

**БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО
ЗНАМЕНИ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

На правах рукописи

ВЕЛИВЕРСТОВ Георгий Иванович

УДК 621.315.1

**РАЗРАБОТКА НОВЫХ ВОЗДУШНЫХ КОМПАКТНЫХ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

05.14.02 — Электрические станции (электрическая
часть), сети и системы и управление ими

**Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук**

Минск 1986

Работа выполнена на кафедре "Электрические системы" Белорусского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института.

Научный руководитель

- кандидат технических наук,
доцент ФАДИН В.Т.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук,
старший научный сотрудник
КРИШАН В.П.

кандидат технических наук
БУЛАТ В.А.

Родущее предприятие

- Белорусское отделение Всесоюзного государственного проектно-исследовательского и научно-исследовательского института "Энергосетьпроект" (г. Минск)

Защита состоится "23" мая 1986 г. в 10 часов на заседании специализированного совета К 056.02.02 в Белорусском ордена Трудового Красного Знамени политехническом институте по адресу: 220027, г. Минск, Ленинский проспект, 65.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского политехнического института.

Автореферат разослан "11" апреля 1986 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
кандидат технических наук,
доцент

А.Н. ТЕРАСИМОВИЧ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

А к т у а л ь н о с т ь п р о б л е м ы. Рост производства электрической энергии, определяемый развитием ключевых отраслей народного хозяйства в соответствии с выполнением директивных документов партии и правительства, требует постоянного повышения пропускной способности воздушных электропередач, что особенно актуально при дальнейшем формировании Единой энергетической системы страны, создании сильных межсистемных связей и распределительных электрических сетей. Традиционные способы повышения пропускной способности решают данную задачу лишь частично, так как их внедрение ограничено рядом факторов. Кроме того, высокая плотность воздушных линий в Европейской части страны и экологические аспекты обостряют эту проблему.

С другой стороны, в целях ускоренного развития энергетики следует создавать высокоэкономичное энергетическое оборудование, в том числе и воздушные линии электропередачи с улучшенными удельными технико-экономическими показателями.

Одним из важных и перспективных направлений поиска высокоэффективных воздушных электропередач являются исследования, проводимые в СССР в области создания управляемых самокомпенсирующихся высоковольтных линий (УСВЛ), линий компактного и комбинированного типов, актуальность проведения которых подтверждается тем, что одним из заданий научно-технической программы 0.01.06, разработанной Госкомитетом СССР по науке и технике на 1986-1990 годы, является создание и освоение компактных линий электропередачи напряжением 110-750 кВ повышенной пропускной способности и сниженного экологического влияния.

Диссертационная работа является составной частью исследований, проводимых кафедрой "Электрические системы" Белорусского политехнического института по плану важнейших работ, координируемых Минвузом и Минэнерго СССР по проблеме ГВ-81-75 "Разработка методов и средств экономии электроэнергии в электрических системах", № гос. регистрации 81028447.

Ц е л ь р а б о т ы: заключается в разработке, исследовании и оценке эффективности новых воздушных электропередач повышенной пропускной способности.

Ставились следующие задачи:

- разработать новые конструкции компактных двухцепных и одноцепных линий, обладающих повышенной пропускной способностью (натуральной мощностью) и пониженным экологическим влиянием, и схемы электропередач, обеспечивающие улучшение режимов передачи электрической энергии при изменении нагрузки приемной системы;
- создать алгоритм и программу, позволяющие исследовать электрические параметры и характеристики новых электропередач с учетом особенностей их конструкции и работы в электроэнергетических системах;
- разработать и создать экспериментальную конструкцию натурной воздушной линии компактного типа и высокочастотный шестифазный генератор для исследования электрических и режимных параметров электропередач на промышленной и повышенной частоте;
- обосновать и доказать преимущества новых линий электропередач в сопоставлении с линиями известных конструкций по натуральной мощности, экологическому влиянию и технико-экономической эффективности.

Метод исследования. При решении поставленных задач использованы методы теории электромагнитного поля, электрических цепей, теории постановки эксперимента, теории вероятностей и математической статистики и технико-экономического анализа.

Определение электрических параметров и полей вариантов компактных двухцепных и одноцепных линий выполнялось на ЕС ЭВМ. Правомочность полученных теоретических результатов и работоспособность предложенных схем электропередач подтверждалась экспериментальным путем.

Новые научные результаты, полученные в работе:

- новые технические решения - компактные двухцепные и одноцепные линии электропередачи с улучшенными параметрами и схемы трехцепной, двухцепной и одноцепных электропередач повышенной пропускной способности, позволяющие регулировать режимы передачи электрической энергии;
- универсальная методика, алгоритм и программа для исследования характеристик и эффективности воздушных линий электропередачи предложенных и других конструкций;

- результаты сравнительного анализа, доказывающие преимущества компактных двухцепных и одноцепных линий по натуральной мощности и экологическому влиянию в сопоставлении с линиями известных конструкций;

- экспериментальная натурная воздушная линия и высокочастотный шестифазный генератор.

