

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Иркутская государственная сельскохозяйственная академия

Электротехника и электроника

Трехфазные электрические цепи

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

КНИГА 1

Иркутск 2013 г.

УДК (621.039.637:544.0130)(075.8)
ББК с211я73-я-5

Электротехника и электроника. Трехфазные электрические цепи: учеб. пособие: в 2 кн. КН1 / М.Ю. Бузунова, А.Г. Черных. – Иркутск: Иркутск. гос. сельхоз. акад., 2013. – 222с.

Книга предназначена для студентов в качестве учебного пособия к теоретическим и практическим занятиям по одноименному курсу. Книга имеет своей целью дать студентам необходимое теоретическое понимание и возможность подготовки к практическим занятиям, входящим в программу дисциплины, при изучении раздела «Трехфазные электрические цепи», оказать помощь при выполнении цикла самостоятельных расчетно-графических работ с последующей защитой при их сдаче, а также способствовать приобретению студентами практических навыков при проведении компьютерных расчетов в программной среде Matlab-Simulink для решения задач курса.

Учебное пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Агроинженерия» в рамках подготовки бакалавров по профилю «Электрооборудование и электротехнологии в сельском хозяйстве» и «Технические системы в агробизнесе». Может быть рекомендовано студентам обучающихся по профилю «Электроснабжение» и «Энергообеспечение предприятий». Будет полезно инженерно-техническими работниками, специализирующимися в области расчета и монтажа электрооборудования с использованием прогрессивных электротехнологий.

Авторы-составители: **М.Ю. Бузунова, А.Г. Черных.**

Рецензенты:

А.П.Степанов, кандидат технических наук, доцент; декан факультета систем обеспечения транспорта Иркутского государственного университета путей сообщения.

В.О.Головщиков, канд. техн. наук, ст. науч. сотр. СО РАН; Генеральный директор СРО НП «Восточно-Сибирское объединение энергоаудиторов».

ISBN (книга 1)

© Бузунова М.Ю., Черных А.Г., 2013

© Иркутская государственная
сельскохозяйственная академии, 2013

ВВЕДЕНИЕ

Современные электрические сети, состоящие из узлов генерации электрической энергии, узлов трансформации, линий передачи и силовой нагрузки представляют собой в подавляющем большинстве случаев трехфазные системы. Такое распространение трехфазных систем объясняется тем, что их использование в практической энергетике позволило, в первую очередь, решить проблему передачи энергии на большие расстояния. Кроме того, часто с учетом комплексного характера нагрузки и ее несимметрии, в электрических сетях необходимо иметь не одно, а два напряжения: одно – для коммунально-бытовой нагрузки; другое, повышенное – для силовой. Применение 4-х проводной 3-х фазной цепи (системы с нейтральным проводом), разработанной Доливо-Добровольским в 1890 г., дало возможность регулировать напряжение в отдельных фазах и располагать двумя напряжениями в системе фазным и линейным. В добавок, 4-х проводной 3-х фазной система допускает иметь определенную асимметрию нагрузки, поскольку позволяет сохранять в каждой фазе неизменное напряжение. Генерируемая на электростанциях электроэнергия подвергается 5–6-кратной трансформации, и для распределения энергии между разнообразными потребителями необходимо устанавливать большое число 3-х фазных трансформаторов.

Эти факторы определили одно из главных мест раздела трехфазные цепи в курсе "Электротехника и электроника". Материал данного издания разделен на три части: первая часть посвящена основным сведениям о многофазных (трехфазных) системах и цепях; вторая часть – вопросам теории трехфазных цепей, а также решению основных задач при анализе данных систем, отражающих основные режимы работы, включая аварийные; третья часть – изучению конструкции основных систем с самонесущими изолированными проводами (СИП), области их применения, способам монтажа с применением специальной соединительной и подвесной арматуры. Кроме того, в третьей части на практических примерах показаны особенности выбора систем СИП исходя из имеющихся условий с учетом особенностей трассы, сельских или городских территорий, плотности населения и застройки, климатических условий, возможности капиталовложений.

