

На правах рукописи



КОРЧАГИН ПАВЕЛ ТИМОФЕЕВИЧ

**ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ УДАЛЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ
ПОТРЕБИТЕЛЕЙ ПО ОДНОПРОВОДНОЙ СЕТИ 10 кВ**

Специальность 05.20.02 – Электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве (по техническим наукам)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Зерноград 2016

Работа выполнена в Азово-Черноморском инженерном институте – филиале
ФГБОУ ВО «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ» в г.Зернограде

Научный
руководитель: член-корреспондент РАН,
доктор технических наук, профессор
Таранов Михаил Алексеевич.

Официальные
оппоненты: **Лещинская Тамара Борисовна**, доктор технических наук,
профессор частного учреждения высшего образования
«Московский институт энергобезопасности и
энергосбережения» (МИЭЭ), г. Москва, профессор кафедры
«Электроснабжение и диагностирование
электрооборудования».

Виноградов Александр Владимирович, кандидат
технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Орловский
государственный аграрный университет» заведующий
кафедрой «Электроснабжение».

Ведущая
организация: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт электрификации сельского хозяйства» (г. Москва).

Защита диссертации состоится «9» декабря 2016 г. в 13:30 часов на
заседании диссертационного совета Д 999.021.02, созданного на базе ФГБОУ
ВО «Донской государственный аграрный университет» по адресу: 347740,
Ростовская область, г. Зерноград, ул. Ленина 21, в зале заседания
диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Азово-
Черноморского инженерного института – филиала ФГБОУ ВО «Донской
государственный аграрный университет» в г. Зернограде и на сайте АЧИИ
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет» в г.Зернограде
<http://www.dongau.ru/>.

Автореферат разослан «__» _____ 2016 г. и размещен на
официальном сайте ВАК при Министерстве образования и науки России
<http://vak.ed.gov.ru/> и на сайте ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный
университет» <http://www.dongau.ru/>.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук,
профессор



Н.И. Шабанов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Современное направление развития предприятий агропромышленного комплекса, формируемое федеральными и региональными программами, рассчитанными вплоть до 2020 года, определяют требования к существующим системам электроснабжения. Развитие животноводства, птицеводства, растениеводства, перерабатывающей промышленности, определенное в данных программах, ведет к росту потребляемой мощности объектами АПК, а также к ужесточению требований, выдвигаемых к качеству электроэнергии. На сегодняшний день износ трехфазных систем составляет более 70%, что негативно влияет как на бесперебойность электроснабжения, так и на качество поставляемой электроэнергии. Поэтому для удовлетворения требований к работе энергоснабжающих систем, при выходе на запланированные мощности к 2020 году, необходимо производить полную реконструкцию существующих систем, что влечет за собой большие финансовые затраты, либо находить пути удешевления способов передачи электроэнергии, при соблюдении всех требований к её качеству.

Низкая надежность существующих систем электроснабжения предприятий агропромышленного комплекса, высокая стоимость на обслуживание и строительство линий электропередачи стимулирует на совершенствование систем передачи электроэнергии, направленное на снижение потерь при транспортировании, уменьшения стоимости, увеличения надежности и улучшения эксплуатационных характеристик, является актуальной задачей.

Степень разработанности темы. Над решением проблемы повышения качества электроснабжения, работают многие ученые, такие как Д.С. Стребков, Т.Б. Лещинская, С.В. Авраменко, А.И. Некрасов, М.А. Таранов, В.Я. Хорольский, В.С. Григорчук, П.А. Киреев, В.М. Разумихин, А.Б. Круглов, Л.Н. Линник и ряд других отечественных и зарубежных ученых.

К настоящему времени разработан ряд организационных методов, направленных на повышение качества электроснабжения для удаленных сельскохозяйственных потребителей, комплекс устройств и оборудования, а также систем электроснабжения в целом.

Однако, анализ существующих методов и средств по обеспечению потребителя качественным электроснабжением показал, что рациональных систем для сельхозпотребителей, с учетом особенностей эксплуатации (большая протяженность и количество ответвлений линии, неравномерности токов и искажения напряжения, связанных с однофазными потребителями) ограниченное количество, а, если взять во внимание тяжелое финансовое положение таких потребителей, которые не могут позволить себе реализовать большую часть из них, задача повышения качества электроснабжения все ещё остается не решенной.

Цель работы. Повышение качества электроснабжения удаленных сельскохозяйственных потребителей с помощью системы однопроводной передачи электроэнергии напряжением 10 кВ.

Задачи исследования:

- провести анализ работы существующих систем электроснабжения;
- разработать структуру однопроводной линии и устройств, преобразующих трехфазное напряжение в однофазное и однофазное напряжение в трехфазное на базе многоуровневых инверторов, и обосновать их параметры, удовлетворяющие требованиям ГОСТ к показателям качества электроэнергии;
- произвести анализ гармонических составляющих выходного напряжения преобразователей, с помощью компьютерного моделирования и экспериментальных исследований с целью определения возможности применения разработанных преобразователей для однопроводной линии электропередачи;
- экономически обосновать целесообразность использования разработанной системы однопроводной линии электропередачи для удаленных сельскохозяйственных потребителей напряжением 10 кВ.

Объект исследования: система сельскохозяйственного электроснабжения для удаленных потребителей.

Предмет исследования: режимы работы однопроводной системы электроснабжения для удаленных сельскохозяйственных потребителей.

Научная новизна работы состоит:

- в обосновании организации электрической сети, позволяющей повысить качество электроснабжения;
- в методике, позволяющей произвести расчет преобразователей напряжения, выполненных на базе многоуровневых инверторов;
- в получении выражения, описывающего зависимость количества уровней инвертора для обеспечения необходимого качества электроэнергии;
- в техническом решении, новизна которого подтверждена патентом на изобретение (патент РФ на изобретение №2516461).

Теоретическая и практическая значимость работы:

- в результате полученных при статистической обработке данных по аварийности для трехпроводной линии электропередачи;
- в повышении качества электроснабжения за счет применения однопроводной системы;
- в разработанной принципиальной электрической схеме для преобразователей трехфазного напряжения в однофазное и однофазного в трехфазное на базе семиуровневого инвертора напряжения.

Положения выносимые на защиту:

- организация однопроводной электрической сети при соблюдении требований к качеству электроснабжения сельскохозяйственных потребителей;
- устройство, преобразующее трехфазное напряжение в однофазное, устройство, преобразующее однофазное напряжение в трехфазное, и результаты исследований режимов их работы;
- результаты теоретических и экспериментальных исследований;
- результаты компьютерного моделирования;

– экономическое обоснование применения предлагаемой однопроводной линии.