На защиту выносятся следующее:

- новые конструкции компактных двухцепных и одноцепных линий и схемы электропередач, обеспечивающие увеличение натуральной мощности, снижение экологического влияния и улучшающие режимы передачи электрической энергии;

- результаты теоретических и экспериментальных исследований параметров, сопоставительного анализа и оценки эффективности новых компактных воздушных электропередач;

- алгоритм и программа исследования электрических параметров и полей воздушных линий новых конструкций.

Практическая ценность работы состоит в

- разработке новых конструкций воздушных линий электропередачи, обладающих повышенной натуральной мощностью и сниженным экологическим влиянием;

- разработке схем электропередач повышенной пропускной способности, обеспечивающих улучшение режимов при изменении нагрузки передающей и приемной систем, и элементов конструкций линий, повышающих надежность и экономичность их работы;

- разработке алгоритма и программы, позволяющих исследовать электрические параметры, напряженность электрического поля на проводах и под линиями электропередачи различных конструкций с учетом их особенностей - числа цепей, числа проводов в цепях и фазах, наличия фазосдвигающих устройств и грозозащитных тросов;

- создании экспериментальной натурной воздушной линии компактного типа, предназначенной для исследования электропередач переменного тока;

- создании высокочастотного шестифазного генератора для моделирования режимов управляемых электропередач.

Предложенные технические решения выполнены на уровне изобретений и защищены авторскими свидетельствами.

Результаты исследований могут быть использованы научно-иссле-

довательскими и проектно-конструкторскими организациями, занимающимися развитием электроэнергетических систем и разработкой электропередач повышенной пропускной способности.

Р е а л и з а ц и я р е з у л ь т а т о в р а б о т ы .

Методика и алгоритм расчета и исследования электрических параметров и характеристики компактных двухцепных линий электропередачи внедрены в тресте "Западелектрострой" Минэнерго СССР и в Украинском отделении ВЭПИ и НИИ "Энергосетьпроект". Расчеты на ЕС ЭВМ значения параметров воздушных линий используются в проектных проработках схем перспективного развития энергосистем СССР.

Результаты исследований внедрены в учебный процесс электротехнического факультета Белорусского и Гомельского политехнических институтов.

А п р о б а ц и я р а б о т ы . Основные положения диссертационной работы опубликованы во всесоюзных и республиканских изданиях, обсуждены и получили положительные отзывы на международном симпозиуме по проблемам энергосистем (Польша, Вроцлав, 1985), на всесоюзной научной конференции "Пути экономии и повышения эффективности использования электроэнергии в системах электроснабжения промышленности и транспорта" (Казань, 1984), на республиканском семинаре "Передовой опыт в энергосистемах и возможности его использования в Молдавии" (Кишинев, 1984), научно-техническом семинаре "Повышение эффективности работы распределительных электрических сетей" (Киев, 1984), I-ой научно-технической конференции научно-преподавательского состава Гомельского политехнического института (Гомель, 1982), 39-41-ой научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава Белорусского политехнического института (Минск, 1983-1985), технической учебе ИТР Управления Гомельэнерго (Гомель, 1983) и треста "Западелектрострой" (Минск, 1983). Предложенные новые технические решения защищены авторскими свидетельствами.

П у б л и к а ц и я . Основное содержание и результаты диссертационной работы защищены тремя авторскими свидетельствами, отражены в 7-ми публикациях.

С т р у к т у р а и о б ъ е м р а б о т ы . Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 142 страницах основного текста, 48 рисунков, 25 таблиц, списка

литературы, включающего 130 наименований, и приложений на 21 странице.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы, сформулированы цель и задачи исследования и новые научные результаты. Выделены вопросы, выносимые на защиту, приведены основные положения диссертационной работы.

Первая глава посвящена обзору и анализу существующих способов повышения натуральной мощности воздушных линий электропередач, определению особенностей конструкций компактных двухцепных линий нового типа, предложенных на кафедре "Электрические системы" Белорусского политехнического института, разработке новых вариантов их конструкций, новых конструкций компактных одноцепных линий и схем электропередач повышенной пропускной способности, улучшающих режимы передачи электрической энергии.

В работе выполнена классификация компактных двухцепных электропередач, развивающих и дополняющих положительные свойства известных компактных одноцепных линий и линий типа УСЛ. Показано, что конструкции попарно облитенных расщепленных фаз двойной трехкоаксиальной, трехконтурной и трехсеточной линий образуют соответственно: расположение проводов по контурам двух концентрических окружностей; равномерное и посочередное расположение проводов по одному контуру, имеющему форму окружности; расположение проводов в вершинах смежных правильных многоугольников (квадратов) - сеткой (рис. 1).

Рассмотрены конструктивные особенности компактных двухцепных линий. Предложены новые их варианты - двойная трехкоаксиальная равнопроводная сеточно-радиальная, трехсеточная двухрядная смещенная и однорядная (рис. 1), а также элементы конструкций этих линий, повышающие их надежность и экономичность.

Выполнена критическая оценка конструкций и электрических параметров известных компактных одноцепных линий и трехфазных токопроводов, обладающих повышенной пропускной способностью. На основе их исследования и анализа разработаны конструкции компактных одноцепных линий с улучшенными параметрами. Дана классификация этих линий (рис. 1).