1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ О МНОГОФАЗНЫХ СИСТЕМАХ И ЦЕПЯХ

1.1 ПОНЯТИЯ О МНОГОФАЗНЫХ СИСТЕМАХ И ЦЕПЯХ

Напомним, что совокупность устройств, образующих путь для электрического тока называется электрической цепью [2]. При этом, совокупность нескольких электрических цепей, в которых действуют электродвижущие силы одной и той же частоты, отличающиеся друг от друга по фазе, называется многофазной системой электрических цепей, а число цепей, входящих в систему, называется числом фаз многофазной системы.

Совокупность э.д.с., действующих в многофазной системе электрических цепей, называют многофазной системой электродвижущих сил, а совокупность токов, протекающих в этих цепях, называют многофазной системой токов. Электрические силы и токи, образующие многофазную систему, в общем случае, могут отличаться друг от друга не только по фазе, но и по величине.

Многофазную систему электрических цепей называют несвязанной, если цепи, образующие эту систему, не соединены электрически между собою, при наличии же электрического соединения между цепями многофазную систему ценней называют связанной. Связанные многофазные системы, как обладающие существенными преимуществами, получили наиболее практическое распространение, и практически представляют собой сложные электрические цепи, которые принято называть многофазными цепями. Следует отметить, что электрические цепи, образующие как связанные, так и несвязанные многофазные системы, обычно называют «фазами». Многофазные цепи, у которых комплексы полных сопротивлений всех фаз одинаковы, называются симметричными, а в противном случае считается, что многофазная цепь несимметрична.

1.2 ВОЗНИКНОВЕНИЕ МНОГОФАЗНЫХ СИСТЕМ

Продолжающийся в настоящее время современный этап в развитии электротехники относится к 90-м годам XIX века, когда была решена комплексная энергетическая проблема, соединившая в себе технические основы электропередачи и электропривода. [3]

Это решение было найдено в применении многофазных цепей, из которых многолетняя практика сделала выбор в пользу цепей 3-х фазных.

Наиболее интересными и новыми элементами 3-х фазной системы явились электродвигатели.

Принцип действия асинхронного двигателя с вращающимся полем содержится в опытах Араго (1824г.): при вращении медного диска под (над) магнитной стрелкой она тоже приходила во вращение. Но в то время это явление так и не смогли объяснить, назвав его «эффект Араго».

К открытию явления вращающегося магнитного поля в современном его понимании пришли независимо друг от друга итальянский ученый Г. Феррарис и югослав, работавший большую часть в Америке, Н Тесла (1885г.).

Они показали, что если две катушки, расположенные под прямым углом, питать двумя переменными токами, отличающимися по фазе на 90° , то вектор суммарной магнитной индукции в точке пересечения осей катушек получает равномерное вращательное движение, не изменяясь по абсолютной величине.

Поэтому естественно, что исследование многофазных систем началось с двухфазных.

Двигатель Феррариса развивал мощность 3 Вт. Но как получить два тока, отличных по фазе на угол 90° или близкий к нему? Феррарис решил эту проблему двумя путями:

- пара катушек включалась в первичную цепь трансформатора с разомкнутой магнитной системой, а другая пара – в его вторичную цепь;

- в цепь первой пары катушек включали добавочное сопротивление, а в цепь второй – добавляли катушки индуктивности.

Таким образом, один путь получения двухфазной системы токов состоял в «расщеплении» обычного однофазного переменного тока, метод, требовавший дополнительных достаточно сложных устройств, и, кроме того, фазовый угол никогда не составлял 90° – вращающееся поле искажалось.

Но не эти недостатки помешали Феррарису и некоторым его современникам разработать конструкцию двухфазного двигателя. В своих исследованиях он предположил, что электродвигатель также, как это принято в технике передачи сигналов, должен работать не при максимальном КПД, а при максимальной полезной мощности! Простые расчеты показывают, что

этому условию соответствовал двигатель со скольжением 50%. Естественно, что интерес к его работе упал.

По иному пути пошли некоторые другие изобретатели, и среди них наибольшего успеха добился Н. Тесла. Он не прибегал к попыткам получить разность фаз 90° в самих двигателях, а пришел к выводу о целесообразности построения такого генератора.

Основным недостатком двигателя Тесла, сделавшим его неконкурентноспособным, было наличие выступающих проводов с сосредоточенной обмоткой, обуславливающих большое магнитное сопротивление и неблагоприятное распределение МДС вдоль воздушного зазора. Конструкция обмотки ротора (как выяснилось потом) тоже была неудачной (две взаимно перпендикулярные обмотки).

