

КЫРГЫЗСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ К.И.СКРЯБИНА
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ Б.Н. ЕЛЬЦИНА

Диссертационный совет Д.05.16.536

На правах рукописи

УДК: 621.311.212.022.53:628.1.034

Касмамбетов Хусейн Талантбекович

РАЗРАБОТКА НИЗКОНАПОРНОЙ МИКРО- ГЭС ДЛЯ СЕЛЬСКИХ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ СТАБИЛИЗАЦИЕЙ
ПАРАМЕТРОВ ГЕНЕРИРУЕМОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

05.20.02 - Электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Бишкек – 2018

Работа выполнена в Кыргызском государственном техническом университете им. И. Раззакова

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент

Сариев Имангазы Сариевич

кандидат технических наук, доцент

Рырсалиева Абдыкерим Сатиханович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Омаров Рашит Абдыгаравович

кандидат технических наук

Гусаров Валентин Александрович

Ведущая организация: Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан, г. Алматы, проспект Абая, 8.

Защита состоится «18» мая 2018 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д.05.16.536 при Кыргызском национальном аграрном университете им. К.И. Скрябина и Кыргызско-Российском Славянском университете им. Б.Н. Ельцина по адресу: 720005, г. Бишкек, ул. Медерова, 68. Тел. +996312 545210, 540548. Факс +996312 545210, e-mail: knau-info@mail.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Кыргызского национального аграрного университета им. К.И. Скрябина, www.knau.kg.

Ученый секретарь
диссертационного совета
05.16.536, к.т.н. Токтоналиев Б.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Прогресс техники повлек за собой укрупнение энергетических объектов и рост единичных мощностей агрегатов, из-за повышения стоимости электроэнергии и цен на органическое топливо, а также в связи с программами освоения новых режимов интерес к малой ГЭС резко возросло.

Малые ГЭС у развитых стран, как правило, оснащаются совершенными агрегатами, оборудованными сложными электронными системами регулирования. Соответственно высока и стоимость таких машин. А энергетика развивающихся стран, как и наша Республика, ориентируется главным образом на максимально дешевые агрегаты упрощенной конструкции простые в обслуживании и эксплуатации.

В условиях нашей страны, где имеется достаточные гидроэнергоресурсы, развитие гидроэнергетики приобретает особую актуальность.

В последние годы разработано множество конструкций микро-ГЭС, из которых следует выбрать для нас более эффективные и рациональные.

Малая гидроэнергетика весьма эффективна при энергоснабжении малых поселков особенно в труднодоступных районах, где преимущественно развита скотоводство и имеется значительные запасы гидроэнергоресурсов, которые могут быть эффективно использованы этой отраслью.

Из-за сложности транспортировки, труднопроходимости дорог, повышения цен на топливо многие объекты остаются необеспеченными теплом и электроэнергией в необходимом объеме.

Всё это отрицательно влияет на развитие отдалённых районов, на туристические и скотоводческие объекты нашей страны.

Для нашей республики особо важную роль играет цена на строительство микро-ГЭС. А применение асинхронных генераторов с самовозбуждением (АГС), по сравнению с синхронными генераторами, имеет наименьшую стоимость.

Применение известных способов создания микро-ГЭС на небольших напорах и расходах гидропотоков показала, что наиболее многообещающими считаются электростанции с двукратными турбинами и асинхронными генераторами с самовозбуждением.

А также актуальным вопросом является стабилизация значений выходных параметров генерируемой электроэнергии, которые должны соответствовать требованиям государственного стандарта по качеству электроэнергии.

Связь темы диссертации с приоритетными научными направлениями: работа выполнена в соответствии с отраслевой программой МОН Кыргызской Республики АП-214-14 «Разработка технологии и

технических средств энерго и тепло обеспечения фермерских хозяйств с использованием возобновляемых источников энергии».

Цель работы - разработка микро-ГЭС для автономных, сельскохозяйственных потребителей со стабильными параметрами электроэнергии без балластной нагрузки, не зависящий от разгона ротора гидрогенератора с однофазным выходом и испытание их на опытных образцах.

Основные задачи исследования:

- обоснование требований к гидроагрегатам с турбиной Банки (ТБ), АГС и к качеству электроэнергии. Исследование действенных технических решений по составу и структуре низконапорных автоматизированных микро-ГЭС для сельскохозяйственных изолированных потребителей малой мощности;

- разработка математической модели АГС и схем замещения трехфазного асинхронного двигателя (АД), также методики комплексного расчета низконапорных микро-ГЭС по характеристикам водотока и генерируемой электроэнергии;

- исследование основ построения и разработка действенных технических решений автоматических систем стабилизации параметров электроэнергии, генерируемой микро-ГЭС, автономно без применения балластной нагрузки.

- проведение тестирования микро-ГЭС со стабилизированными системами выходных характеристик вырабатываемой электроэнергии в натурных и лабораторных условиях.

Научная новизна работы:

- разработана расчетная модель двукратной турбины, позволяющая определить КПД в зависимости от числа профиля лопаток и типа направляющего аппарата;

- разработана математическая модель автономного трехфазного асинхронного генератора с самовозбуждением, базирующаяся на уравнениях идеализированной асинхронной машины с неизменными коэффициентами, емкостной нагрузки приведенной Г-образной схемы замещения и балансировки мощностей;

- обоснован и разработан метод комплексного расчета низконапорных автоматизированных микро-ГЭС по напорам, расходам воды и характеристикам генерируемой электроэнергии;

- разработано устройство «Инвертор напряжения сети» (ИНС) стабилизирующее выходные параметры генерируемой электроэнергии и управляющая программа с использованием алгоритмов и многофункциональных модулей к ИНС, позволяющая стабилизировать выходные параметры генерируемой электроэнергии с однофазным выходом, без использования балластной нагрузки.

Практической ценностью данной работы является:

- создание действенного, эффективного и технического решения по составу и структуре автоматизированных, низконапорных микро-ГЭС на основе двукратной турбины и АГС с использованием ИНС;
- разработка основ проектирования низконапорных микро-ГЭС на базе двукратной турбины, АГС с использованием ИНС, предназначенных для электроснабжения автономных сельскохозяйственных потребителей дешевыми, надежными и эффективными энергоустановками небольшой мощности;
- разработка, изготовление и испытание ИНС обеспечивающий:
 - а) преобразование трехфазного источника электроэнергии на однофазное, путем стабилизации напряжения и частоты;
 - б) автоматизацию измерения напряжений в момент изменения нагрузки и занесения их в базу данных путем передачи через радиоканал связи на персональный компьютер с последующей обработкой полученных данных;
 - в) исследования факторов, влияющие на качество электроэнергии.
- получено свидетельство на программу для ЭВМ «Управляющая программа устройства «Трехфазный преобразователь напряжения со стабилизацией выходных параметров однофазной сети переменного тока»». (заявка № 20130009.6, положительное решение от 21 мая 2013 г.). Программное обеспечение для системы управления дана в приложении 1 [П1].

Экономической значимостью полученных результатов является снижение себестоимости конструкции и оборудования микро-ГЭС на 37% от внедрения двукратных турбин и асинхронных генераторов с ИНС в микро-ГЭС и составляет 26600 сом за 1 кВт установленной мощности, без учета стоимости строительно-монтажных работ.

Основные положения, выносимые на защиту:

- анализ электрических нагрузок сельскохозяйственных потребителей и суточный график потребления электроэнергии;
- обзор и структурная схема ныне существующих стабилизаций выходных параметров генерируемой электроэнергии;
- двукратная турбина и ее исследование;
- математическая модель трехфазного автономного АГС, базирующаяся на уравнении идеализированной АД, совместно с уравнением емкостной нагрузки, приведенной Г-образной схемы замещения;
- инвертор напряжения сети;
- технико-экономическое обоснование автономных систем выработки электроэнергии (АСВЭЭ).

Личный вклад соискателя заключается в реализации главных задач исследовательских работ, таких как обоснование состава и структуры микро-

ГЭС с использованием ИНС, разработка математических моделей и методологий расчета, выполнение и организация лабораторных, промышленных испытаний, также планирование и проведение тестов, анализ и обобщение итогов исследований, формулировка выводов.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований докладывались и обсуждались на международных республиканских научно-практических конференциях: Таджикском техническом университете (г.Душанбе, 2013, 2016 гг.), Кыргызском государственном техническом университете на 59-й НКТ молодых ученых, аспирантов и студентов, «Молодой ученый – вызовы и перспективы» (Бишкек, 2017 г.).