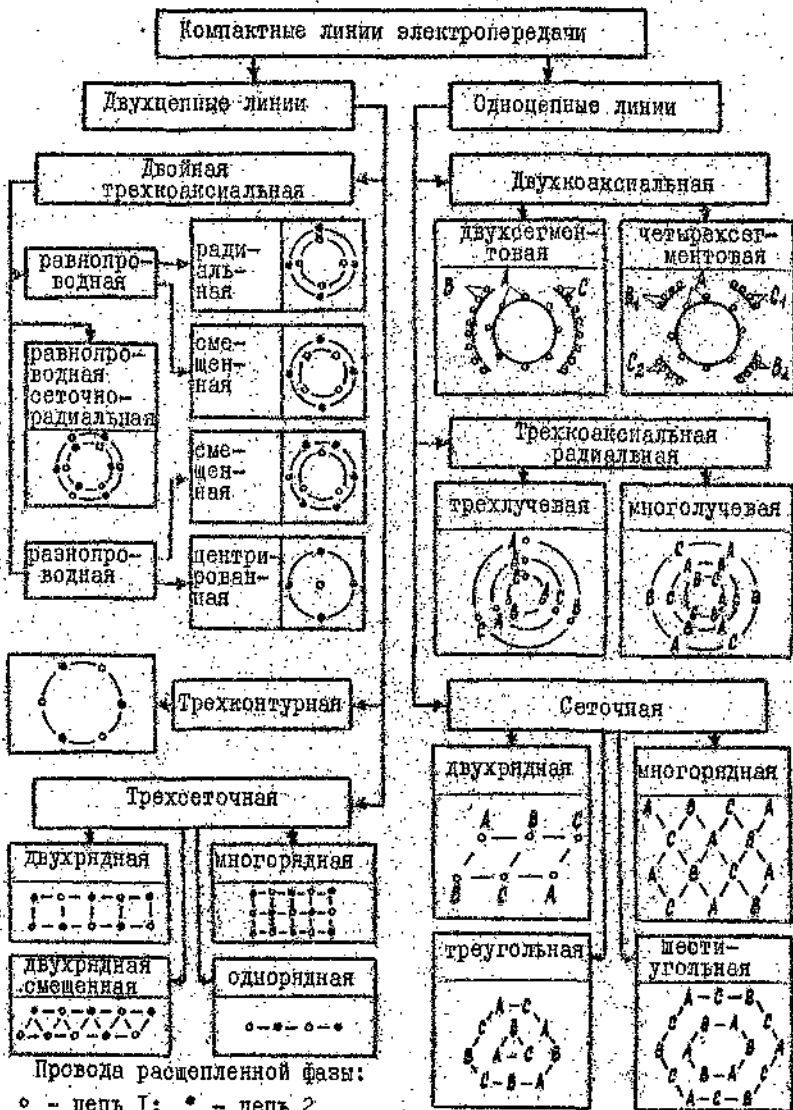


Рис. I Воздушные линии электропередачи повышенной натуральной мощности

В двухкоаксиальной двухсегментовой линии провода одной из расщепленных фаз расположены по контуру внутренней концентрической окружности, а провода двух других — по контуру внешней концентрической окружности симметрично относительно вертикальной осевой линии упомянутых окружностей. Четырехсегментовая линия образована путем разделения проводов двух расщепленных внешних фаз двухкоаксиальной двухсегментовой линии на две части (полуфазы) и поочередным расположением каждой из них по контуру внешней концентрической окружности, что дает возможность расширить положительные свойства линий двухкоаксиального типа. Контур каждой из трех концентрических окружностей вариантов трехкоаксиальной радиальной линии содержит равное количество проводов равноименных фаз, равномерно расположенных в последовательности прямого или обратного чередования фаз. При этом провода разноименных фаз разных окружностей расположены на линии одного радиуса (луча). Провода расщепленных фаз вариантов сеточной линии расположены в вершинах смежных ромбов, причем на большей диагонали каждого из них расположены провода одной фазы, на меньшей диагонали — провода разных расщепленных фаз.

Проведен качественный анализ схем подвески проводов одноцепных линий, предложены новые варианты опор и междуфазовых расщеплений, обеспечивающих жесткую и надежную фиксацию проводов контактных одноцепных линий по рис. 1.

В основу разработки конечных устройств трехцепной, двухцепной и одноцепной электропередач переменного тока положено выполнение двух требований: обеспечение максимальной возможной величины передаваемой мощности и способность регулирования электрических и режимных параметров линии при изменении режимов передающей и приемной систем.

Увеличение пропускной способности трехцепной электропередачи достигается за счет двух групп трех трехфазных трансформаторов, установленных по концам электропередачи, и началом обмоток которых через линейные выключатели присоединены попарно сближенные провода шести фаз линии (с векторами приложенных напряжений, сдвинутыми на 120°). Причем в каждом трансформаторе обмотки со стороны линии соединены в звезду, а начало обмотки оставшейся фазы заземлено. Регулирование режимов электропередачи осуществляется путем дискретного изменения угла фазового сдвига θ между

векторами напряжений, приложенных к проводам обближенных фаз, реализуемого за счет дополнительной установки по концам линии трех выключателей.