Методы исследования включали физические основы электроники, элементы теории надежности, методы математического и компьютерного моделирования, элементы математической статистики. Для обработки результатов исследований использовался табличный редактор Excel пакета Microsoft Office. Компьютерное моделирование проводилось в среде Matlab версии 7.12.

Реализация результатов исследования. Результаты научных исследований аварийности работы линии электропередачи были переданы, а также устройство симметрирования неполнофазных режимов на линии 10 кВ было внедрено в филиал ОАО «ДОНЭНЕРГО» САЛЬСКИЕ МЕЖРАЙОННЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ.

Степень достоверности и апробация результатов исследований подтверждаются достаточным объемом статистических данных, применением теории надежности, методов математического и компьютерного моделирования, а также экспериментальными исследованиями, выполненными с использованием современных технических средств измерений. Основные результаты диссертационной работы доложены и одобрены на научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО АЧГАА (г. Зерноград, 2012...2015 гг.), на всероссийской научной конференции «Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона» ФГБОУ ВПО Ставропольский ГАУ (г. Ставрополь, 2012 г.).

Публикация результатов исследований. По результатам исследований получен патент, опубликовано 4 статьи, в том числе 2 в изданиях, рекомендованных ВАК, в электронном журнале «Инженерный вестник Дона» и журнале «Сельский механизатор».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы, включающего 100 наименований, в том числе 3 на иностранных языках, и приложений, содержит 181 страницу основного текста, 93 рисунка, 45 таблиц, приложения на 23 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, определена научная новизна и практическая значимость, указаны основные положения, выносимые на защиту, апробация работы и публикация результатов исследований.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» дана характеристика сельским системам электроснабжения. Результаты исследований позволили определить основные причины аварийных режимов работы линии напряжением 10 кВ: отключения из-за атмосферных осадков (15,86%), по неустановленным причинам (14,38%), из-за обрыва проводов (12,69%), грозовых перекрытий (11,29%), разрушения изоляторов (11,78%), повреждения оборудования (10,81%) и др. (схлестывание проводов, межфазное кз, повреждение изоляции, падение опор, кража проводов, неселективная работа защиты, перекрытие птицами).

Рассмотрены современные направления развития предприятий АПК и всего сельского хозяйства, которые отражены и регулируются федеральными и региональными программами развития включительно до 2020 года. Отмечены основные мощности по производству сельскохозяйственной продукции и её переработки.

Проанализированы существующие методы повышения надежности и качества электроэнергии, передаваемой предприятиям АПК. К одним из них, не требующих полной реконструкции существующей системы электроснабжения, можно отнести: усиление изоляции линий и распределительных устройств, улучшение селективности действия токовых защит, восстановление устройств АПВ на линиях, своевременная расчистка трасс воздушных линий от деревьев и т.д. Ко вторым: применение специальных устройств, направленных на устранение аварийной ситуации на линии электропередачи (восстановление полнофазного режима работы, симметрирование напряжения, отключение), а также специальной методики расчета линии электропередачи, основывающейся на географическом положении и специфике климатических условий. И третье направление, требующее полной замены старого оборудования и системы в целом, можно отнести: системы передачи постоянного тока, передача энергии по трехфазным-двухфазным сетям, высокочастотная передача электроэнергии.

Анализ надежности рассмотренных систем электроснабжения показал, что применение однопроводной системы позволит повысить эксплуатационную надежность не менее, чем на 31% в сравнении с «классической» трехпроводной системой.

Анализируя вышеуказанное, можно сделать следующее заключение: трехпроводная система электропередачи обладает низкой надежностью, высокой стоимостью обслуживания и строительства, что, в свою очередь, не может удовлетворять требованиям, выдвигаемым к надежности и качеству электроэнергии, поставляемой потребителям с современным технологическим оборудованием. Поэтому, актуальной является задача разработки разнонаправленного метода повышения качества электроснабжения для удаленных сельскохозяйственных потребителей, стоимость которого не будет превышать стоимости существующих систем.

На основании вышеизложенного были сформулированы научная и рабочая гипотезы. **Научная гипотеза:** повысить надежность электроснабжения можно за счет совершенствования систем передачи электроэнергии. **Рабочая гипотеза:** передача электроэнергии удаленным сельскохозяйственным потребителям по однопроводным системам электропередачи, использующим в качестве преобразователей числа фаз многоуровневые автономные инверторы, позволит повысить качество электроснабжения и снизить стоимость строительства линий.

Во второй главе: «Разработка структуры однопроводной линии и устройств, преобразующих трехфазное напряжение в трехфазное и однофазное в трехфазное на базе многоуровневых инверторов» произведено теоретическое описание и выбор типа многоуровневого преобразователя, расчет преобразователя трехфазного напряжения в однофазное на базе

многоуровневого инвертора, расчет преобразователя однофазного напряжения в трехфазное на базе многоуровневого инвертора, произведен анализ надежности преобразовательных устройств и однопроводной линии в целом, расчет параметров однопроводной линии электропередачи и заземляющих устройств.

Для создания надежных систем электроснабжения потребителей электроэнергии, находящихся на значительном удалении от узлов питания, была предложена система однопроводной сети на 10 кВ. Принципиальная схема такой однопроводной линии представлена на рисунке 1. Данная система позволит избежать множество факторов, влияющих на бесперебойное электроснабжение потребителей.