Публикации: По материалам диссертационной работы опубликовано 8 научных трудов, из них 2 научные статьи единолично в зарубежных изданиях, входящих в РИНЦ, 2 свидетельства КР на полезную программу и 1 патент на полезную модель.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, библиографического списка использованной литературы из 56 наименований и 2 приложений. Работа изложена на 143 страницах машинописного текста, содержит 73 рисунка и 30 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы работы, сформулированы цель и задачи исследования, указаны методы исследования, определена научная новизна и практическая ценность результатов исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту.

В первом разделе на основе анализа литературных источников дается оценка современного состояния энергетики КР и перспектива развития нетрадиционной энергетики на базе использования возобновляемых источников энергии (ВИЭ) для электроснабжения сельскохозяйственных потребителей в удаленных районах и прежде всего сельскохозяйственных объектов малой мощности.

Из-за сложности транспортировки, труднопроходимостью дорог, повышение цен на топливо многие объекты остаются необеспеченными теплом и электроэнергией в необходимом объеме. Всё это отрицательно влияет как на отдалённые районы, так и на туристические и скотоводческие объекты нашей страны. Малая энергетика в ряде случаев позволяет решить вопрос с недорогим локальным электроснабжением, вместо строительства дорогих линий и подстанций в отдаленных и горных регионах.

Гидроэнергетический потенциал малых рек и водотоков составляет порядка 5-8 млрд. кВт·ч в год, из которых республика использует менее 1%.

Целесообразность строительства малых гидроэлектростанций основывается на реальных возможностях, учитывающих следующие позитивные экономические, технические, социально-политические, экологические аспекты развития экономики страны:

1) экономические:

- себестоимость выработки электрической энергии, которая при отсутствии топливной составляющей, ниже существующей генерации энергии (например, теплоэлектроцентраль);
- низкие удельные капиталовложения, не требующие строительства плотин и необходимости прокладки протяженных дорогостоящих линий электропередачи (ЛЭП), в том числе в труднодоступных районах;
- за короткое время можно получить электроэнергию;

2) технические и технологические:

- не требуется использование большегрузной автомобильной техники, строительства дорог, необходимых при строительстве плотин и другой инфраструктуры;
- простота регулирования режимов эксплуатации;
- низкие технические потери при транспортировке электроэнергии;

3) экологические:

- практически не затрапываются земельные угодья, сохраняется естественность почвы (не засоляется и не подвергается эрозиям), животного мира, растений и лесов;
- сохранение качества воды, используемой для коммунальных нужд и орошения, а также экологического равновесия;

4) социальные:

- электрификация населенных пунктов, где трудно доступны основные коммуникации.
- создаются новые рабочие места и привлекаются рабочие силы для более эффективных использований существующих производств;
- усовершенствование жизнедеятельности населения на социально-бытовом уровне.

Стоимость установки оборудования микро-ГЭС достигла до 611 долл. за 1 кВт и 1200 долл. за 1 кВт с учетом строительно-монтажных работ. Следует отметить, что приведенные затраты на микро-ГЭС и другие их энергоэкономические показатели могут быть существенно улучшены при осуществлении конкретного проектирования и строительства.

Это может достигаться путем унификации проектов сооружений и оборудования, максимальным использованием местных стройматериалов и присутствия строительных организаций и полной автоматизации функционирования микро-ГЭС.

Анализ электрических нагрузок проведен на примере хозяйств КР животноводческого направления.

В результате обследования, дана классификация величин установленной мощности электрооборудования частных подсобных и фермерских хозяйств. Для различных типов хозяйств определена установленная мощность электрооборудования на фермах в зависимости от объемов производства, число часов использования и годовое потребление электроэнергии, что позволяет определить параметры микро-ГЭС.

Выбор рода тока, номинального значения напряжения, частоты, количества фаз и проводов принимается с учетом требований потребителей, по заданным условиям, технике безопасности, режиме работы АСВЭЭ в общем. При разработке АСВЭЭ нужно достигнуть обеспечения наибольшей электромагнитной совместимости устройств и приборов. При всем этом следует, насколько возможно, исключить преобразователи, так как их использование влияет на себестоимость системы электроснабжения.

Создание современных автоматизированных микро-ГЭС направлено на применение нерегулируемых гидроагрегатов и повышения требований к устройствам выработки электрической энергии и стабилизации основных параметров. Во многих случаях потребители электрической энергии располагаются рядом с водотоком с небольшим уклоном. Поэтому для того, чтобы микро-ГЭС работала эффективно, требуется строить плотины или протяженные водоводы для создания нужного напора, т.к. гидротурбины производятся заводом изготовителем на определенный напор и расход воды. Однако, гидротурбины имеющие сложную конструкцию могут изготавливаться только в специализированных заводах и это увеличивает себестоимость микро-ГЭС в целом.

Составляющими любого микро-ГЭС является водозаборные устройства, водоподводящие и водоотводящие системы, затворные аппаратуры, гидродвигатели, электромашинные генераторы и система автоматического управления выходных параметров гидрогенератора, коммутационные защитные аппараты, балластные нагрузки и т.д. (рис. 1).

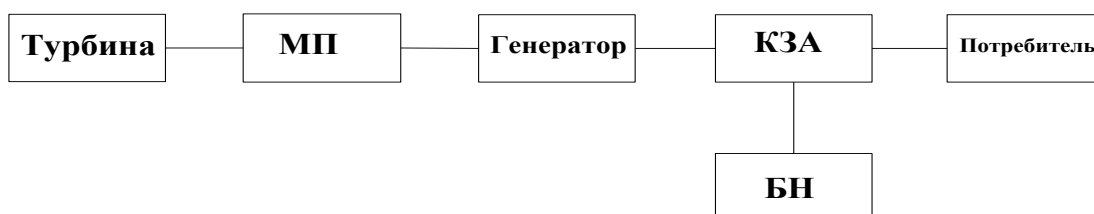


Рис. 1. Основные установки микро-ГЭС

Микро-ГЭС отличаются большим разнообразием конструктивных исполнений. Они могут строиться, как и более мощные станции, с использованием плотины, могут быть деривационного или руслового типа с использованием напорного трубопровода или канала.

Из рассматриваемой литературы можно заключить, что для преобразования энергии потока воды в механическую, для вращения вала генератора микро-ГЭС, применяются все типы гидротурбин: поворотно-лопастная, пропеллерная, радиально-осевая, ковшовая, капсульная, импульсная, осевая, турбина с наклонно и горизонтальной осями вращения и т.п..

Самой надежной, эффективной и простой в конструктивном решении является двукратная турбина Банки. Она обладает рядом положительных

качеств: конструктивная и технологическая простота делает турбину относительно дешевой; высокий КПД (выше 80%) находится в широком диапазоне расходов $[(0,16—1,0)Q_{\max}]$ полная автоматизация и простота обслуживания; гарантируемый срок надежной работы около 30—40 лет.

Все это позволяет считать двукратные турбины конкурентоспособными по отношению к турбинам других типов.

Основным показателем качества вырабатываемой источником электроэнергии является параметр выходного напряжения, характеризующийся номинальной величиной и заданной частотой. Важным составляющим энергоустановки, для обеспечения стабильного выходного напряжения и устойчивого режима гидроагрегата, является система стабилизации. Рассмотрены ныне существующие виды стабилизации выходных параметров электроэнергии.

Анализируя характеристики асинхронного и синхронного генераторов, можно прийти к выводу, что для потребителей электроэнергии малой мощности, как источника электропитания, целесообразнее принимать на вооружение АГС, так как они отвечают заданным требованиям, которые предъявляют потребители: отличное качество выходного напряжения, небольшая масса, сравнительно малая стоимость, простота сборки, высокая надежность и простота обслуживания. В настоящей работе предлагается использование трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором общепромышленного использования в качестве генератора для АСВЭЭ. Есть возможность создавать АГС на основе двигателей, совмещающихся с разными первичными двигателями. Промышленностью выпускаются разнообразные по типу исполнения, скорости вращения АД.