Неудачным оказался и выбор двухфазной системы токов из всех многофазных систем. Известно, что значительную долю стоимости установки для передачи электроэнергии составляют затраты на линейные сооружения – в частности на провода – четыре провода (в два раза больше, чем в однофазном токе).

1.3 ТРЕХФАЗНАЯ СИСТЕМА

В то время, как Тесла и его сотрудники пытались усовершенствовать 2-х фазную систему, в Европе была разработана более сложная – трехфазная.

Документы свидетельствуют, что в 1887-1889 гг. многофазные системы разрабатывались несколькими учеными и инженерами.

В Америке Ч. Бредли, стремясь изготовить электрическую машину с лучшим использованием активных материалов, конструировал 2-х и 3-х фазные генераторы. Не зная о явлении вращающегося магнитного поля, он предполагал, что потребители в его многофазных системах должны включаться как однофазные.

Немецкий инженер Ф. Хазельвандер подошел к 3-х фазной системе токов с других исходных позиций. Зная, что коллектор у генератора и двигателя постоянного тока выполняют взаимнообратные функции, он решил его устранить. Для этого те точки обмотки якорей каждой из машин, от которых идут отпайки к пластинам коллектора, соединил соответственно друг с другом. Это удобно сделать у обращенной машины, якоря которых неподвижны, а полюсы вращаются. Стремясь уменьшить при этом число

линейных проводов, он нашел минимальный вариант – три провода. Однако, он не сумел увидеть всех возможностей этой системы и создать пригодные для практики конструкции машин. [4]

Наибольших успехов в развитии многофазных систем добился М.О. Довливо-Добровольский, сумевший придать своим работам практический характер. Поэтому он по праву считается основоположником 3-х фазной техники.

Осенью 1888 г. Довливо-Добровольский, тогда еще молодой инженер, познакомившись с содержанием доклада Феррариса, не согласился с его выводами о практической непригодности индукционного двигателя. Еще до этого он заметил, что если замкнуть обмотки якоря двигателя постоянного тока, то возникает тормозной момент большой величины. Он понял, что если сделать вращающееся поле по методу Феррариса и поместить туда такой короткозамкнутый якорь с малым сопротивлением, то он скорее сгорит, чем будет вращаться с небольшим числом оборотов.

Первым шагом, который сделал Довливо-Добровольский, было изобретение ротора с обмоткой в виде беличьей клетки.

Важным этапом в трудах Довливо-Добровольского явилась замена 2-х фазных систем 3-х фазными. Он совершенно справедливо отмечал, что при увеличении числа фаз улучшается распределение МДС по окружности статора. Дальнейшее увеличение числа фаз не являлось целесообразным, так как привело бы к значительному увеличению расхода меди на провода.

Для получения 3-х фазной системы в результате исследований Довливо-Добровольский сделал ответвление от 3-х равноотстоящих точек обмотки якоря машины постоянного тока. Таким образом были получены токи с разностью фаз 120° . Таким путем была найдена связанная 3-х фазная система, отличающаяся той особенностью, что она требовала для передачи и распределения электроэнергии только три провода. В 2-х фазной системе Тесла также можно было обойтись тремя проводами, но достоинства 3-х фазной системы подкрепилось преимуществом двигателей.

Дальнейшее увеличение числа фаз привело бы к некоторому улучшению использования электрических машин, но вызвало бы дополнительный расход меди. Поэтому 3-х фазная система оказалась оптимальной.

Весной 1889 г. был построен первый 3-х фазный асинхронный двигатель мощностью примерно 100 Вт. Он питался от 3-х фазного одноякорного преобразователя и показал хорошие результаты. Вслед за этим был создан другой более мощный одноякорный преобразователь, а затем началось изготовление 3-х фазных синхронных генераторов.

Уже в первых синхронных генераторах применялись два основных способа сопряжения фаз: звезда (условное обозначение – Y) и треугольник (условное обозначение - Δ).

Важным достижением Довливо-Добровольского явилось также то, что он отказался от выполнения асинхронного двигателя с выступающими полюсами, а сделал обмотку статора распределенной по всей окружности. В результате уменьшилось магнитное рассеяние по сравнению с двигателем Тесла.