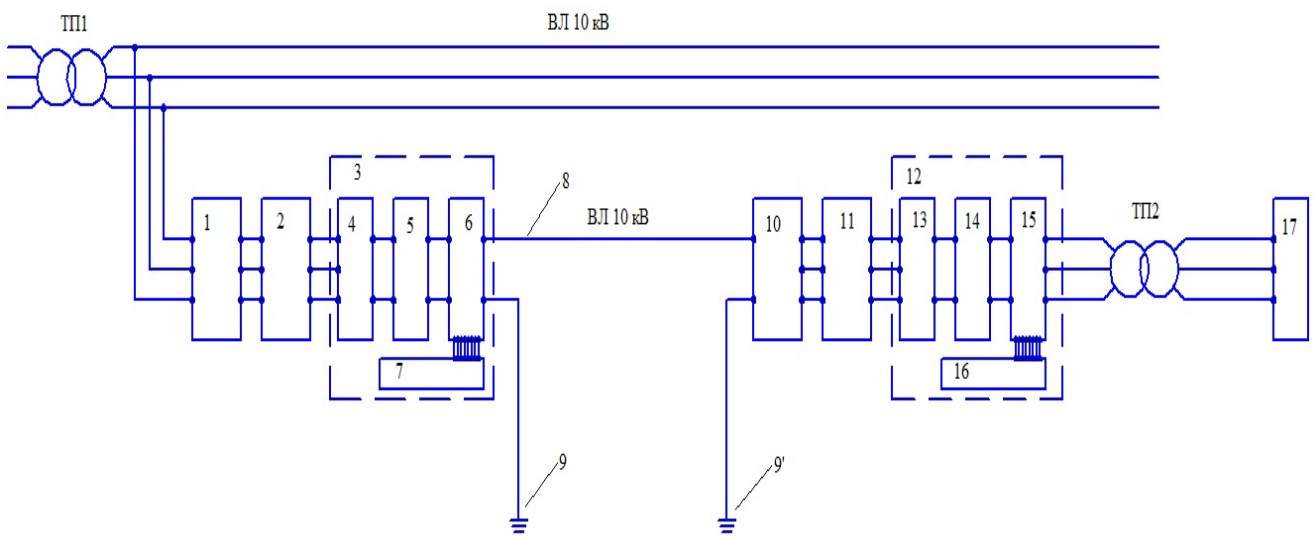


Рисунок 1 – Принципиальная схема однопроводной линии напряжением 10 кВ

Поясним принцип работы предлагаемой однопроводной линии напряжением 10 кВ: трехфазное напряжение с источника питания ТП1 и трехпроводную сеть (магистральная линия) подается на блок 1 – токоограничивающий реактор и блок 2 – разрядники, служащие для защиты блока 3 – преобразователь трехфазного напряжения в однофазное от бросков токов и напряжения. Блок 3 включает в себя: блок 4 – силовой трехфазный выпрямитель, блок 5 – емкостной делитель напряжения, блок 6 – семиуровневый инвертор напряжения и блок управления 7 ключами инвертора. Полученное на вход трехфазного выпрямителя 4 напряжение выпрямляется, сглаживается и делится емкостными делителями 5 и поступает в блок инвертора 6, где формируется двухфазное напряжение 10 кВ, промышленной частоты 50 Гц, которое далее, через заземлители 9 и 9' и однопроводную линию 8, через блоки 10 и 11 токоограничивающие реакторы и разрядники, поступает на вход блока 12 – преобразователь однофазного напряжения в трехфазное, включающий в себя аналогичные блоки, как и преобразователь 3. Поступившее напряжение на семиуровневый инвертор 15, формируется в трехфазное (10 кВ

частотой 50 Гц) и через понижающий трансформатор ТП2 электроэнергия подается потребителю 17.

В качестве преобразователей числа фаз для однопроводной линии предлагается использовать многоуровневые автономные инверторы напряжения (МАИН). Выбор количества уровней инвертора будет зависеть от значения коммутируемого напряжения и от качества выходного напряжения. Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих в зависимости от числа уровней инвертора представлен на рисунке 2. Было получено выражение, описывающее значение суммарных коэффициентов гармонических составляющих в зависимости от числа уровней инвертора:

$$y = 63,6e^{-0,44x}, \quad (1)$$

где x – число уровней инвертора, шт.

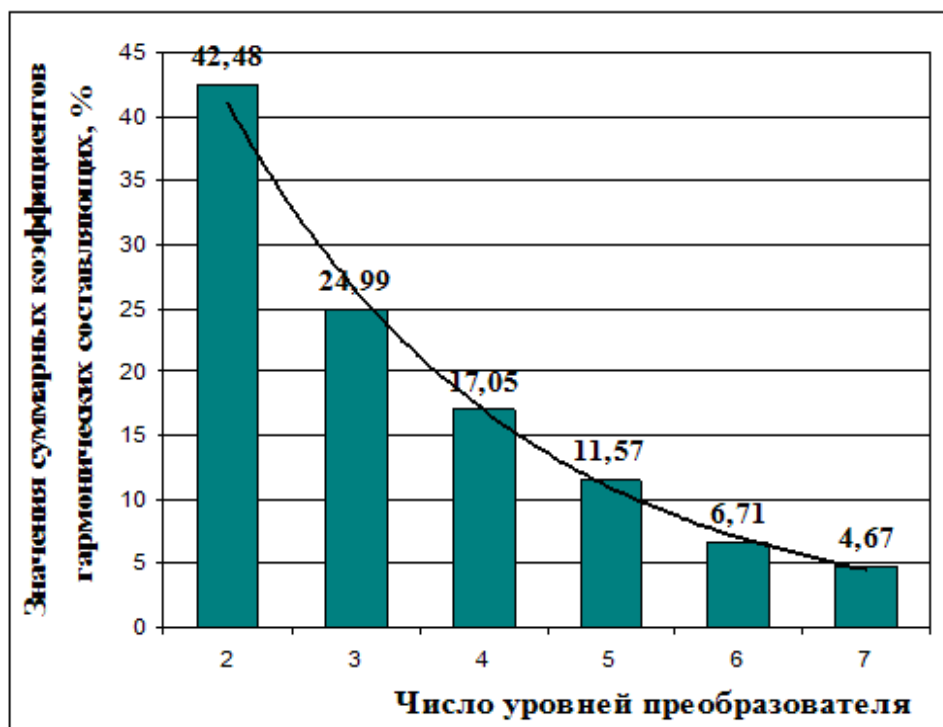


Рисунок 2 – Значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих в зависимости от числа уровней инвертора

Согласно требованиям ГОСТа, значению полных коэффициентов гармоник напряжения для электрических сетей 6-20 кВ удовлетворяют семиуровневые инверторы напряжения.

На рисунке 3 представлена принципиальная схема силовой части семиуровневого инвертора с фиксацией нулевой точки, на базе которых были построены преобразователи трехфазного напряжения в однофазное и однофазного в трехфазное.