Второй раздел посвящен вопросам математического моделирования и методике расчета основных элементов микро-ГЭС:

1. Подробно рассматривается двукратная турбина. Поток, поступающий из подводящего устройства, попадает на рабочее колесо и, протекая от периферии к центру, отдает около 70—80% полезной энергии. Лопasti колеса имеют такую форму, что при сходе поток обладает еще значительной кинетической энергией. Двигаясь внутри колеса, он вновь попадает на лопасти изнутри и при центробежном течении отдает еще около 20—30% энергии. Таким образом, струя воды проходит через лопастную решетку рабочего колеса 2 раза. Поскольку двукратная турбина является активной, ее можно использовать для широкого диапазона напора (рис.2).

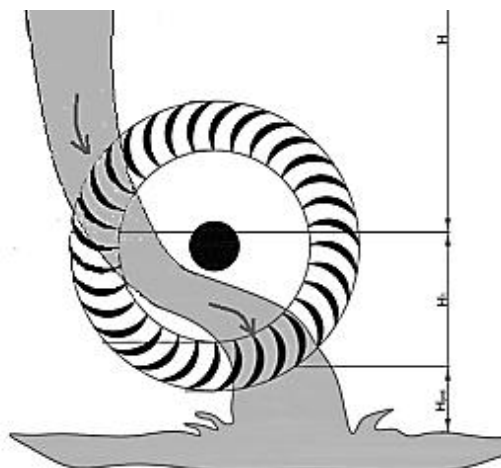


Рис. 2. Двукратная турбина

2. Разработана расчетная модель двукратной турбины, позволяющая определить КПД в зависимости от числа, профиля лопаток и типа направляющего аппарата.

3. Установка для эксперимента исследования работы АД в режиме генератора.

4. Применение асинхронных генераторов для микро-ГЭС.

Стоимость микро-ГЭС может быть снижена за счет установки асинхронных генераторов с самовозбуждением.

На экспериментальном стенде имеется асинхронный двигатель, двигатель постоянного тока, батареи конденсаторов, устройства питания, контролирующие аппараты, измерительные приборы. Принципиальная электрическая схема представлена на рис.3.

Двигатель постоянного тока питается через автотрансформатор Тр.1 и двух полупериодный выпрямитель (Д1 - Д4). В якорной цепи и цепи обмотки возбуждения стоят контролирующие приборы РА1, РА2, РVI. Выключатель SI служит для подачи напряжения на устройство питания двигателя постоянного тока. Резистор RI, включенный в цепь обмотки возбуждения, предназначен для изменения скорости вращения машины. Менять скорость вращения, а также обеспечивать плавный пуск позволяет Тр.1, при помощи которого можно регулировать напряжение, подводимое к двигателю.

Двигатель постоянного тока приводит во вращение асинхронную машину типа 4ААМ564УЗ. Возбуждение асинхронного генератора происходит при помощи батареи статических конденсаторов (С1-С3). Величина емкости, включенной в каждой фазе, может ступенчато меняться (на схеме не показано). К обмотке статора асинхронного генератора (АГ) подключен измерительный комплект К51, позволяющий измерять токи, напряжения и мощности каждой фазы, т.е. I_a ; I_b ; I_c ; U_a ; U_b ; U_c ; P_a ; P_b ; P_c .

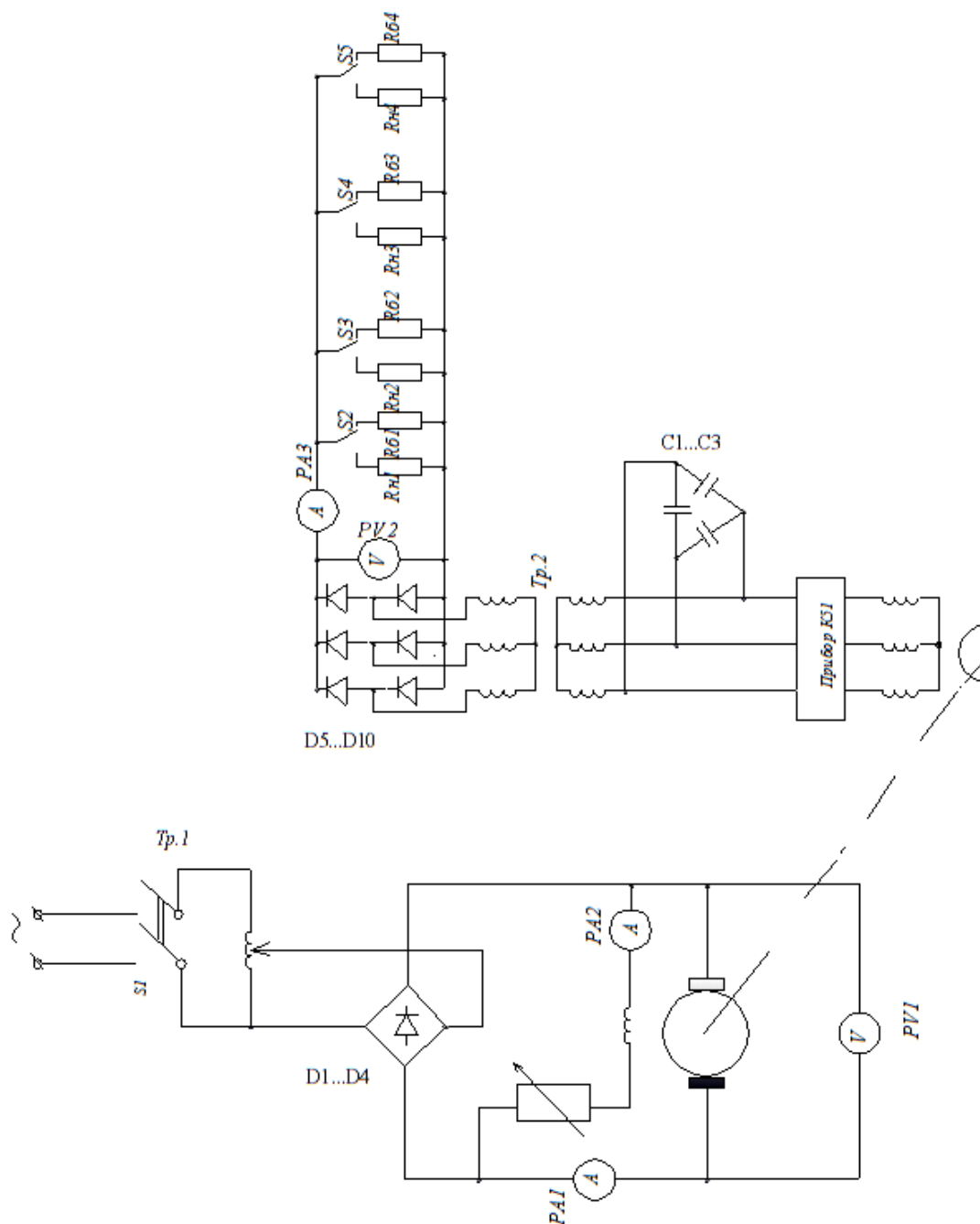


Рис. 3.Схема испытательной установки

Частота вращения измеряется при помощи часового тахометра. Нагрузка, подключаемая к генератору, носит чисто активный характер, и представляет собой активные резисторы, сопротивление которые могут изменяться. Для получения заданных по ТЗ выходных параметров генератора, нагрузка подключена к нему через понижающий трансформатор Тр.2 и трехфазный выпрямитель Д5...Д10. В цепь нагрузки включены вольтметр PV2 и амперметр PA3.

Для поддержания постоянных параметров на выходе при дискретно меняющейся нагрузке R_n , схема предусматривает возможность ступенчатого подключения балластных сопротивлений R_6 .

Разработана математическая модель автономного трехфазного асинхронного генератора с самовозбуждением, базирующаяся на уравнениях идеализированной асинхронной машины с неизменными коэффициентами вместе с уравнениями емкостной нагрузки приведенной Г-образной схеме замещения и балансировке мощностей.

Предлагаемая методика расчета характеристик АГС, основанная на переход приведенной (рис.4б) с Г-образной схемы замещения (рис.4а), равенство активных и реактивных мощностей. Для расчета рабочей характеристики АГС приняты основные формулы по данным источника [19].