Эффективность двухцепной электропередачи обеспечивается путем установки на передающем и приемном ее концах фазосдвигающих устройств, каждое из которых выполнено на базе трехстержневого трансформатора, имеющего со стороны линии две группы полуобмоток, к которым присоединены провода попарно обближенных расщепленных разноименных фаз линии (с векторами приложенных напряжений, находящегося в противофазе). Введение устройств регулирования напряжения в одну из групп полуобмоток дает возможность плавно регулировать угол θ (в пределах до 90°), обеспечивая тем самым изменение электрических параметров электропередачи и ее режима.

Расширение возможностей двухкоаксиальной двухсегментовой одноцепной электропередачи осуществляется посредством установки по концам ее линии трех групп коммутационных аппаратов, позволяющих: во-первых, регулировать режим данной электропередачи путем попарного объединения двух соседних внешних полуфаз под одно напряжение (вариант двухсегментовой электропередачи) и дальнейшего (при необходимости) перевода электропередачи в режим трех полуфаз; во-вторых, повысить надежность электропередачи за счет локализации и устранения возможных повреждений между разноименными фазами и фазой (-ами) и землей.

Предложены принципиальные электрические схемы одноцепных электропередач, повышение пропускной способности и регулирование режимов которых осуществляется изменением фазового сдвига векторов напряжения каждой из двух фаз относительно вектора напряжения третьей фазы в пределах до 180° .

В т о р а я г л а в а посвящена исследованию электрических параметров и характеристик новых компактных линий, оценке возможностей вариантов их конструкций и определению путей увеличения натуральной мощности, снижения экологического влияния и улучшения режимов электропередачи.

Выполнен анализ известных методов расчета электрических параметров и полей воздушных линий. Сформулированы и изложены основные положения обобщенной универсальной методики, на основании которой разработаны алгоритм и программа по определению параметров новых воздушных компактных электропередач. Алгоритмы и програм-

ма реализованы на ЕС ЭВМ.

Выходной информацией с ЭВМ являются результаты расчета параметров линии — электрические заряды проводов, напряженность электрического поля E_1 на поверхности проводов и их индуктивности L_i и емкости C_i , эквивалентные значения индуктивности $L_{2,i}$ и емкости $C_{2,i}$ каждой фазы линии и каждой цепи — L_p, C_p , волнового сопротивления Z_p и натуральной мощности S_{nat} ; профиль и уровень напряженности электрического поля E_3 в поперечном сечении линии на уровне 1,8 м над землей.

Исследование параметров компактных двухцепных линий выполнено при изменении угла фазового сдвига θ в диапазоне $0-180^\circ$. Последнее связано с регулированием электрических параметров и характеристик указанных линий и дает основание называть их управляемыми. При угле θ , равном 180° , двухцепные управляемые линии имеют значения L_p, Z_p, E_3 наименьшие, а C_p, S_{nat}, E_1 наибольшие. При этом параметры $L_p, C_p, Z_p, S_{nat}(P_{nat})$, как и при $\theta = 0^\circ$, являются вещественными. Для углов θ , не равных 0 и 180° , значения их комплексные.

Установлены закономерности и особенности изменения рабочих параметров фаз L_p, C_p , волнового сопротивления Z_p , натуральной мощности P_{nat} , значений E_1, E_3 компактных линий по рис. 1, а также одноцепных двухфазных электропередач с регулируемым фазовым сдвигом. Дано физическое объяснение полученных результатов. Определены пути эффективного использования поверхности и сечения проводов новых компактных линий.

Выполнены исследования двойных трехкоаксиальных линий напряжением $U = 110-500$ кВ при изменении числа составляющих n в расщепленных фазах от 2 до 12 и радиуса расщепления фаз внутренней цепи от 0,2 до 1,0 м. Установлено, что в режиме противофазы величина P_{nat} равнопроводных радиальных и смещенных линий определяется, в основном, параметром n внешней цепи, пропорциональна ему и практически не зависит от радиуса расщепления фаз последней. Значение P_{nat} равнопроводной сеточно-радиальной линии пропорционально ее параметру n . Возможная область использования равнопроводной центрированной линии ограничивается

$U = 220$ кВ, а по условию эффективного использования поверхности и сечения проводов для электропередачи $U = 220$ кВ и более целесообразно применять равнопроводные смещенные линии.

Выяснено, что диапазон изменения электрических параметров двойных трехоаксиальных линий при регулировании угла θ тем шире, чем больше проводов в фазах и радиус расщепления фаз внутренней цепи.

Дана оценка величины удельной натуральной мощности ρ_i двойных трехоаксиальных линий, определенной на один провод расщепленной фазы. Наибольшее значение ρ_i имеет равнопроводная сеточно-радиальная линия. Для ВЛ $U = 110$ и 220 кВ ρ_i превышает аналогичный показатель традиционных линий в 1,4-1,5 раза.