Вскоре Довливо-Добровольский заменил кольцевой тип обмотки статора барабанным, так синхронный двигатель приобрел современный вид.

Новое затруднение в развитии 3-х фазной техники возникло в связи с ограниченной мощностью первых источников 3-х фазного переменного тока. Дело в том, что пусковой ток асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в несколько раз превышает номинальный ток.

Анализ, возникших затруднений привел к созданию так называемого двигателя с фазным ротором.

1.4 ТРЕХФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

3-х фазная система не получила бы в первые же годы своего существования быстрого распространения, если бы она не решила проблемы передачи энергии на большие расстояния.

Но электропередача выгодна при высоком напряжении, которое в случае переменного тока получается при помощи трансформатора.

3-х фазная система не представляла принципиальных затруднений для трансформации энергии, но требовала трех однофазных трансформаторов вместо одного при однофазной системе. Такое увеличение числа довольно дорогих устройств не могло не вызвать стремления поиска более удовлетворительного решения.

В 1889 г. Довливо-Добровольский изобрел 3-х фазный трансформатор [3]. В начале этого был трансформатор с радиальным расположением

сердечника (рис.1,а). Его конструкция еще напоминает электрическую машину, где отсутствует воздушный зазор.

Затем было предложено несколько конструкций призматических трансформаторов, где удалось получить более компактную форму магнитопровода (рис.1,б).

Наконец, в октябре 1891 г. была подана заявка на 3-х фазный трансформатор с параллельными стержнями (рис.1,в).

В принципе эта конструкция сохранилась до настоящего времени.

Целям электропередачи отвечали также работы, связанные с изучением схем 3-х фазной цепи.

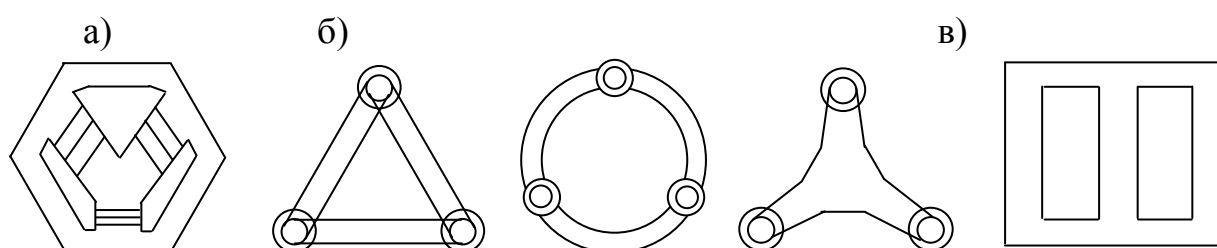


Рис. 1

В 80-90-х годах XIX века значительное место занимала осветительная нагрузка, которая часто вносила существенную несимметрию в систему. Кроме того часто надо было иметь не одно, а два напряжения: одно – для осветительной нагрузки; другое, повышенное – для силовой.

Чтобы иметь возможность регулировать напряжение в отдельных фазах и располагать двумя напряжениями в системе (фазным и линейным), Довливо-Добровольский разработал в 1890 г. 4-х проводную схему 3-х фазной цепи – систему с нейтральным проводом. Сразу же он указал, что в ряде случаев вместо нейтрального провода можно использовать «землю».

Свои предложения Довливо-Добровольский обосновал доказательством того, что 4-х проводная 3-х фазная система допускает иметь определенную асимметрию нагрузки, поскольку позволяет сохранять в каждой фазе неизменное напряжение.

Для регулирования напряжения в отдельных фазах 4-х проводной системы он предложил использовать изобретенный им 3-х фазный автотрансформатор.

Таким образом, в течение трех лет были конструктивно разработаны все основные элементы 3-х фазной системы электроснабжения [3].

Из всех возможных конструкций многофазных синхронных генераторов, принцип действия которых был известен задолго до того, получил широкое практическое применение лишь 3-х фазный синхронный генератор.

Так зародилась и получила свое начальное развитие 3-х фазная система электрического тока.

Изучение истории техники 3-х фазных цепей показывает, что решающую роль в ее зарождении и развитии сыграли труды М.О. Довливо-Добровольского.