Определяем сопротивление приведенной схемы замещения (рис. 4) используя параметры Г-образной схемы замещения (рис.4 а), вычисленных по выше изложенной методике.

r_k - активное и x_k - реактивное сопротивление к.з. Г-образной схемы замещения, по преобразованной Г-образной схеме замещения (рис.4б), определяемые по выражениям:

$$R_0 = 4r_1 + r_\mu \frac{(x_1 + x_\mu)^2}{r_1 + r_\mu} \quad (1)$$

$$X_0 = 4x_1 + x_\mu \frac{(x_1 + x_\mu)^2}{r_1 + r_\mu} + \dots \quad (2)$$

$$\begin{cases} i_\mu = i_1 - i'_2 \\ \dot{E}_1 - i_1(r_1 + jx_1) = \dot{U}_{12} \\ \dot{E}'_2 - i'_2(jx'_2 - r'_2/s) = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$r_k = c_1 r_1 + c_1^2 r'_2 / s \quad (4)$$

$$x_k = c_1 r_1 + c_1^2 x'_2 \quad (5)$$

Полное сопротивление Z_0 намагничивающей цепи Г-образной схемы замещения определяем:

$$Z_0 = r_1 + r_\mu + j(x_1 + x_\mu) \quad (6)$$

От частоты напряжения зависят индуктивное сопротивление, ЭДС и емкостные сопротивления конденсаторов, из-за чего при уточнении их значений в расчетах используем относительную частоту F , вычисляемая по формуле:

$$F = \omega_1 / \omega_0 \quad (7)$$

По формулам (1) и (2), определяют активное R_0 и реактивное X_0 сопротивлений преобразованных Г-образной схеме замещения, где x_1 и x_μ умноженные относительной частотой F .

Обозначая через R в эквивалентной схеме замещения (рисунок 4в) параллельного соединения $r_{нз}$ и R_0 , получим:

$$R = \frac{r_{нз} R_0}{r_{нз} + R_0} \quad (8)$$

С использованием метода модулей, находим активное R_ε и реактивное X_ε сопротивление в эквивалентной схеме замещения:

$$R_\varepsilon = \frac{F^2 x_k^2 + r_k^2}{r_k} + R = 0 \quad (9)$$

$$X_\varepsilon = \frac{F X_0 (F^2 x_k^2 + r_k^2)}{r_k^2 + x_k (x_k + X_0)} \quad (10)$$

По (рис.4 в) установившийся режим определяется равенством активных и реактивных проводимостей. Учитывая активные проводимости ($R = R_\varepsilon$) (5) находим:

$$\frac{F^2 x_k^2 + r_k^2}{r_k} + R = 0 \quad (11)$$

Подставляя, значение r_k решаем относительно s :

$$s = - \frac{2c_1^2 r_2'}{2c_1 r_1 + R \pm \sqrt{R^2 - 4F^2 x_k^2}} \quad (12)$$

Величину $4F^2 x_k^2$ можно не учитывать относительно R^2 , в итоге:

$$s = - \frac{c_1^2 r_2'}{c_1 r_1 + R} \quad (13)$$

Второе значение $s = - \frac{c_1^2 r_2'}{r_1}$ характеризует неустойчивую часть работы АГС.

Подставляя уравнение (13) в выражение (11), находим установившуюся частоту колебаний в цепях статора АГС:

$$\omega_1 = \omega_p \frac{c_1 r_1 + R}{c_1 r_1 + c_1^2 r_2' + R} \quad (14)$$

Учитывая уравнение (13), выражения (9) и (10) получим:

$$R_\varepsilon = - \frac{F^2 x_k^2 + R^2}{R} + R \quad (15)$$

$$X_\varepsilon = - \frac{F X_0 (F^2 x_k^2 + R^2)}{R^2 + F^2 x_k (x_k + X_0)} \quad (16)$$

Величину X_0 определяем, с учётом соотношения реактивных проводимостей $FX_0 = x_c/F$, характеристик нагрузки и схемы замещения. Учитывая уравнения получим:

$$F^2 X_0 \frac{R^2 + F^2 x_k}{R^2 + F^2 X_0 x_k + F^2 x_k} = x_c$$

или

$$X_0 = \frac{1}{F^2} \frac{1}{\frac{1}{x_c} - \frac{x_k}{R^2 + F^2 x_k}} \quad (17)$$

Значение фазного напряжения находим преобразовывая уравнение (3):

$$U_1 = FE_1 - I_1(r_1 \cos \varphi + x_1 \sin \varphi) \quad (18)$$

При равенстве сумме тока, протекающий параллельно соединенных сопротивлений конденсатора и нагрузки, фазный ток равен:

$$I_1 = U_1 \frac{\sqrt{R^2 + x_c^2 / F^2}}{R_{xc}} \quad (19)$$

С учетом приведенной схемой замещения параллельно соединенных $r_{нг}$ и x_c находим коэффициент мощности генератора:

$$\cos \varphi_\Gamma = \frac{x_c / F}{\sqrt{R^2 + x_c^2 / F^2}} \quad (20)$$

К тому же

$$\sin \varphi_\Gamma = \frac{x_c / F}{\sqrt{R^2 + x_c^2 / F^2}} \quad (21)$$

Подставляя в уравнение (14) выражения (19)-(20), находим фазное напряжение АГС:

$$U_1 = \frac{FE_1}{1 + \frac{r_1}{R} + \frac{x_1}{x_c} F^2} \quad (22)$$

В Г-образной схеме замещения АГ, учитывая уравнения, значение тока главной цепи определим выражением:

$$I_2'' = \frac{U_1}{\sqrt{r_k^2 + F^2 x_k^2}} = \frac{U_1}{\sqrt{R^2 + F^2 x_k^2}} \quad (23)$$

Полезную фазную мощность АГС определим по уравнению:

$$P_{2\Gamma} = \frac{U_1^2}{r_{нг}} \quad (24)$$

Учитывая выражения (23) и (24) найдем КПД АГС по приведенной схеме замещения:

$$\eta_{\Gamma} = \frac{P_{2\Gamma}}{P_1} = \frac{P_{2\Gamma}}{\frac{U_1^2}{R} + \frac{U_1^2}{R_3}} = \frac{P_{2\Gamma}}{P_{2\Gamma} + \frac{U_1^2}{R_3} + I_2'^2 R + P_{\text{мех}}} \quad (25)$$

С учетом зависимости напряжения и первичной частоты АГС от нагрузки, возможно определения остальных рабочих характеристик.

Для расчета рабочих характеристик АГС, используем параметры Т и Г-образной схемы замещения, позволяющие анализировать изменение следующих значений: напряжение и ток статора, скорость вращения ротора, вращающий момент, скольжение и частота, КПД генератора, который зависит от значения мощностей и характеров нагрузки, различающихся от емкостей возбуждающих конденсаторов. На базе исследований проектируется ИНС и выбирается алгоритм управления выходными параметрами генерируемой АГС электроэнергии.

На (рис. 4) показаны Т и Г-образные схемы замещения АГС. Т-образная - режим холостого хода (рис. 4. а), Г-образная - режим нагрузки (рис. 4. б, в) схемы замещения. Противодействия внешней цепи представлены в виде одновременно соединенных активных сопротивлений $r_{н2}$ и индуктивной $jx_{н2}$ составляющей нагрузки и конденсатора возбуждения. А Т-образная схема замещения АГС в установившемся режиме соответствует системе уравнений.