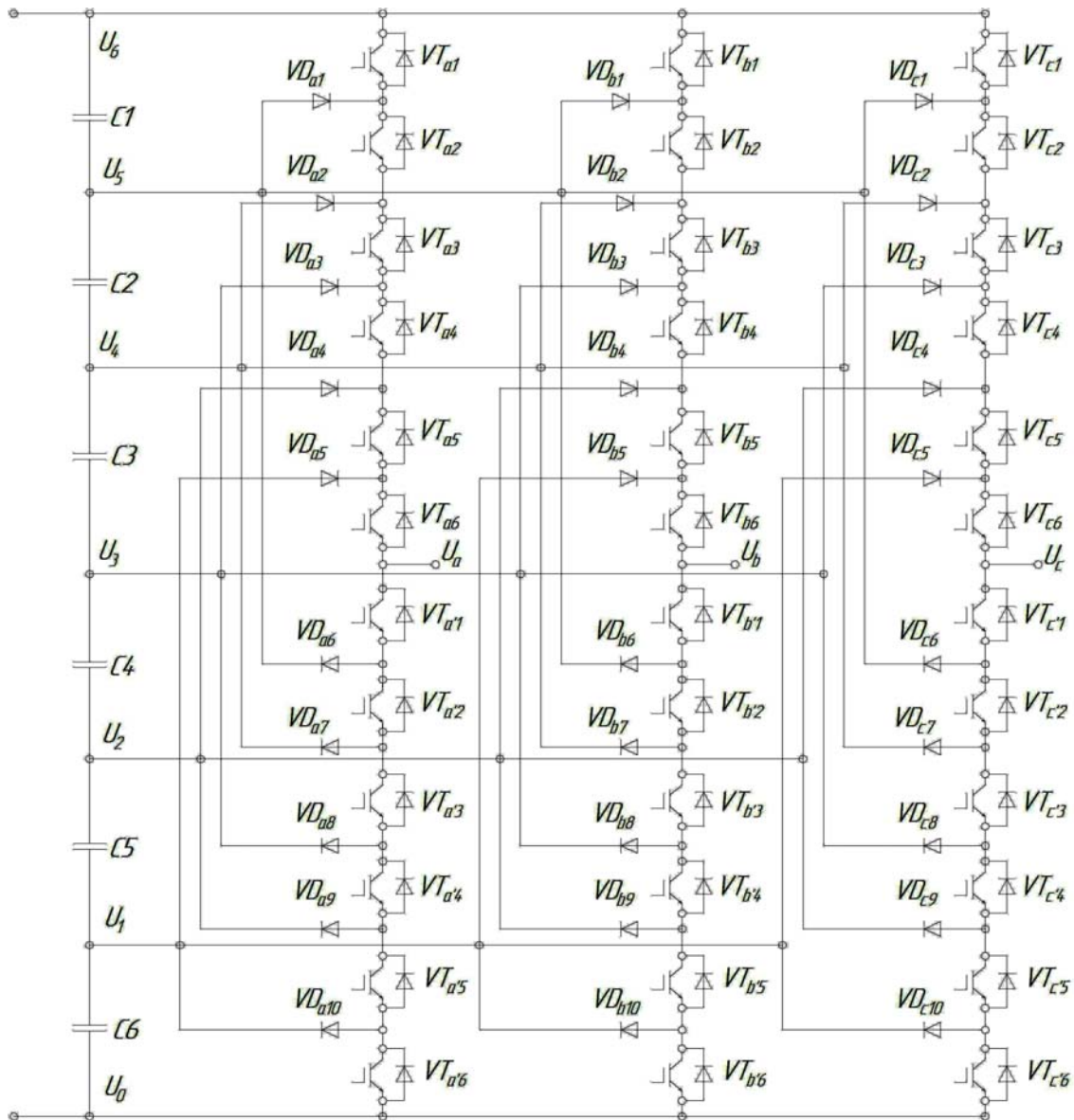


Рисунок 3 – Принципиальная схема силовой части семиуровневого инвертора с фиксацией нулевой точки.

За счет последовательно соединенных конденсаторов на входе инверторного моста на средней точке этих конденсаторов формируется постоянное напряжение, равное $U_d/6$ (U_d – напряжение на входе инвертора). Это напряжение через разделительные диоды подается на средние точки плеч инвертора, образованные последовательно включенными транзисторами. За счет соответствующего управления транзисторами инвертора на его выходе формируется напряжение семи уровней, U_d , $5/6U_d$, $2/3U_d$, $U_d/2$, $U_d/3$, $U_d/6$, 0.

Диаграмма состояния ключей семиуровневого инвертора с фиксацией нулевой точки представлена на рисунке 4 и 5.

На рисунке 4, а) представлена схема одной фазы рассматриваемого инвертора, б) и в) основные состояния, при которых на выходе преобразователя формируется соответственно 0 и полное приложенное входное напряжение.

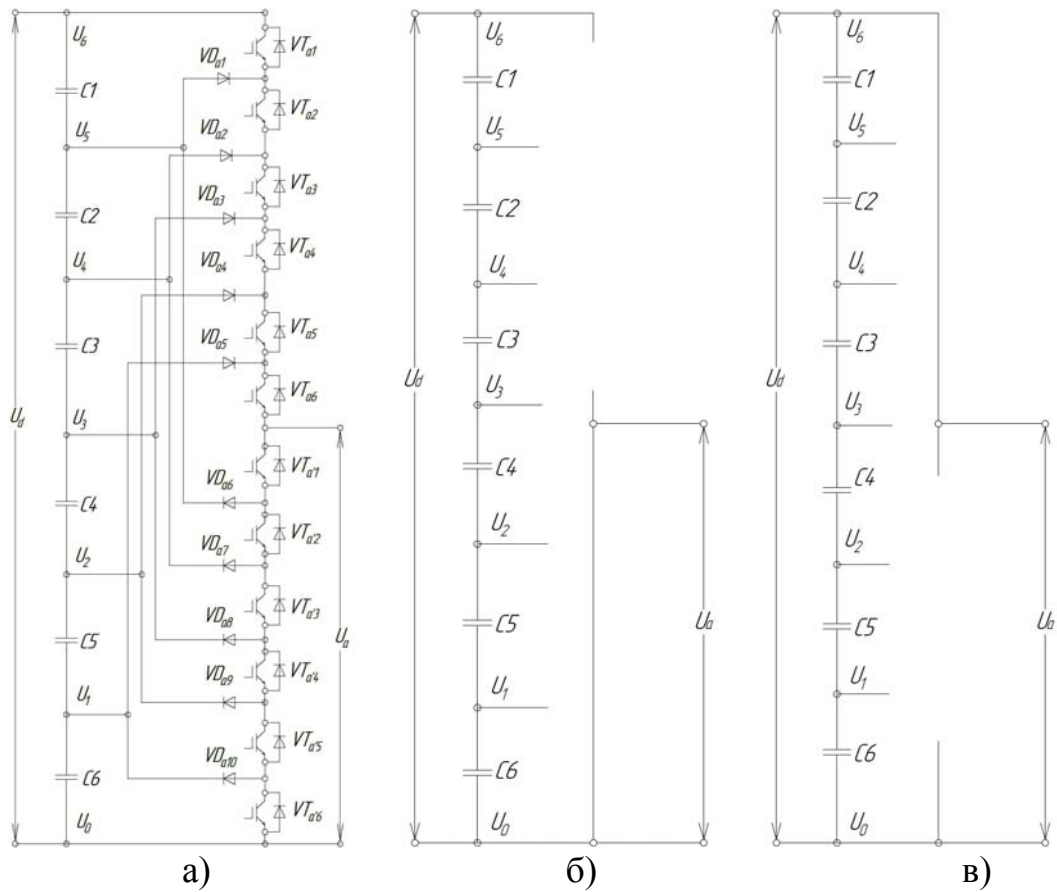


Рисунок 4 – Диаграмма основных состояний ключей семиуровневого инвертора

Дополнительные состояния при которых формируется напряжения $U_d/6$, $U_d/3$, $U_d/2$, $2/3U_d$, $5/6U_d$, представлены соответственно на рисунке 5 а), б), в), г) и д).