Проведены исследования электропередач трехконтурного типа напряжением 110-500 кВ. Установлено, что трехконтурные линии разных классов напряжения имеют практически равные значения параметров L_3 , C_3 , Z_3 . Их P_{nat} пропорциональна n и определяется классом напряжения линии. Причем для ВЛ 110-330 кВ ρ_i в 1,5 раза превышает аналогичный показатель традиционных трехпроводных линий. Градиент электрического поля E_3 под линиями 110-330 кВ составляет менее 1 кВ/м, что практически исключает воздействие поля на окружающую среду.

Показано, что для эффективного использования сечения проводов трехконтурной электропередачи $U = 330$ кВ и выше составляющие расщепленных фаз также целесообразно расщеплять. Оптимальное число расщепления составляющего для линий 330 кВ - три, 500 кВ - четыре. Для этих условий на рис. 2 представлены зависимости P_{nat} , $E_3 = f(n)$. Сплошные линии соответствуют электропередаче 330 кВ, штриховые - 500 кВ.

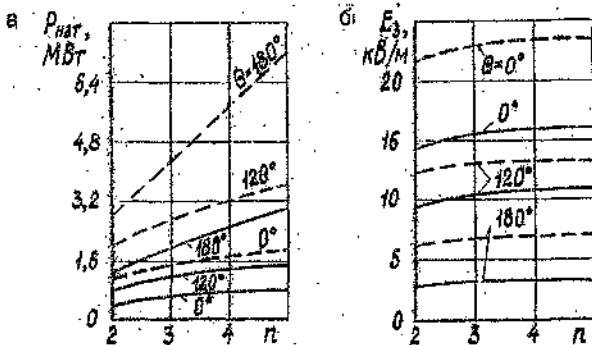


Рис. 2 Зависимости натуральной мощности цепи (а) и напряженности поля (б) линий от параметра n .

Видно, что величина E_3 при $\theta = 180^\circ$ не превышает значений, ограничивающих время нахождения живых организмов в зоне электропередачи, а при $\theta > 120^\circ$ не превышает уровень экологического влияния линий традиционного исполнения.

Рассмотрены вопросы регулирования режимов электропередачи. Показано, что чем дальше контуры удалены друг от друга, чем больше параметр n и чем ближе провода расположены друг к другу по контуру, тем шире диапазон изменения электрических параметров трехконтурной линии при $\theta = \text{var}$.

В отличие от трехконтурных трехсеточные линии характеризуются повышенным взаимодействием электромагнитных полей в попарно сближенных фазах разных цепей. Причем доказано, что трехсеточные двухрядные и трехконтурные линии при минимально допустимых расстояниях между соседними проводами сближенных фаз, определяемых рядом ограничений, и одинаковых габаритах, числе и радиусе проводов в фазах и регулировании угла θ в диапазоне $0 - 180^\circ$ имеют практически одинаковые значения параметров $L_3, C_3, Z_3, P_{\text{нат}}, E_3$.

Выполнено исследование параметров вариантов двухкоаксиальных одноцепных линий напряжением 220-500 кВ при изменении n от 3 до 12 и радиусов внутренней R_1 и внешней R_2 концентрических окружностей. Дана оценка значений ρ_1 линий и изложены мероприятия по ее увеличению. Сформулированы пути выравнивания электрических зарядов фаз и симметрирования их параметров. Рассмотрены диапазоны дискретного регулирования параметров двухкоаксиальной четырехсегментовой электропередачи.

Установлено, что величина $P_{\text{нат}}$ двухкоаксиальных линий определяется параметрами их конструкции - n , шагом расщепления t_p внутренней и внешних фаз, радиусами R_1, R_2 . Она тем выше, чем значение параметров n, t_p, R_1 больше, а R_2 меньше. Уровень поля под линиями 220 кВ с $n < 6$ и ВЛ 330-500 кВ не превышает E_3 традиционных электропередач, достигает своего максимального значения при $n = 12$ и составляет соответственно величину, равную 7,8; 9,2 и 12,9 кВ/м.

В работе дана оценка возможностей конструкций трехкоаксиальных радиальных и сеточных линий напряжением 110-220 кВ. Величина $P_{\text{нат}}$ этих линий пропорциональна n и определяется классом

напряжения электропередач, а E_3 под ними не превышает значений, равных 1,0 - 3,0 кВ/м. При этом ρ_i данных линий в 1,4 - 1,5 раза выше ρ_i линий традиционного типа равного класса напряжения.

Оценены возможности одноцепной двухфазной электропередачи с регулируемым фазовым сдвигом, определяемые числом проводов в расщепленных фазах и их взаимным расположением.

Определено влияние грозозащитных тросов на величину натуральной мощности компактных электропередач. При их учете значение $P_{\text{нат}}$ увеличивается незначительно и лежит в пределах точности проведения инженерных расчетов.

Выполнена оценка эффективности использования ширины трассы и площади поперечного сечения новых компактных двухцепных и одноцепных, а также известных типов линий электропередачи напряжением 110-500 кВ, из которой следует, что новые компактные линии по сравнению с традиционными позволяют повысить плотность потока передаваемой мощности на единицу ширины трассы (МВт/м) и площади поперечного сечения (МВт/м²) электропередачи в два и более раз. Степень увеличения плотности потока определяется классом напряжения электропередачи и количеством составляющих в расщепленных фазах.