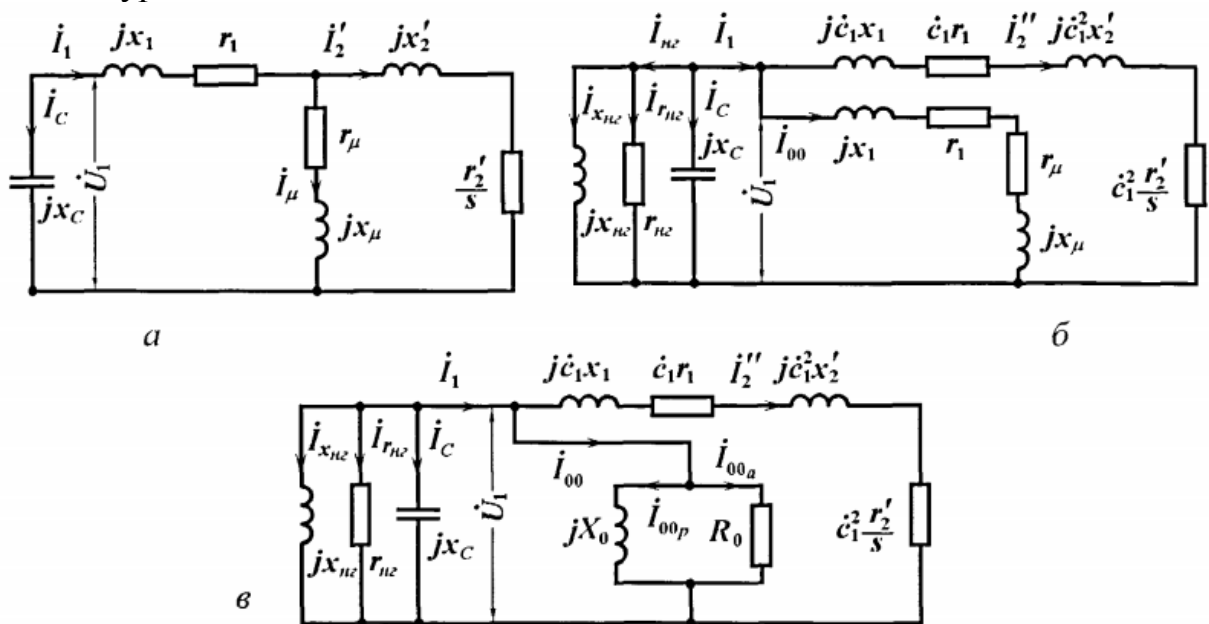


Рис. 4. Схемы замещения асинхронного генератора с самовозбуждением:
а - Т-образная; б, в- Г-образная

В третьем разделе на основе анализа различных видов стабилизации выходных параметров электроэнергии рассматриваются недостатки ныне существующих микро-ГЭС с автобалластной нагрузкой. Эта проблема решается способом стабилизации основных параметров микро-ГЭС, заключающейся в регулировании величины нагрузки, включением на выход генератора «Инвертора напряжения сети» (ИНС).

Основными показателями качества электроэнергии являются характеристики выходного напряжения и частоты электрического тока. Поэтому, важнейшим элементом электроустановки является стабилизирующая система, обеспечивающая устойчивый режим работы генератора и стабилизация его выходных параметров. На основании технико-литературных данных в первом разделе определили параметры электрической энергии, генерируемой АГС, для снабжения электричеством сельскохозяйственных потребителей.

Экспериментальным путем была зафиксирована скорость вращения ротора АГ, присоединенного через передачу к двукратной турбине, при отсутствии потребляемой нагрузки, частично, и в целом. При втором случае разгон скорости был в 1,7 – 1,8 раза выше номинального и не достигал значения 2-х кратного разгона. При этом соответственно увеличилась частота электрического тока и напряжения. Однозначно, что при полном отсутствии балластной нагрузки и частичного использования электроэнергии потребителем, разгон скорости вращения ротора АГ не превысил значения 1,8 раза.

Принцип работы ИНС (рис. 5.). На трехфазную сеть подается переменные значения тока, напряжения и частоты на блок коммутации (БК). Преобразованные значения через фильтр накопитель (ФН) и фильтр выходной (ФВ) подается к нагрузке.

Блок управления(БУ), посредством блока преобразования напряжения (БПН), осуществляет измерение параметров входной сети и формирует управляющий сигнал на БК. Выпрямленное напряжение поступает на фильтр-накопитель.

Постоянное напряжение на входе фильтра контролируется БК и дается разрешающий сигнал на формирование синусоидального напряжения.

Формирователь преобразует постоянное напряжение в синусоидальное с заданными параметрами (частоты и амплитуды). Сформированное синусоидальное напряжение поступает к нагрузке через выходной фильтр.

Если величина выходного тока превышает заданное допустимое значение, то блок управления дает запрет на формирование синусоидального напряжения и обесточивает нагрузку, тем самым обеспечивает защиту устройства от выхода из строя.

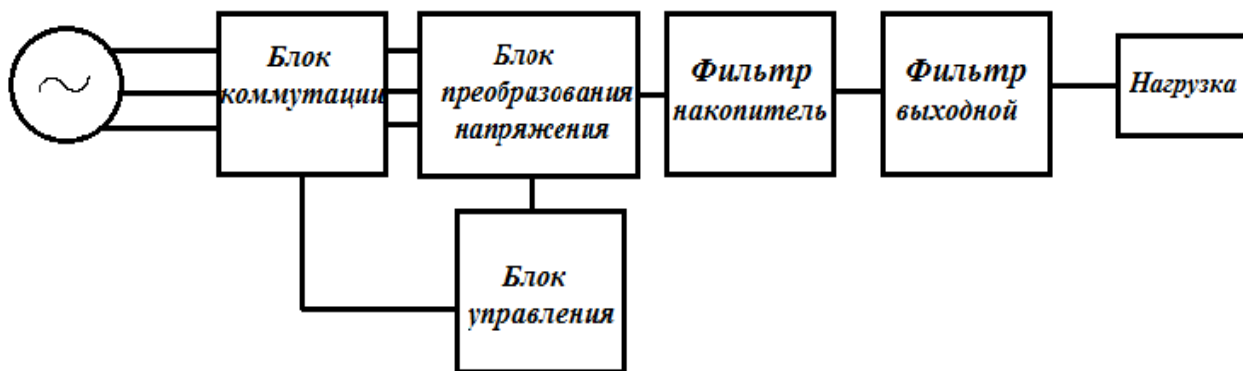


Рис. 5. Базовые функциональные возможности

Системные требования для программы:

Операционная система: Windows 98 – 2003.

Размер исполняемого файла: до 14 кБ. Размер жесткого диска: до 1 кБ.

Дополнительное оборудование: интерфейсные элементы, выполненные в соответствии с международным стандартом RF232.

Язык программирования: C++.

Назначение разработки ИНС

Изделие ИНС20 обеспечивает:

- постоянное измерение параметров питающей сети (ток, напряжение) по каждой фазе и отводимой потребителю:

- величины напряжения в диапазоне 0 ... 380 В (4 сигнала),

- величины силы тока в диапазоне 0 ... 20 А (1 сигнал),

- накопление энергии на накопителе,

- формирование однофазного напряжения переменного тока в диапазонах:

- напряжение - 188...220...242 В,

- ток - 0...20 А,

- частота - 50 ± 1 Гц,

- коэффициент гармоник не более 5 %.

- отключение потребителя от сети в случае выхода напряжения питания за пределы диапазона 160...260 В,

- отключение потребителя от сети 220 В 50 Гц в случае превышения потребляемого тока свыше 20 А,

- накопление аварийных значений входящей трехфазной сети, выходящей однофазной сети (измеренных параметров - ток, напряжение) и осуществленных действий во встроенной Flash памяти.

- выдача накопленных параметров внешнему оператору по радиоканалу 2,4 Гц,

- прием команд и командных данных от внешнего оператора по радиоканалу 2,4 Гц,

- разработка системы автоматизированного управления и моделирования на MATLAB.

На основании анализа, наиболее эффективным методом стабилизации параметров генерируемой электрической энергии является - регулирование напряжения на выходе асинхронного генератора с помощью ИНС.

На основе вектора состояния матрицы выполняется математический анализ преобразователя. Полученные уравнения в матричной форме решаются с использованием программы MATLAB. Результаты исследования подтверждаются с помощью компьютерного моделирования преобразователя на программе SIMULINK.

Сигналы GS1-GS6, включенные в функцию передачи матрицы FT, создаются в блоке Subsystem2. Его электрическая схема показана на рис. 6.