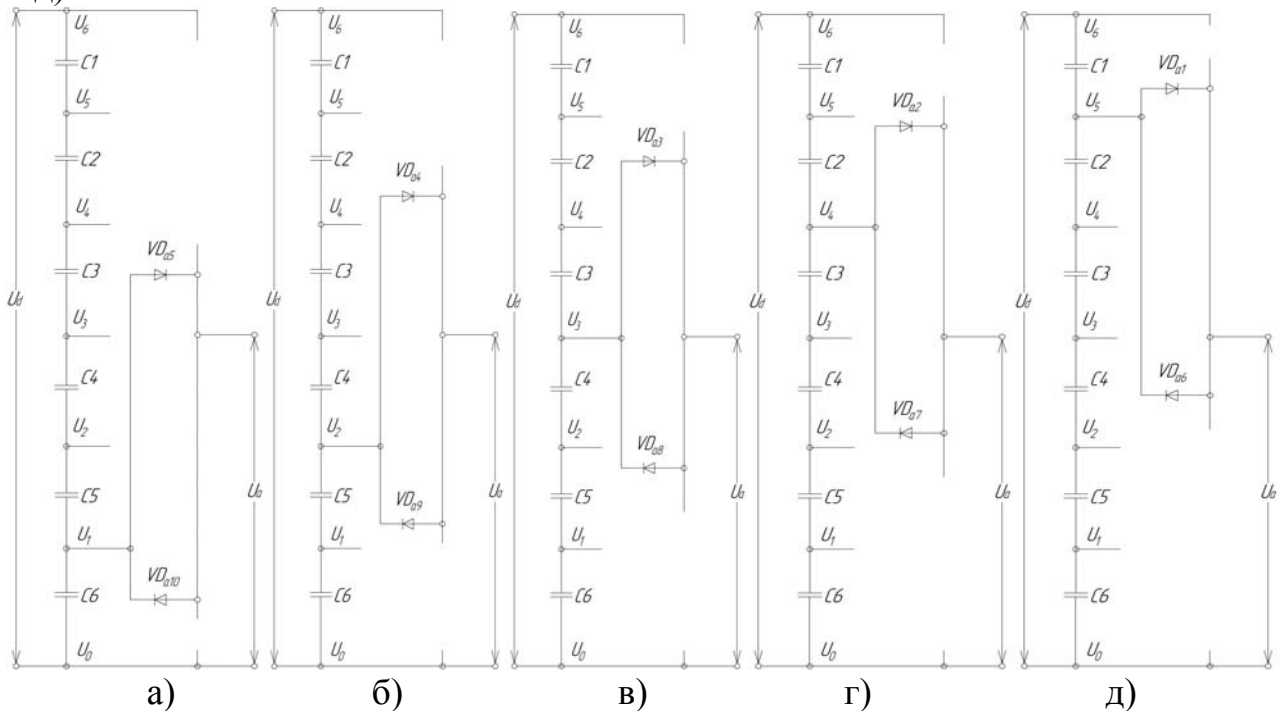


Рисунок 5 – Диаграмма дополнительных состояний ключей семиуровневого инвертора

В таблице 1 приведены возможные уровни выходного напряжения для одной фазы семиуровневого преобразователя.

Таблица 1 – Алгоритм работы ключей для одной из фаз семиуровневого инвертора

Выходное напряжение	Состояние ключей											
	$V_{T_{a1}}$	$V_{T_{a2}}$	$V_{T_{a3}}$	$V_{T_{a4}}$	$V_{T_{a5}}$	$V_{T_{a6}}$	$V_{T_{a'1}}$	$V_{T_{a'2}}$	$V_{T_{a'3}}$	$V_{T_{a'4}}$	$V_{T_{a'5}}$	$V_{T_{a'6}}$
U_d	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
$5/6U_d$	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
$2/3U_d$	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
$U_d/2$	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
$U_d/3$	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
$U_d/6$	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1

Получены зависимости для учета потерь напряжения при прохождении обратного тока через землю, основанные на работах К.Г. Марквардта. На рисунке 6 представлена схема протекания токов через землю.

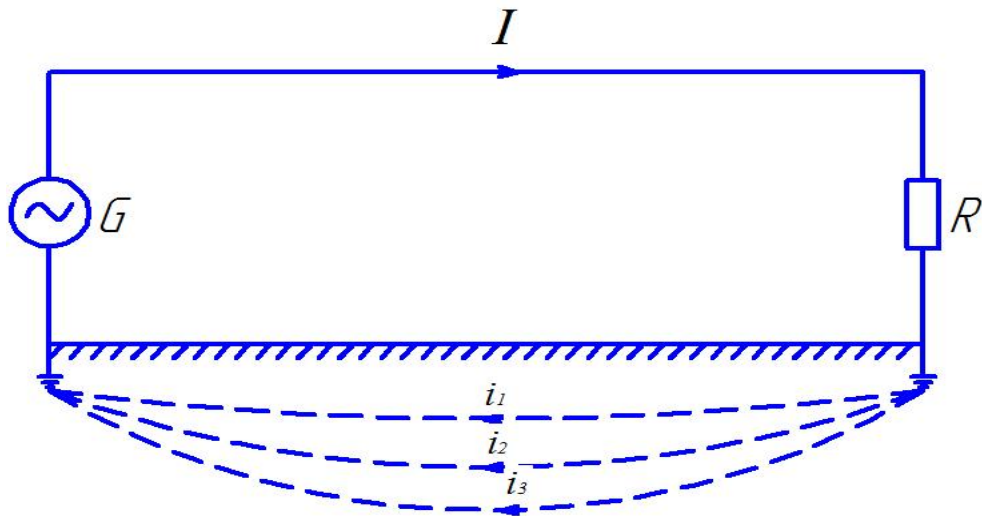


Рисунок 6 – Схема однопроводной сети с учетом протекания тока через землю

Ток i_1 определяет меньшую индуктивность, чем i_2 , i_3 и др. Так как токи имеют различную индуктивность, то они будут сдвинуты по фазе относительно друг друга. Отсюда плотность тока в земле будет снижаться с удалением от поверхности земли и тем быстрее, чем выше частота тока.

Таким образом, при увеличении частоты, глубина протекания тока уменьшается, растет сопротивление земли. Ток линии при частоте 50 Гц, распространяется в земле в стороны и в глубину на несколько километров. При постоянном токе, сопротивление земли в расчетах вообще не учитывается. В случае увеличения удельного сопротивления земли, растет падение напряжения в ней, снижается плотность тока и, одновременно увеличивается глубина и

ширина протекания токов. При снижении удельного сопротивления происходит обратное явление.

