50	50	50
25	25	25	25	25	25	25
10	10	10	10	10	10	10
5	5	5	5	5	5	5
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
1	1	1	1	1	1	1
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Required Voltage: 350

Calculate

Рисунок 4.4.2 – Моделирование работы многокомпонентного источника ЭЭ при напряжении задания равном 350 В

Многокомпонентный источник ЭЭ

50	50	50	50	50	50	50
25	25	25	25	25	25	25
10	10	10	10	10	10	10
5	5	5	5	5	5	5
2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
1	1	1	1	1	1	1
0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

Required Voltage: 123

Calculate

Рисунок 4.4.3 – Моделирование работы многокомпонентного источника ЭЭ при напряжении задания равном 123 В

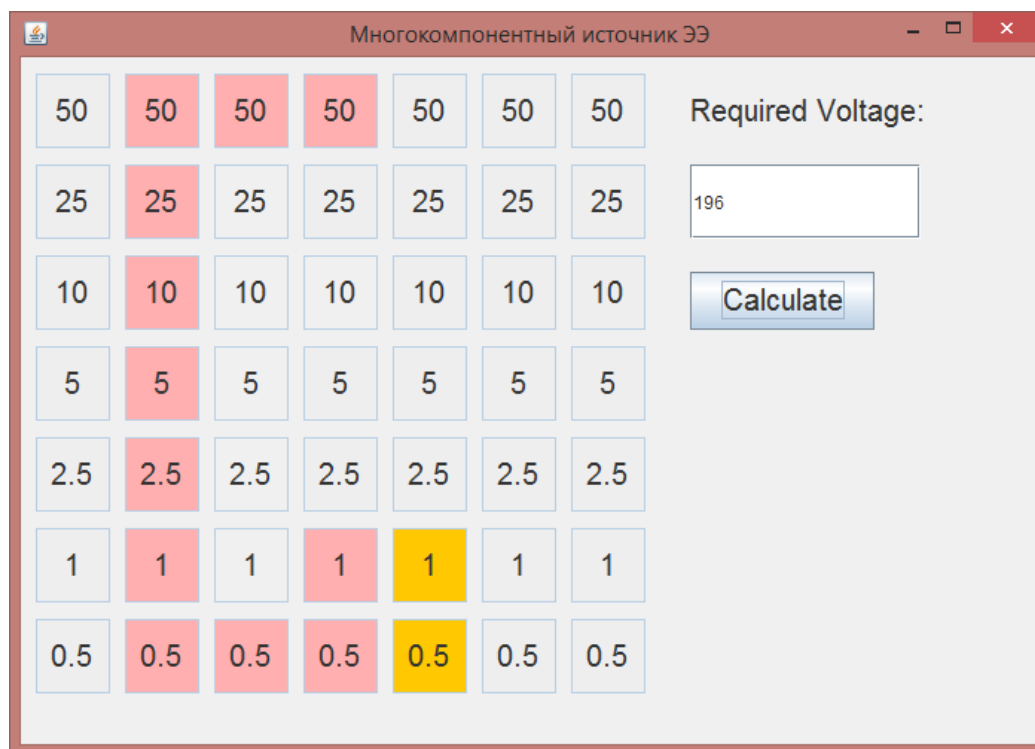


Рисунок 4.4.4 – Моделирование работы многокомпонентного источника ЭЭ при напряжении задания равном 196 В

На рисунках 4.4.1 и 4.4.2 изображена работа многокомпонентного источника электрической энергии при больших напряжениях питания. Набор элементов, который получился после выполнения программы, почти оптимален, хоть и задается псевдослучайными алгоритмами. На рисунках 4.4.3 и 4.4.4 изображена работа программы при некратных 10 значениях напряжения задания, но и в этом случае был выполнен верный расчет. На рисунке 4.4.3 нет элементов, отмеченных оранжевым, так как последний элемент в цепи питания уже соединен с шиной.

Проведенное моделирование показало корректную работу источника электрической энергии с произвольной внутренней коммутацией, и подтвердило верность использованного подхода.

Экономический раздел

Продуктом является многокомпонентный источник электрической энергии с произвольной коммутацией, смоделированный в программном обеспечении JAVA/Eclipse. Назначение продукта состоит в обеспечении электрической энергией для различных нужд. В качестве реализации многокомпонентного источника электрической энергии на основе мельчайших элементов питания, данное устройство может быть мобильным и изготовленным для массового производства.

Перечислим затраты на разработку устройства:

На этапе моделирования многокомпонентного источника электрической энергии, необходим компьютер с техническими требованиями не ниже следующих:

- Процессор: Intel Core i5;
- Оперативная память: 6 ГБ;
- Графический ускоритель: GeForce GTX 1050;

Затраты при использовании компьютера:

- Ресурс работы ПК – 30000 часов;
- стоимость ПК – 52600 рублей;
- время работы с ПК – 480 часов;
- Стоимость часа работы с ПК – 200 рублей.