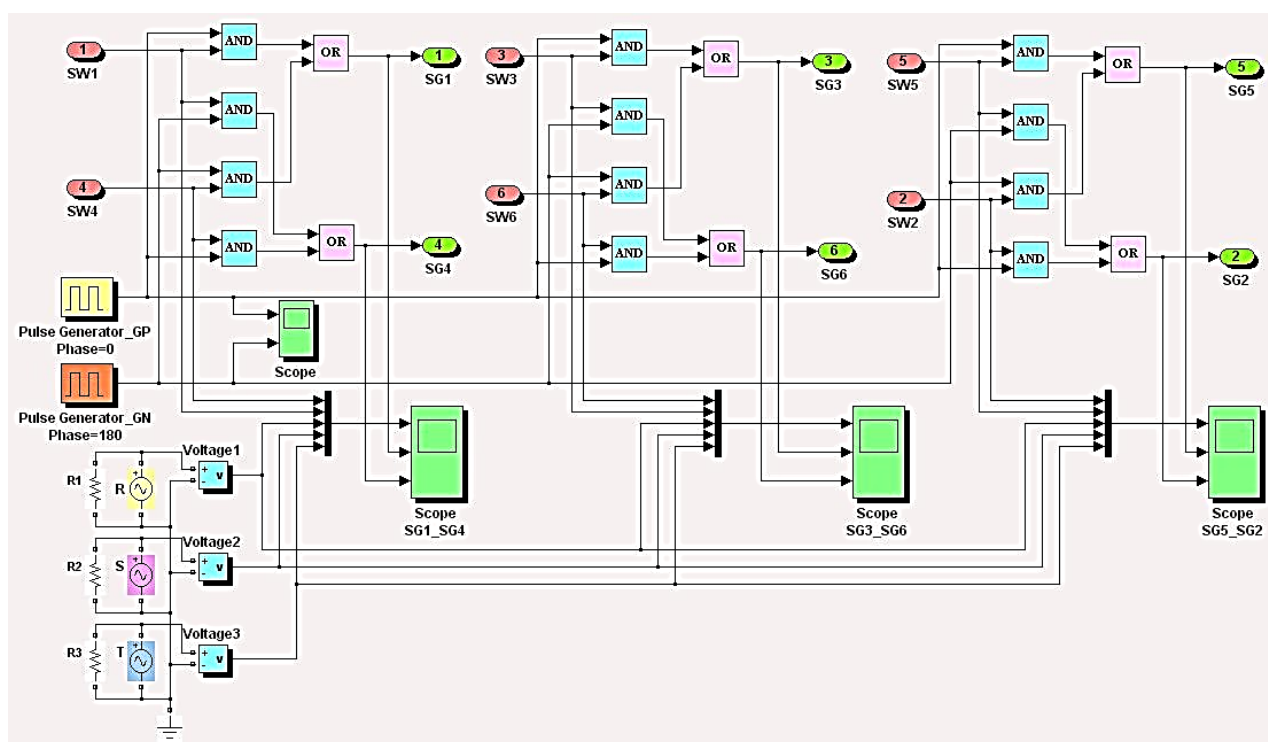


Рис. 6. Электрическая схема для создания передаточной функции FT

Функциональные генераторы Pulse Generator - GP и Pulse Generator - GN создают сигналы передаточной функции преобразователя F_i . Результаты моделирования для трехфазного напряжения питания, выходного напряжения и выходного тока матричного преобразователя показаны на рис. 7.

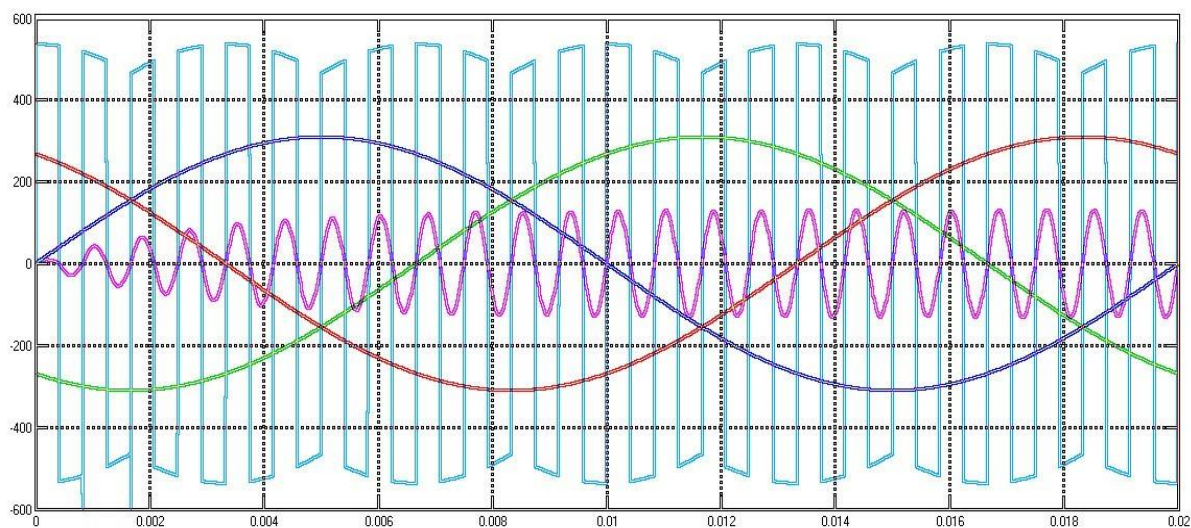


Рис. 7. Результаты компьютерного моделирования

Синусоидальный характер выходного тока представлен для выбранной RLC-нагрузки. Рис.8. иллюстрирует полную достоверность между математическим моделированием с использованием MATLAB и имитацией выходного напряжения V_{out} SIMULINK.

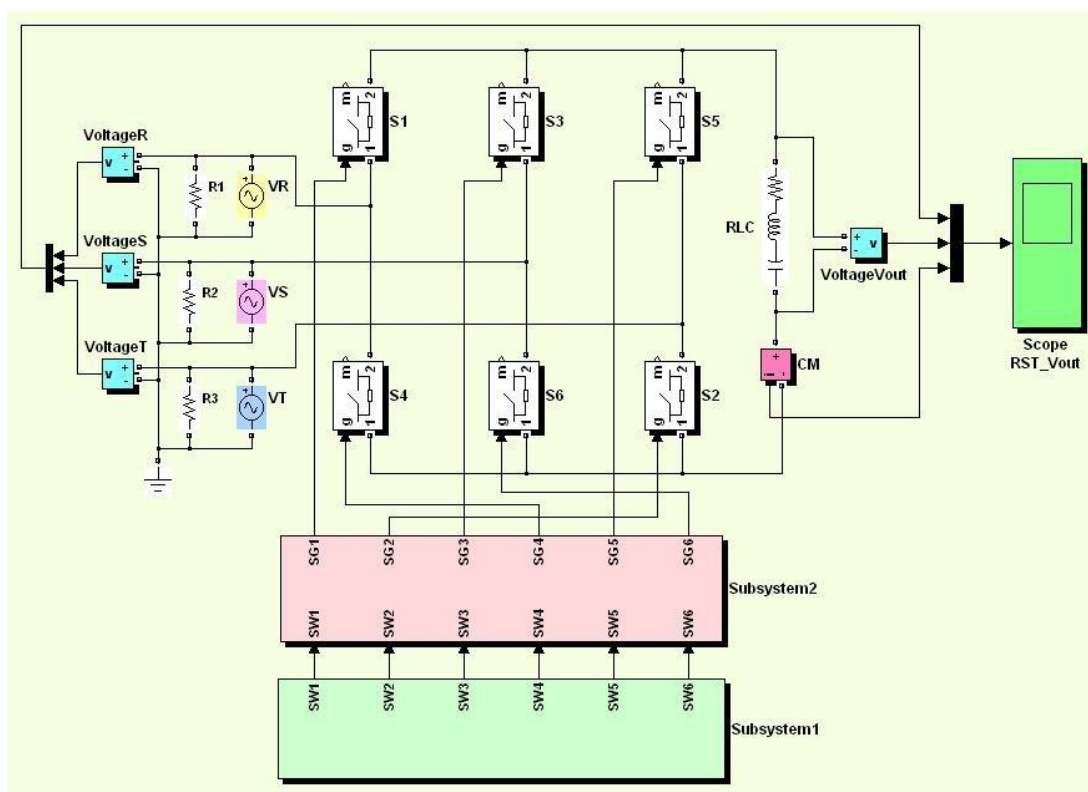


Рис. 8. Электрическая схема матричного преобразователя, представленного в SIMULINK

Получены математические зависимости, описывающие работу трехфазного, однофазного матричного преобразователя с более высокой

частотой. Выражения пригодны для компьютерного моделирования независимо от типа выходной нагрузки. Результаты моделирования с использованием программного продукта MATLAB демонстрируют эффективную работу преобразователя с помощью исследуемого резонансного контура серии нагрузок.

Разработка комплексной методики расчета основывается на методах указанных во втором разделе:

- расчет и оптимизация параметров двукратной турбины;
- определение параметров схем замещения АД;
- расчет рабочей характеристики автономного АД, работающего в режиме генератора.

Основным преимуществом предлагаемой модели микро-ГЭС является отказ от традиционной стабилизации выходных параметров генерируемой электроэнергии с балластной нагрузкой. В качестве примера приводится сравнительная стоимость оборудования микро-ГЭС мощностью 5 кВт без строительной части и вспомогательных систем.