Принимая во внимание то обстоятельство, что частота питающего напряжения не меняется и составляет 50 Гц полное сопротивление контура «провод–земля»:

$$Z = r_a + 0,05 + j \cdot 0,144 \cdot (2,08 - \lg R \cdot \sqrt{\gamma_3}), \text{ Ом/км}, \quad (2)$$

где r_a – активное сопротивление, Ом/км;

R – радиус провода, м;

γ_3 – проводимость земли, сим/м.

Для марки провода АС-50, получаем значение полного сопротивления контура «провод–земля» в комплексной форме:

$$Z = 0,645 + j \cdot 0,849 \text{ Ом/км} \quad (3)$$

Результаты расчетов потери напряжения согласно формулам (2) и (3) без учета потерь на заземлителях однопроводной линии представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета потери напряжения в однопроводной линии электропередачи

ℓ , км	5	10	15	20	25	30	35	40
ΔU	0,62	1,23	1,85	2,46	3,08	3,69	4,31	4,92

Выражение, позволяющее учесть сопротивление заземлителей, для однопроводной линии имеет следующий вид:

$$\Delta U = \frac{S_p \cdot ((\ell \cdot r_0 + r_{\text{об.заземлителя}}) \cdot \cos \varphi + \ell \cdot x_0 \sin \varphi)}{10 \cdot U_n^2}, \% \quad (4)$$

где S_p – передаваемая мощность, кВА;

ℓ – длина линии, км;

U_n – номинальное напряжение сети, $U_n = 10$ кВ;

r_0 – удельное активное сопротивление линии, Ом/км;

$r_{\text{об.заземлителя}}$ – общее сопротивление рабочих заземлителей, Ом;

x_0 – удельное индуктивное сопротивление линии, Ом/км.

Результаты расчетов потери напряжения в однопроводной линии с учетом заземлителей представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты расчета потери напряжения в однопроводной линии электропередачи с учетом заземлителей

ℓ , км	5	10	15	20	25	30	35	40
ΔU	0,69	1,31	1,92	2,54	3,15	3,77	4,38	5

Также представлена методика выбора параметров заземляющих устройств для предлагаемой однопроводной линии электропередачи. В таблице 4 представлены сопротивления одиночного электрода при различных диаметрах для двухслойных грунтов.

Таблица 4 – Сопротивление одиночного электрода при различных диаметрах и длинах для двухслойного грунта, Ом.

Длина электрода, м	Диаметр электрода, мм					
	57	73	95	114	127	140
50	1,855	1,799	1,739	1,698	1,673	1,651
100	0,829	0,806	0,781	0,764	0,754	0,745
150	0,546	0,532	0,516	0,505	0,498	0,493
200	0,411	0,400	0,389	0,381	0,376	0,372

Весьма важным параметром для заземляющих устройств является срок службы. Результаты расчета срока службы электродов сведем в таблицу 5.

Таблица 5 – Срок службы заземления, лет.

Длина электрода, м	Диаметр электрода, мм					
	57	73	95	114	127	140
20	1,07	1,40	2,16	2,63	2,95	3,26
40	2,13	2,79	4,33	5,25	5,89	6,53
60	3,19	4,19	6,49	7,88	8,84	9,79
80	4,26	5,58	8,65	10,51	11,78	13,05
100	5,33	6,98	10,81	13,14	14,73	16,31
120	6,39	8,38	12,98	15,76	17,67	19,58
140	7,46	9,77	15,14	18,39	20,62	22,84
160	8,52	11,17	17,30	21,01	23,56	26,10

В третьей главе: «Программа и методика исследований работы однопроводной линии электропередачи» изложена общая программа исследований, представлены схемы для проведения экспериментальных исследований, описана программа и методика исследования устройства, преобразующего трехфазное напряжение в однофазное, и устройства, преобразующего однофазное напряжение в трехфазное.

Общая программа включает в себя подбор необходимого лабораторного оборудования и приборов; исследование работоспособности устройства, преобразующего трехфазное напряжение в однофазное, выполненного на базе семиуровневого инвертора напряжения (МАИН); исследование работоспособности устройства, преобразующего однофазное напряжение в трехфазное, выполненного на базе семиуровневого инвертора напряжения (МАИН); проведение компьютерного моделирования устройства, преобразующего трехфазное напряжение в однофазное на базе семиуровневого инвертора напряжения; проведение компьютерного моделирования устройства, преобразующего однофазное напряжение в трехфазное на базе семиуровневого инвертора напряжения; проведение компьютерного моделирования работы однопроводной линии электропередачи напряжением 10 кВ; обработка полученных результатов.

В программу экспериментальных исследований устройства, преобразующего трехфазное напряжение в однофазное и устройства, преобразующего однофазное напряжение в трехфазное, входит следующее: произвести опыт без нагрузки, опыт при различной степени загрузки

устройства, производить оценку качества электроэнергии на выходе устройства при всех запланированных опытах.

Для реализации программы исследований рассчитано и изготовлено устройство на базе семиуровневого автономного инвертора напряжения. Модельный эксперимент проводился в учебно-производственной лаборатории кафедры «Эксплуатация энергетического оборудования и электрических машин» Азово-Черноморского инженерного института — филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственной аграрный университет» в г.Зернограде с использованием сертифицированных приборов (см. рисунок 7).



Рисунок 7 – Общий вид физической модели на пониженное напряжение 0,4 кВ

Компьютерное моделирование устройств, преобразующих трехфазное напряжение в однофазное и однофазное в трехфазное на базе семиуровневого инвертора напряжения, а также разработанной однопроводной линии электропередачи, выполнялось в среде Matlab 7 на кафедре «Эксплуатация энергетического оборудования и электрических машин» Азово-Черноморского инженерного института — филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственной аграрный университет» в г.Зернограде.

В главе приведены схемы экспериментов, компьютерные модели преобразователя трехфазного напряжения в однофазное, преобразователя однофазного напряжения в трехфазное и предлагаемой однопроводной линии электропередачи.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований преобразователей напряжения для предлагаемой однопроводной линии и их анализ» представлены результаты исследований устройств, преобразующих трехфазное напряжение в однофазное и однофазное напряжение в трехфазное, собранных на базе семиуровневого инвертора напряжения, результаты компьютерного моделирования устройств, преобразующих трехфазное напряжение в однофазное и однофазное в трехфазное, и однопроводной линии электропередачи. Результаты компьютерного моделирования подтверждают возможность применения преобразователей трехфазного напряжения в однофазное и однофазного в трехфазное на базе семиуровневого инвертора напряжения для предлагаемой однопроводной линии, качество электроэнергии на выходе устройств удовлетворяют требованиям ГОСТа (рисунок 8 и 9).