Третья глава посвящена экспериментальному исследованию параметров и режимов компактных электропередач на промышленной и повышенной частоте.

В основу создания линии положена трехконтурная компактная конструкция. Линия имеет следующие технические характеристики: класс напряжения - 0,38 кВ; длина - 1030 м; число проводов - 12; число пролетов - 26; марка проводов - А 16. На линии сформировано три пучка проводов по четыре провода в каждом. Провода пучка расположены в вершинах квадрата и сближены между собой до 0,3 м. Центры квадратов образуют равносторонний треугольник. Путем коммутации на передающем и приемном концах электропередачи имеется возможность формирования одной, двух, трех и четырех цепей линии.

Разработан и создан высокочастотный шестифазный генератор с выходной номинальной частотой f_n , равной 10 кГц, для моделирования и исследования режимов новых компактных электропередач. Генератор имеет следующие блоки: генератор задающих сигналов

(Г); распределитель импульсов (РИ), формирующий две симметричные трехфазные системы векторов выходных напряжений; шесть фильтров нижних частот (ФЧ); трехполюсный переключатель на шесть положений (П), обеспечивающий вращение на 360° с шагом 60° одной трехфазной системы векторов напряжений относительно второй; шесть фазных усилителей (ФУ) (рис. 3).



Рис. 3 Блок-схема высокочастотного шестифазного генератора

Проведены исследования по определению рабочих параметров - индуктивности L_p и емкости C_p трехконтурной электропередачи при углах фазового сдвига θ , равных 0, 60, 120 и 180° . Значения L_p получены по измеренным параметрам стационарного режима нагруженной линии (падению напряжения, потерям активной мощности и токам фаз) с применением известных формул пересчета. Стационарный режим электропередачи обеспечивался регулируемой нагрузкой трех видов: активной, смешанной с преобладанием активной и смешанной с преобладанием реактивной. Для контроля полученных значений L_p был использован мостовой метод. Параметры L_p для обоих методов при углах 0 и 180° отличаются соответственно не более, чем на 1 и 2,5%; при 60 и 120° - 12,5 и 10% (рис. 4). Относительно большая погрешность в последнем случае объясняется нарушением симметрии расположения проводов при определении индуктивностей однофазных линий мостовым методом, по которому получены значения L_p трехконтурной линии.

Параметр L_p фазы линии дополнительно рассчитан на ЕС ЭВМ по обобщенной универсальной методике (рис. 4). Максимальное расхождение между значениями L_p , измеренными в стационарном режиме, и расчетными, составляет 3,6% и соответствует углу θ , равному 180° .

Экспериментальное определение рабочих значений C_p фаз трехконтурной линии при изменении угла θ в диапазоне 0- 180° выполнено с помощью высокочастотного шестифазного генератора по

параметрам стационарного режима моделируемой электропередачи с разомкнутыми фазами конца линии. Нахождение параметра C_p (кривые 1 и 2, рис. 4) осуществлялось двумя способами.

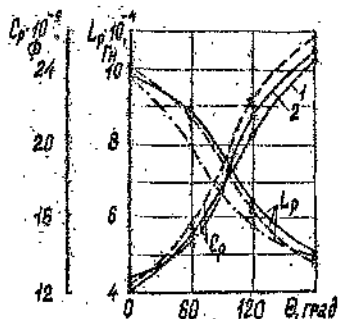


Рис. 4 Зависимости рабочих параметров L_p и C_p фазы трехконтурной линии от угла θ при различных методах определения входных сопротивлений: — стационарный режим; - - - мостовой метод; - - - расчет на ЕС ЭВМ

Первый (кривая 1) заключался в измерении токов холостого хода (емкостных токов) фаз $I_{i, \text{хх}}$, и на основании выражения

$$C_{p,i} = \frac{I_{i, \text{хх}}}{2\pi f U_i}$$

определялись емкости $C_{p,i}$ каждой фазы трехконтурной линии и ее эквивалентная рабочая емкость

$$C_p = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 C_{p,i}$$

где f и U_i — частота и напряжение i -ой фазы источника питания.

При втором подходе (кривая 2) использовалось соотношение между напряжениями начала U_n и конца U_k линии электропередачи

$$U_k = \frac{U_n}{\cos \lambda}$$

которое после преобразования имеет вид

$$C_{p,i} = \frac{\arccos \left(\frac{U_n}{U_k} \right)^2}{12,96 \cdot 10^{-3} L_{p,i} f^2}$$

где $L_{p,i}$ — рабочая индуктивность i -ой фазы линии электропередачи.

Наибольшее расхождение между экспериментальными зависимостями $C_p = f(\theta)$ соответствует углу 120° и равно 6,8%; наименьшее — углу 180° и составляет 2,5%; между экспериментальными и расчетными значениями максимальное расхождение — 8,3% (120°), минимальное — 1,3% (0°).

Установлены причины, объясняющие различие в величинах параметра C_p , определенного экспериментальным и расчетным путем.