Для сравнения берем классический вариант микро-ГЭС, состоящий из турбины (пропеллерные, ковшевые и т.д.), механическая передача (МП), синхронного генератора (СГ) и блока регулирования, предназначенный для согласования режимов выработки электроэнергии с подключением балластной нагрузки (БН), показана на рис. 9.

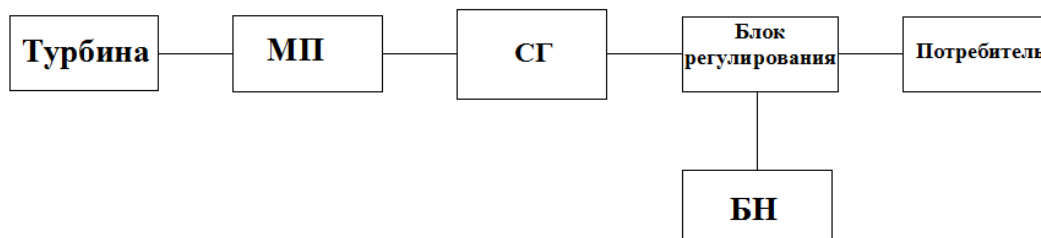


Рис. 9. Структурная схема микро-ГЭС с балластной нагрузкой

Таким образом, применение АГС для микро-ГЭС с ИНС (рис. 10) позволяет получить экономичное решение для изолированных потребителей электроэнергии.



Рис. 10. Микро-ГЭС с АГС и ИНС

В качестве балластной нагрузки обычно используют трубчатые электрические нагреватели (ТЭН). На рис. 11 показана схема подключения балластной нагрузки по фазам, регулируемая переключением R_{A1} - R_{A5} , R_{B1} - R_{B5} , R_{C1} - R_{C5} мощностью 2х100,200, 300, 400 и 500 Вт, которые позволяют

догрузить электрогенератор, который работает с недостаточной и нерегулярной нагрузкой.

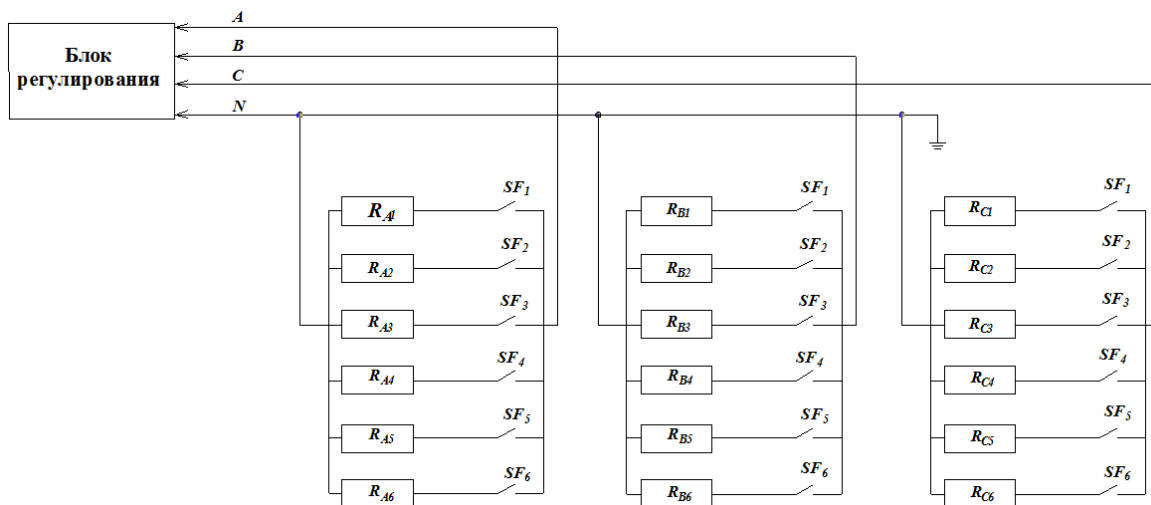


Рис. 11. Подключение балластной нагрузки в сеть

Ниже в таблицах 1 и 2 приведены средние значения стоимости основных узлов, элементов и устройств микро-ГЭС в обычном исполнении и с АСГ и ИНС (рис. 12.).

Таблица 1– Стоимость оборудования микро-ГЭС в обычном исполнении.

Наименование	Стоимость, сом
Генератор (СГ)	49000
Турбина	125000
Блок регулирования	35000
Балласт (ТЭН)	20000
Всего	171000
Удельная стоимость	42200 сом/ кВт (611 долл./кВт)

Таблица 2 – Стоимость оборудования микро- ГЭС с АСГ и ИНС.

Наименование	Стоимость, сом
Генератор	16000
Турбина	90000
ИНС	7000
Всего	113000
Удельная стоимость	22600 сом/ кВт (327 долл./кВт)

Дальнейшим развитием в использовании асинхронных генераторов для малых ГЭС является применение ИНС. В этом случае гидротурбина может работать с переменной частотой вращения при изменениях напоров и

нагрузок в зоне оптимума КПД без регулятора частоты вращения. Самовозбуждение асинхронного генератора обеспечиваются теми же способами, что и в предыдущей схеме, а поддержание постоянной частоты тока на выходе обеспечивается инвертором, управляемым специальным регулятором на микропроцессорах.

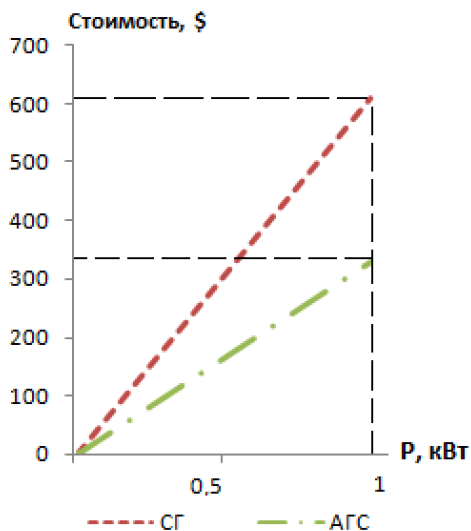


Рис. 12. Зависимость стоимость оборудования с СГ и АГС

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе выполнена задача создания эффективных, безбалластных, автоматизированных микро-ГЭС, которые предназначены для энергоснабжения автономных сельскохозяйственных потребителей малой мощности оснащенные системами стабилизации частоты и напряжения, не зависимо от процента потребляемой полезной нагрузки.

Экспериментальным путем была зафиксирована скорость вращения ротора АГ, присоединенного через ременную передачу к двукратной турбине, при отсутствии потребляемой нагрузки частично, и в целом. При втором случае, разгон скорости достигал в 1,7 – 1,8 раза выше номинального и не достигал 2-х кратного разгона. При этом частота электрического тока и напряжения увеличивалась соответственно. Однозначно, что при полном отсутствии балластной нагрузки и частичного использования электроэнергии потребителем, разгон скорости вращения ротора АГ не превысит 1,8 раза.

Как показала практика, более 85% потребителей электроэнергии автономной генерации, предпочитают однофазную сеть, так как бытовые потребители рассчитаны на однофазную сеть.

Выработка электроэнергии АГС с использованием ИНС не только уменьшит стоимость микро-ГЭС, но и делает более удобным в использовании потребление электроэнергетических мощностей для автономных однофазных потребителей, тем самым, исключая возможности

несимметричного подключения нагрузки потребителям, не имеющих классификацию в электроэнергетике.

Недостатком является повышение температуры АГ при холостом ходе, что приводит к разрушению изоляции на обмотках статора. Этого явления можно избежать при подключении термореле к обмотке статора АГ. В этом случае, при длительном использовании АГ в режиме холостого хода, термореле отключает систему возбуждения (блок конденсаторных батарей), а после естественного охлаждения опять включается возбуждающие конденсаторы.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. **Касмамбетов Х.Т.** Построение и расчет характеристик прямоугольно-ступенчатого напряжения инверторов [Текст] / Касмамбетов Х.Т.// Вестник Таджикского технического университета, 2013, №1(21). - С. 41-45.

2. **Касмамбетов Х.Т.** Аналитические зависимости выходных характеристик выпрямителей с активно-емкостной нагрузкой и их определение [Текст] /Касмамбетов Х.Т.//Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова, 2013, Т.29. - С. 70-75.