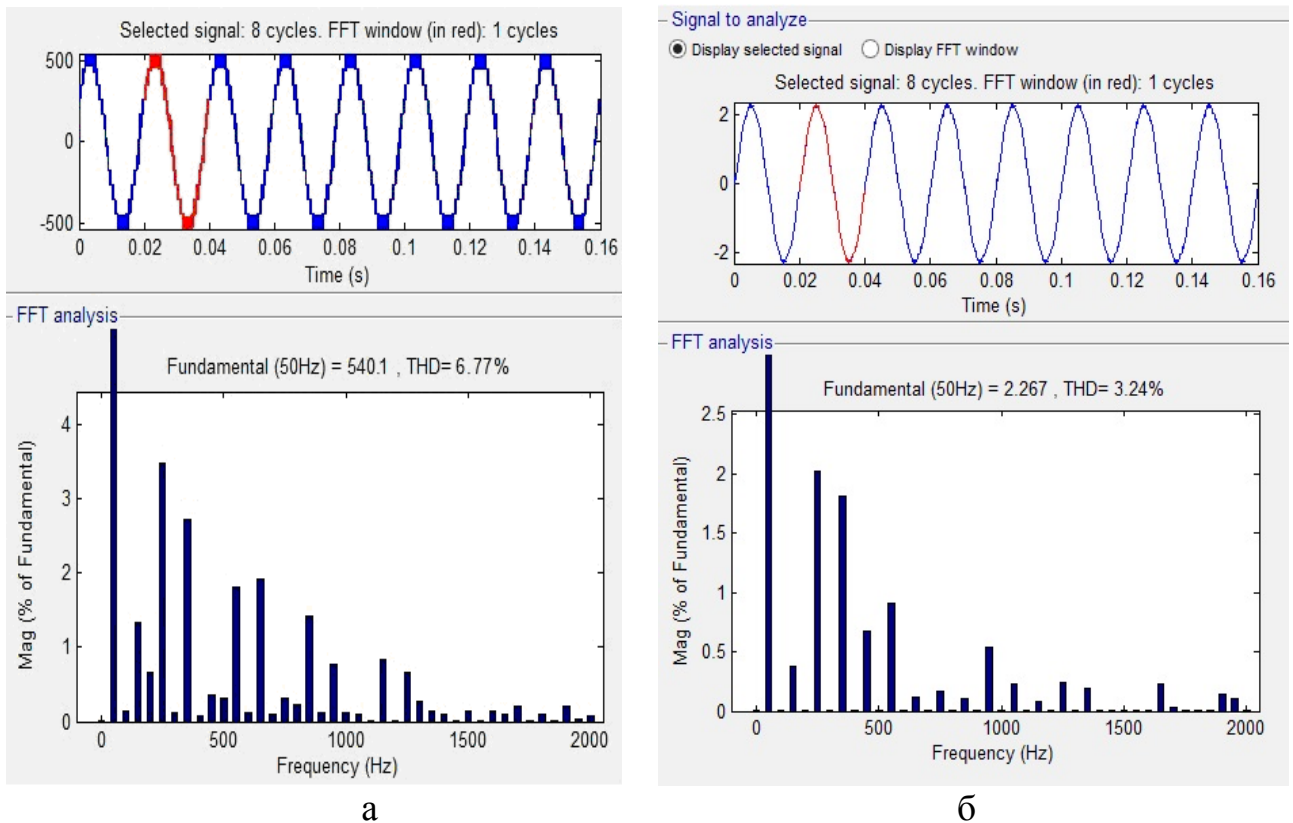


Рисунок 8 – Спектральный состав выходного сигнала преобразователя трехфазного напряжения в однофазное: а) напряжение; б) ток

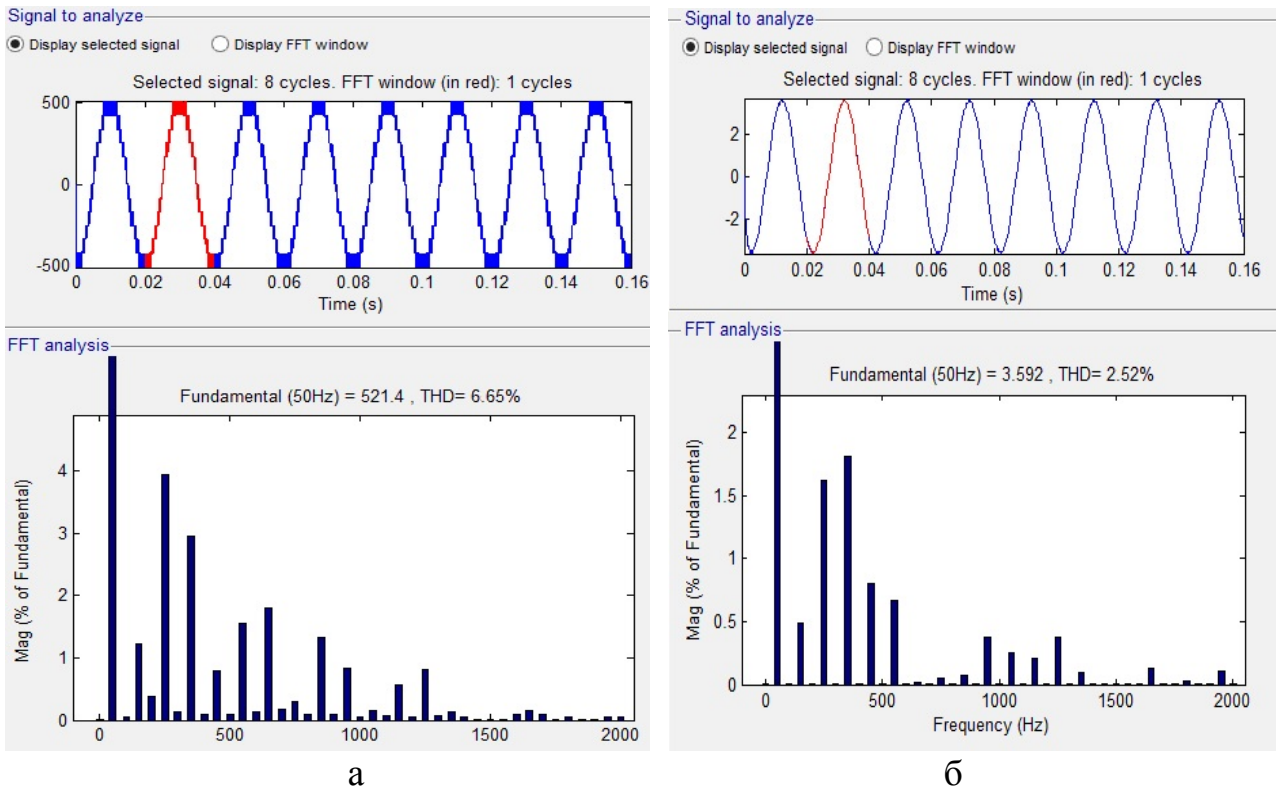


Рисунок 9 – Спектральный состав преобразователя однофазного напряжения в трехфазное: а) напряжение; б) ток

Результаты экспериментальных исследований преобразователей трехфазного напряжения в трехфазное и однофазного в трехфазное имеет сходство с результатами компьютерного моделирования (рисунки 10 и 11).