Проведены исследования при прочих равных условиях значений L_p , C_p других типов линий — одноцепных: с одним, двумя и тремя проводами в расщепленной фазе; со сближенными проводами трех равноименных фаз (провода разноименных фаз расположены в одном пучке экспериментальной линии); одноцепных двухфазных электропередач с регулируемым фазовым сдвигом и линии типа УСВЛ при регулировании их угла θ в диапазоне $0-180^\circ$. Подтверждена достоверность полученных расчетных и экспериментальных значений L_p , C_p трехкоктурной линии и работоспособность разработанных методики, алгоритма и программы расчета и исследования электрических параметров применительно к другим типам линий.

Исследованы режимы трехкоктурной электропередачи на промышленной и повышенной частоте. Экспериментально установлено, что уровень напряжений на разомкнутом конце линии в режиме холостого хода трехкоктурной электропередачи при изменении угла θ от 0 до 180° слабо зависит от его величины. Показано, что регулирование угла θ в пределах до 180° приводит к изменению потерь активной мощности в управляемой электропередаче. Установлено, что в режиме холостого хода при изменении угла θ и нагрузочном режиме при θ , равном 0 и 180° , трехкоктурная электропередача характеризуется теми же закономерностями и особенностями изменения своих режимных параметров, что и электропередачи традиционного типа. При углах, отличных от 0 и 180° , нагрузочный режим связан с переносом мощности между цепями. Причем для $\theta = 60^\circ$ и 120° и естественном распределении передаваемой по цепи линии мощности нагрузка цепей осуществляется в одинаковой пропорции и не зависит от мощности нагрузки прием-

ной системы. Предложены режимные и технические мероприятия, позволяющие снизить потери активной мощности от уравнительных токов.

Выполнены исследования режимных параметров одноцепных электропередач и электропередач с регулируемым электрическими параметрами, подтверждавшие достоверность выводов о результатах исследования электропередач управляемого типа.

В четвертой главе определены показатели экономической эффективности трехконтурных линий напряжением 110-500 кВ и трехкоаксиальных радиальных напряжением 110 и 220 кВ. Установлена зависимость стоимости 1 км линии от числа составляющих в расщепленных фазах, сечения проводов и класса напряжения электропередач. Капиталовложения на строительство компактных линий определялись по выражению

$$K = K_{оп} + K_{ф} + K_{лр} + K_{тр} + K_3 + K_{от.з},$$

где $K_{оп}$, $K_{ф}$, $K_{лр}$, $K_{тр}$, K_3 - капитальные затраты на изготовление, транспортировку и монтаж соответственно опор, фундаментов, проводов, грозозащитных тросов и заземления; $K_{от.з}$ - затраты на попуску отчуждения сельскохозяйственных земель.

Исследована эффективность использования капиталовложений на 1 МВт передаваемой мощности. Установлено, что затраты на единицу передаваемой мощности с увеличением числа составляющих в расщепленных фазах, напряжения линии и уменьшением сечения проводов снижаются в сравнении с аналогичными показателями одноцепных трехфазных линий традиционного исполнения в два и более раз.

В а к л ю ч е н и е

1. Разработаны новые конструкции двойных трехкоаксиальных и трехсеточных линий, развивающие и дополняющие положительные свойства компактных двухцепных электропередач, и компактных одноцепных линий (двухкоаксиальные, трехкоаксиальные радиальные и сеточные), обеспечивающие повышение пропускной способности и снижение экологического влияния электропередачи.

2. Предложены схемы трехцепной, двухцепной и одноцепных электропередач повышенной пропускной способности, улучшающие режимы передачи электрической энергии, и элементы конструкций линий, повышающие надежность их работы.

Предложенные технические решения выполнены на уровне изобретений и защищены авторскими свидетельствами.

3. Сформулированы основные положения обобщенной методики, разработаны алгоритм и программа для ЭС ЭВМ расчета параметров и исследования новых компактных электропередач с учетом особенностей их конструктивного исполнения и работы в электроэнергетических системах. Выполнена оценка, проведен сопоставительный анализ и определены закономерности и особенности изменения электрических параметров и характеристик компактных управляемых двухцепных и компактных одноцепных электропередач, а также одноцепных двухфазных электропередач с регулируемым фазовым сдвигом.

4. Установлено, что натуральная мощность двойных трехкоаксиальных равнопроводных сеточно-радиальных, трехконтурных, трехсечных, трехкоаксиальных радиальных и сеточных линий пропорциональна числу составляющих в расщепленных фазах и определяется классом напряжения линий. Значения удельной натуральной мощности этих линий напряжением 110-220 кВ, определенной на один провод расщепленной фазы, в 1,4-1,5 раза превышают аналогичный показатель традиционных ВЛ. Уровень напряженности электрического поля под указанными линиями напряжением 110-500 кВ не ограничивает время нахождения живых организмов в зоне электропередачи.

5. Выполнена оценка эффективности использования ширины трассы и площади поперечного сечения новых компактных двухцепных и одноцепных электропередач. Установлено, что по сравнению с традиционными новые компактные линии позволяют в 2 и более раз повысить плотность потока передаваемой мощности на единицу ширины трассы и площади поперечного сечения. Степень увеличения плотности потока определяется классом напряжения электропередачи и количеством составляющих в расщепленных фазах.