Также в ходе исследований были приобретены несколько подписок на научные журналы и интернет-ресурсы, общей стоимостью 65 €, что, согласно

курсу евро на 18.06.2019, составляет в отечественной валюте 4696 р. Таким образом, цены на исследование приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Затраты на разработку

Наименование	Цена, руб.
ПК	52600
Работа с ПК	96000
Пользование платными информационными ресурсами	4696
Итого	153569

Раздел охраны труда

Требования охраны труда перед началом работы:

- Привести в готовность рабочее место;
- Отрегулировать освещение на рабочем месте, убедиться в отсутствии бликов на экране;
- Проверить безопасность подключения оборудования к электросети;
- Проверить исправность проводов питания на предмет наличия оголенных участков проводов;
- Убедиться в наличии заземления системного блока, монитора и защитного экрана;
- Протереть антистатической салфеткой поверхность экрана монитора и защитного экрана;
- Проверить правильность установки стола, стула, подставки для ног, пюпитра, угла наклона экрана, положение клавиатуры, положение «мыши» на специальном коврик, при необходимости произвести регулировку рабочего стола и кресла, а также расположение элементов компьютера в соответствии с требованиями эргономики и в целях исключения неудобных поз и длительных напряжений тела.

Требования охраны труда во время работы:

Работнику при работе на ПК запрещается:

- прикасаться к задней панели системного блока при включенном питании;

- переключать разъемы интерфейсных кабелей периферийных устройств при включенном питании;
- допускать попадание влаги на поверхность системного блока, монитора, рабочую поверхность клавиатуры, принтеров и других устройств;
- производить самостоятельное вскрытие и ремонт оборудования;
- работать на компьютере при снятых кожухах;
- отключать оборудование от электросети и выдергивать электровилку, держась за шнур.

Заключение

В ходе работы был произведен аналитический анализ различных способов управления, а также был предложен совершенно новый способ управления распределенным источником питания, основанный на парадигмах мультиагентного подхода. Данный метод является абсолютно не изученным на российском рынке, и малоизученным на мировом рынке, что дает широкий простор для исследований в данной области в контексте силовой электроники.

В работе также была описана модель разработанного многокомпонентного источника электрической энергии с произвольной внутренней коммутацией. За неимением вычислительных мощностей для вещественного эксперимента была смоделирована работа источника ЭЭ посредством языка программирования JAVA и среды разработки Eclipse. Моделирование показало отличные результаты, соответствующие ожиданиям.

Результатами работы является разработанная модель управления распределенным источником электрической энергии, основанная на парадигмах мультиагентного подхода.

Список литературы

1. KEMA, “Electricity Technology Roadmap – Technologie voor een Duurzame Samenleving”, KEMA, april 2002.
2. ENIRDGnet, “Concepts and Opportunities of Distributed Generation: The Driving European Forces and Trends”, ENIRDGnet project deliverable D3, 2003.
3. PowerMatcher: Multiagent Control in the Electricity Infrastructure J.K. Kok, C.J. Warmer, I.G. Kamphuis Energy research Center of the Netherlands (ECN) Sustainable Energy in the Built Environment, 2005
4. Mevludin G., Agents and Multi-Agent Systems: A Short Introduction for Power Engineers. -2006, -20 с.
5. Бордини Р.Х., Дастани М., Виникофф М. (2006) Актуальные проблемы разработки многоагентных систем. В: Инженерные общества в мире агентов VII, Springer, с. 38–61
6. J. Yen, Y. H. Yan, B. J. Wang, P. K. H. Sin, “Multi-agent coalition formation in power transmission planning,” Proceedings of the 31st Annual Hawaii International Conference on Systems Sciences, 1998.
7. F. M. T. Brazier, F. Cornelissen, R. Gustavsson, C. M. Jonker, et. al., “Agents negotiating for load balancing of electricity use,” Proceedings of the Third International Conference on the Practical Application of Intelligent Agents and Multi-Agent Technology, PAAM’98, 1998, pp. 551-554.
8. Макартур С., Дэвидсон Э., Каттерсон В., Димеас А., Хациаржириу Н., Пончи Ф., Фунабаси Т. (2007) Многоагентные системы для применения в энергетике - часть II: технологии, стандарты и инструменты для построения многоагентных систем. IEEE Trans Power Syst 22: 1753–1759

9. Jianfang L, Xiaohui S, Xiaoli M (2015) Иерархическая модель управления интеллектуальной распределительной сетью на основе самоорганизующейся мультиагентной системы. В: Международная конференция по возобновляемым источникам энергии (RPG 2015), IET, стр. 1–6
10. S. D. J. McArthur, S. M. Strachan, and G. Jahn, “The design of a multiagent transformer condition monitoring system,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 19, no. 4, pp. 1845–1852, Nov. 2004.
11. T. Nagata and H. Sasaki, “A multi-agent approach to power system restoration,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 17, no. 2, pp. 457–462, May 2002.
12. Сердюков В.И., Сердюкова Н.А., Шишкина С.И. Повышение безотказной работы изделий с использованием элементов искусственного интеллекта // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2017. № 1. С. 62–72. DOI: 10.18698/0236-3941-2017-1-62-72
13. Шилдт, Герберт. Java 8. Полное руководство; 9-е изд.: Пер. с англ. - М. : ООО "И.Д. Вильямс", 2015. - 1 376 с. : ил. - Парал. тит. англ. ISBN 978-5-8459-1918-2 (рус.)
14. Аполлонский С. М., Куклев Ю. В. Надежность и эффективность электрических аппаратов: Учебное пособие. — СПб.: Издательство «Лань», 2011. — 448 с.: ил.— (Учебники для вузов. Специальная литература).