3. **Касмамбетов Х.Т.** Сокращение эмиссии с помощью гидроиригационных насосов [Текст] / Касмамбетов Х.Т.//Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова, 2012, Т.26. - С. 87-91.

4. **Касмамбетов Х.Т.** Микро-ГЭС на основе асинхронных генераторов [Текст] / Касмамбетов Х.Т. //Вестник Таджикского технического университета, 2016, Т.2. №2. - С. 13-20.

5. **Касмамбетов Х.Т.** выбор критериев оптимальности электрооборудования в сельском хозяйстве [Текст] / Касмамбетов Х.Т. Рырсаалиев А.С.// Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова, 2012, №27. – С.113- 116.

6. **Свидетельство 271** Кыргызская Республика, Симметрирующее устройство для однофазных потребителей в распределительных электрических сетях 0,4 кВ [Текст] / Б.И. Сариев, Х.Т. Касмамбетов; № 20130008.6; заявл. 08.05.2013; опубл. 31.07.2013, Бюл. № 7(172).- 2 с.

7. **Свидетельство 272** Кыргызская Республика, Трехфазный преобразователь напряжения со стабилизацией выходных параметров однофазной сети переменного тока [Текст] / Х.Т. Касмамбетов, Б.И. Сариев; № 20130009.6; заявл. 17.05.2013; опубл. 31.07.2013, Бюл. № 7(172).- 2 с.

8. **Патент 187** Кыргызская Республика, МПК H02J/ 26. Устройство для автоматического переключения однофазных потребителей [Текст] / Х.Т. Касмамбетов, Б.И. Сариев, М.А. Суеркулов, З.Э. Абдиева; № 2014004.2; заявл. 27.06.2014; опубл. 31.07.2015, Бюл. № 7(196).- 15 с.

РЕЗЮМЕ

диссертации Касмамбетова Хусейна Талантбековича на тему: «Разработка низконапорной микро-ГЭС для сельских потребителей с автоматической стабилизацией параметров генерируемой электроэнергии» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.20.02 - Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве.

Ключевые слова: микро-ГЭС, сельскохозяйственные потребители, возобновляемый источник энергии, гидроресурсы, стабилизация, частота, напряжение, асинхронный генератор, двукратная турбина, инвертор напряжения сети.

Объект исследования: низконапорная микро-ГЭС с автоматической стабилизацией параметров генерируемой электроэнергии для сельских потребителей.

Цель исследования: Разработка микро-ГЭС для автономных, сельскохозяйственных потребителей со стабильными параметрами электроэнергии без балластной нагрузки, не зависящей от разгона ротора гидрогенератора с однофазным выходом и отработка их на опытных образцах.

Методы исследования: В работе применялись физическое и математическое моделирование. Теоретические данные проверялись при тестированиях макетных, опытных и работающих образцов микро-ГЭС и их частей.

Научная новизна:

Разработан инвертор напряжения сети и управляющая программа на базе передовых ПК с использованием алгоритмов и многофункциональных модулей к «Инвертору напряжения сети» (ИНС), позволяющая стабилизировать выходные параметры генерируемой электроэнергии с однофазным выходом, без использования балластной нагрузки

Полученные результаты: Разработана основа проектирования низконапорных микро-ГЭС на базе двукратной турбины, асинхронного генератора с самовозбуждением, инвертора напряжения сети, предназначенных для электроснабжения автономных сельскохозяйственных потребителей дешевыми, надежными и эффективными энергоустановками небольшой мощности. Испытан ИНС, обеспечивающий режим работы гидроагрегатов и электроэнергии, соответствующий требованиям автономных потребителей вырабатываемой микро-ГЭС

Степень использования: результаты научно-исследовательской работы могут быть использованы в труднодоступных местах сельскохозяйственными потребителями Кыргызской Республики.

Хусейн Талантбекович Касмамбетовдун 05.20.02 -
Электртехнологиялары жана айыл чарбасындагы электр жабдуулары
адистиги боюнча техника илимдеринин кандидаты илимий даражасын
изденүүгө “Айыл керектөөчүлөр үчүн иштелип чыккан электр
энергиясынын параметрлерин автоматташтырылган турукташтыруу
менен төмөнкү басымдагы чакан СЭЧун иштеп чыгуу” темасындагы
диссертациясына

КОРУТУНДУ

Ачкыч сөздөр:чакан-СЭЧ айыл чарба керектөөчүлөрү, кайра жаңылануучу энергия булактары, гидроресурстар, турукташтыруу, электр жыштыгы, чыңалуу, асинхрондук генератор, кош турбина,чыңалуу тармагынын инвертору.

Изилдөөнүн объектиси: айыл керектөөчүлөр үчүн иштелип чыккан электр энергиясынын параметрлерин автоматташтырылган турукташтыруучу төмөнкү басымдагы чакан-СЭЧ.

Изилдөөнүн максаты: электр энергиясын туруктуу параметрлери менен балластсыз нагрузкасы жана гидрогенератордун роторун ылдамдатуудан көз карандысыз бир фазалууавтономдук айыл чарба керектөөчүлөр үчүн чакан-СЭЧ иштеп чыгуужана тажрыйба жасоочу үлгүлөр менен иштетип көрүү.

Изилдөөнүн методдору: Бул эмгекте физикалык жана математикалык моделдөө пайдаланылган. Теориялык маалыматтар чакан-СЭЧнун жана анын бөлүктөрүнүн макеттери, тажрыйба жасоочу жана иштеги үлгүлөрү менен текшерилген.

Илимий жаңычылыгы: бир фазалуу тармакта иштелип чыккан электрэнергиянын параметрлерин балласттык нагрузкасын колдонбой турукташтыруучу, алдыңкы ЭЭМдин негизинде “Чыңалуу тармагынын инверторуна” алгоритм жана көп функциялуу модулдарды колдонуу менен башкаруучу программа иштелип чыккан.

Алынган натыйжалар:кош турбинасы, өзүн-өзү козголткон асинхродук генератору,чыңалуу тармагынын инверторунун негизинде автономдуу айыл чарба керектөөчүлөрүн арзан, ишеничтүү жана эффективдүү энергоорнотмолор менен электрэнергия менен камсыз кылуу үчүн арналган төмөнкү басымдагы чакан-СЭЧнун долбоорлонун негизи иштелип чыккан. Автономдук керектөөчүлөрдүн талаптарына ылайык, гидроагрегаттардын жана чакан-СЭЧнан иштелип чыккан электрэнергиянын иштөө тартибин камсыз кылганчыңалуу тармагынын инвертору текшерилген.

Колдонуу деңгээли: илимий изилдөөлөрдүн натыйжалары Кыргыз Республикасынын алыскы айыл чарба керектөөчүлөрү колдонууга мүмкүн.

SUMMARY

For Kasmambetov Husein's research dissertation on the theme: «Development of low-pressure micro HPP for rural consumers with automatic stabilization of parameters of generated electricity» for the degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.20.02 - Electrotechnology and electrical equipment in agriculture.

Key words: micro hydropower plants, agricultural consumers, renewable energy source, hydro resources, stabilization, frequency, voltage, asynchronous generator, double turbine, network voltage inverter.

Object of the research: low-pressure micro-HPP with automatic stabilization of parameters of generated electricity for rural consumers.

The purpose of the research: Development of micro-HPP for autonomous, agricultural consumers with stable power parameters without ballast load and independent of the acceleration of the rotor of the hydrogenerator with single-phase output and their working out on prototypes.

Research methods: Physical and mathematical modeling was used in the work. Theoretical data were verified during testing of prototype, experimental and working samples of micro HPPs and their parts.

Scientific novelty: A control program is developed on the basis of advanced PCs using algorithms and multifunctional modules to the "Network Voltage Inverter" (NVI), which allows to stabilize the output parameters of the generated electricity with a single-phase output, without using a ballast load.

The obtained results: The basis for the design of low - pressure micro - HPPs based on the double turbine, asynchronous generator with self - excitation, network voltage inverter, designed to supply autonomous agricultural consumers with cheap, reliable and efficient low-pressure power plants was developed. The NVI has been tested to provide the mode of operation of hydroelectric generators and electric power that meets the requirements of autonomous consumers of the produced micro-HPP.

Degree of use: the results of scientific research can be used in hard-to-reach places by agricultural consumers of the Kyrgyz Republic.