6. Разработаны и созданы экспериментальная натурная воздушная линия компактного типа и высокочастотный десятифазный генератор, позволяющие исследовать параметры и режимы воздушных линий различных конструкций на промышленной и повышенной (10 кГц) частоте. Проведены экспериментальные исследования на натурной линии по определению рабочих параметров трехконтурной управляемой электропередачи. Максимальное расхождение экспериментальных и расчетных значений рабочих параметров в диапазоне изменения угла фазового сдвига от 0 до 180° не превышает: по индуктивности - 3,6%, по ем-

кости - 6,6 - 8,3%.

7. Выполнены исследования режимов трехконтурной управляемой электропередачи. Установлено, что уровень напряжений на разомкнутом конце линии в режиме холостого хода электропередачи слабо зависит от диапазона регулирования угла фазового сдвига. Показано, что регулирование фазового сдвига напряжений до 180° приводит к изменению потерь активной мощности. Рассмотрены факторы, влияющие на снижение потерь мощности. Определены особенности режимов управляемой электропередачи при углах фазового сдвига, отличных от 0 до 180° . Выполнен сопоставительный анализ количественных данных, полученных при исследовании электрических параметров и режимов различных конструкций воздушных электропередач экспериментальным и расчетным путем, подтвердивший теорию расчета параметров электропередач компактного и управляемого типов и достоверность теоретических результатов.

8. Определены показатели экономической эффективности трехконтурных линий напряжением 110-500 кВ и трехкоаксиальных радиальных линий напряжением 110-220 кВ. Установлена зависимость стоимости 1 км данных линий от числа составляющих в расщепленных фазах и класса напряжения электропередач. Показано, что капитальные затраты на 1 МВт передаваемой мощности упомянутых линий в 2 и более раз меньше, чем у аналогичных линий традиционного исполнения.

Основные положения диссертации отражены в следующих работах:

1. А.с. 1075896 (СССР) Линия электропередачи / Г.Е.Поспелов, В.Т.Федин, Г.И.Селиверстов. - Непубл.

2. А.с. 1098486 (СССР) Электропередача переменного тока / В.Т.Федин, М.С.Чернецкий, Г.И.Селиверстов. - Непубл.

3. А.с. 1138881 (СССР) Способ передачи электроэнергии / В.Т.Федин, Г.И.Селиверстов. - Опубл. в Б.И., 1985, № 5.

4. Поспелов Г.Е., Федин В.Т., Селиверстов Г.И. Возможности компактной управляемой электропередачи. - Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт, 1985, № 3, с. 51-60.

5. Поспелов Г.Е., Федин В.Т., Селиверстов Г.И., Духович Г.Л. Параметры компактных управляемых двухцепных линий электропередачи концентрической конструкции. - Изв. вузов. Энергетика, 1984, № II, с. 10-15.

6. Конструктивные и электрические параметры экспериментальной линии новой компактной конструкции / Г.Е.Поспелов, В.Т.Федин,

Г.И.Селиверстов и др. - Изв.вузов. Энергетика, 1985, № 9, с. 8-14.

7. Федин В.Т., Селиверстов Г.И., Духович Г.И. Характеристики трехконтурных компактных двухцепных линий электропередачи. ДЭИ. Информэнерго. - Изв.вузов. Энергетика, 1985 (№ 1800ен-Д85). - 32 с.

8. Селиверстов Г.И. Электрические параметры компактных управляемых электропередач 330-500 кВ. - В сб.: Научные и прикладные проблемы энергетики. - Минск: Вышэйшая школа, 1985, вып. 12, с. 53-57.

9. Поспелов Г.Е., Федин В.Т., Селиверстов Г.И. Управление уровнем потерь электрической энергии регулированием угла фазового сдвига в электропередаче повышенной натуральной мощности. - В сб.: Пути экономии и повышения эффективности использования электроэнергии в системах электроснабжения промышленности и транспорта: Тезисы докладов Всесоюзной научной конференции. - Казань, 1984, с. 4-5.

10. Поспелов Г.Е., Федин В.Т., Селиверстов Г.И. Трехконтурная компактная управляемая линия электропередачи. Информационный бюллетень. - Минск: БелНИИЭИ, 1985. Серия 44.29.37, № 096. - 4 с.

С.Г.Селиверстов

Георгий Иванович СЕЛИВЕРСТОВ

РАЗРАБОТКА НОВЫХ ВОЗДУШНЫХ КОМПАКТНЫХ
ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

05.14.02 - Электрические станции (электри-
ческая часть), сети и системы и
управление ими

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Корректор Г.В.Шаркина

Подписано в печать 2.04.86.

Формат 60x84 1/8. Бумага т. № 2. Офс. печ.

Усл.печ.л. 1.16. Уч.-изд.л. 0.9. Тир. 95; Зек. 31. Бесплатно

Отпечатано на ротарипите НИИ. 220027, Минск, Ленинский пр., 66.