Рисунок 10 – Гармонический состав выходного сигнала преобразователя из трех фаз в одну



Рисунок 11 – Гармонический состав выходного сигнала преобразователя одной фазы в три

Также было проведено компьютерное моделирование работы однопроводной линии электропередачи, что позволило подтвердить работоспособность, как преобразователей числа фаз для предлагаемой линии, так и системы в целом.

В пятой главе «Технико-экономическое обоснование разрабатываемой однопроводной линии электропередачи» рассчитана возможная экономическая эффективность применения разрабатываемой линии электропередачи, экономический эффект, окупаемость, определены годовые эксплуатационные затраты. В качестве базового варианта была принята «классическая» трехпроводная система электропередачи. Определена минимальная длина однопроводной линии, при которой оправданы капиталовложения в сравнении с трехпроводной линией, реализованной различными проводами (неизолированные, сип, кабельные линии).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Анализ существующей системы центрального электроснабжения для двух районов области, их состояние, износ, надежность, показывает, что для Зерноградского, поток отказов в период с 2002 по 2009 гг. при вероятности $\alpha=0,95$ находится в пределах от 2 до 16 отказов в год на 100 км линии, для Заветинского с 2001 по 2014гг. при вероятности $\alpha=0,95$ находится в пределах от 6,7 до 10,9 отказов в год на 100 км линии, что определяет выраженную тенденцию к увеличению данного показателя.

2. Проведенный анализ надежности всех существующих систем электропередачи показал, что наибольшей вероятностью безотказной работы

обладает система однопроводной сети, для которой данный показатель составляет 0,454.

3. Разработанная однопроводная система передачи электроэнергии в сравнении с трехпроводной системой, позволяет повысить надежность электроснабжения удаленных сельскохозяйственных потребителей на 31,3 % за счет исключения возможных аварийных режимов, таких как: схлест проводов, обрыв проводов, межфазные короткие замыкания на линии, наброс на провода, перекрытия птицами.

4. На базе многоуровневых инверторов напряжения разработаны устройства, преобразующие трехфазное напряжение в однофазное и преобразующие однофазное в трехфазное. Исследование преобразователей позволило получить, уравнение описывающее зависимость суммарного коэффициента гармонических составляющих от числа уровней инвертора.

5. Произведенный анализ гармонических составляющих выходного напряжения с помощью компьютерного моделирования и экспериментальных исследований показал, что для удовлетворения требований ГОСТ по суммарному коэффициенту гармонических составляющих, для однопроводной линии напряжением 10 кВ, необходимо применение инверторов с числом уровней выходного напряжения не менее семи. Для данного инвертора при компьютерном моделировании преобразователя из трех фаз в одну, суммарный коэффициент гармонических составляющих равен 6,77%; для преобразователя из одной фазы в три от 6,65 до 6,86%; при экспериментальных исследованиях для преобразователя из трех фаз в одну 6,17%; для преобразователя из одной фазы в три от 6,29% до 6,44%, что удовлетворяет требованиям ГОСТ.

6. Разработанная однопроводная система электропередачи является экономически привлекательнее в сравнении с существующими системами центрального электроснабжения. При строительстве линии 10 кВ неизолированным проводом однопроводная система выгоднее при протяженности линии более 4,7 км, при строительстве проводом СИП более 2,8 км, при кабельной линии более 1,7 км.

Рекомендации производству. Предложенные в работе имитационные компьютерные модели преобразователей числа фаз и однопроводной сети, рекомендуется использовать при проектировании однопроводной системы электропередачи с применением в качестве преобразователей числа фаз многоуровневые автономные инверторы напряжения, а также при оптимизации параметров работы однопроводной сети. Полученные статистические оценки работы реальных систем электроснабжения могут использоваться руководителями электроснабжающих организаций с целью оптимизации работы электротехнической службы. Внедрение преобразователя числа фаз, как устройства симметрирования неполнофазных режимов, позволит повысить качество электроснабжения для удаленных сельскохозяйственных потребителей.

Перспективы дальнейшей разработки темы. Дальнейшие исследования по данной теме должны быть направлены на:

- оптимизацию программы управления силовыми ключами инверторного блока преобразователя числа фаз;
- разработку конструкции опор, с возможным применением современных материалов, и креплений изоляторов для однопроводной воздушной линии электропередачи.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

Статьи, опубликованные в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Корчагин, П.Т. Надежность электроснабжения удаленных потребителей. /П.Т. Корчагин, Д.М. Таранов // Сельский механизатор. – 2014. – №3 – С.28–30.

2. Корчагин, П.Т. Перспективы развития сельскохозяйственных предприятий Ростовской области и проблемы их энергообеспечения. [Электронный ресурс] / П.Т. Корчагин // Инженерный Вестник Дона, №1, 2014 – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2224>

Изобретения и полезные модели:

3. Пат. 2516461 Российская Федерация, МПК7 Н 02 Н 7/09. Устройство симметрирования неполнофазных режимов на линии 10 кВ для удаленных потребителей/ Таранов М.А., Корчагин П.Т.; заявитель и патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия» – 2012134359/07, заявлен 10.08.2012; опубликован 20.02.2014.

Статьи, опубликованные в других изданиях:

4. Таранов, М.А. Многоуровневые и каскадные инверторы / М.А. Таранов, П.Т. Корчагин // Вестник аграрной науки Дона. – 2013 – №1. – С.63–66.

5. Таранов, М.А. Алгоритм работы силовых ключей при формировании синусоидального выходного напряжения в инверторах с фиксацией нейтрали / М.А. Таранов, П.Т. Корчагин // Вестник аграрной науки Дона. – 2013 – №4. – С.31 – 34.

Подписано в печать 7.10.2016г.

Формат 60×84/16. Усл. п. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № 273.

РИО Азово-Черноморского инженерного института – филиала
ФГБОУ ВО «Донской государственный аграрный университет»
в г. Зернограде

347740, г. Зерноград Ростовской области, ул. Советская, 15.