Несомненно, столь быстрый и полный успех его трудов во многом определялся тем обстоятельством, что его труды отвечали основным направлениям эпохи.

Кроме того, нельзя упускать из виду, что Довливо-Добровольский работал в условиях наиболее развитой в то время электротехнической промышленности - германской и, являясь одним из технических руководителей крупнейшей электротехнической фирмы, располагал большими возможностями для экспериментальных исследований и практической реализации своих изобретений. В то время, как другим его современникам не доставало инженерного подхода к решению возникающих проблем (Бредли, Тесла) либо материально-технической базы (Хазельвандер), у Довливо-Добровольского было и то и другое, помноженное на глубокие знания и огромную работоспособность.

1.5 ПЕРВАЯ ТРЕХФАЗНАЯ ЛИНИЯ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Генеральным испытанием 3-х фазной системы явилось Лауфен-Франкфуртская экспериментальная электропередача. Этот выдающийся для своего времени эксперимент был приурочен к Международной электротехнической выставке и Международному конгрессу электротехников, которые проводились в 1891 г. во Франкфурте на Майне (Германия) [4].

Организаторы выставки предложили фирме АЕГ, где в то время работал Довливо-Добровольский, передать посредством электричества энергию водопада на реке Неккар (близ местечка Лауфен) на территорию

выставки во Франкфурт. Расстояние составляло 170 км. В Лауфене в распоряжение строителей передачи выделялась турбина полезной мощностью около 300 л.с.

До этого времени дальность электропередачи, не считая нескольких опытных, не превышала 15 км, и ряд специалистов полагали, что КПД установки может оказаться меньше 50%.

Довливо-Добровольскому предстояло в течение года спроектировать и построить асинхронный двигатель мощностью 75 кВт и 3-х фазные трансформаторы мощностью 100÷150 кВА. Изготовление генератора было поручено главному инженеру швейцарского завода «Эрликон». Задачи были очень серьезные: испытание новой системы перед лицом всего мира; невиданные масштабы; двигатели и трансформаторы на такие мощности еще никогда не строились.

В августе 1891 г. на выставке впервые зажглись 1000 ламп накаливания, питаемых током Лауфенской гидроэлектростанции, а двигатель привел в действие декоративный водопад. Это символизировало новую победу над природой.

Проблема передачи электроэнергии была решена. По результатам международной комиссии было зафиксировано $\eta_{\min} = 68,5\%$; $\eta_{\max} = 75,2\%$; линейное напряжение составляло 15 кВ.

Создание 3-х фазной системы явилось важнейшим этапом в развитии техники. Эта система вывела проблему передачи электроэнергии, а вместе с ней и электротехнику, из кризисного состояния, сложившегося в 80-х годах XIX века.

Производительные силы получили новую техническую базу во многом способствовавшую углублению и расширению процесса концентрации и централизации производства.

Электрическая энергия, которая из мест дешевого получения теперь могла передаваться в удаленные промышленные районы, вызвала коренную реконструкцию энергохозяйства промышленных предприятий и начала внедряться в технологию.

2. ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ И СЕТИ

Как отмечалось ранее, из связанных систем особо широкое распространение, как наиболее совершенная и наиболее экономичная получила 3-х фазная система [2].

Как правило, 3-х фазная система цепей представляет собой совокупность трех сходных по конфигурации электрических цепей переменного тока, в которых действуют три периодические э.д.с. одинаковой частоты, сдвинутые друг относительно друга по фазе. Отдельные цепи, входящие в такую систему, в соответствии с принятым выше определением, называют ее фазами и по стандарту обозначают первыми тремя буквами латинского алфавита (A,B,C) или (a,b,c). Этими же буквами помечают и все величины, относящиеся к той или иной фазе 3-х фазной системы цепей.

2.1 ПРОСТЕЙШИЙ ТРЕХФАЗНЫЙ ГЕНЕРАТОР

Три э.д.с. строго одинаковой частоты, сдвинутые друг относительно друга по фазе на определенные углы получают в 3-х фазных генераторах. Простейший по конструкции 3-х фазный генератор представляет собой три одинаковых жестко скрепленных друг с другом витка проволоки (рис. 2, витки A, B, C показаны в разрезе), расположенных в равномерном магнитном поле на оси, перпендикулярной направлению поля [2].

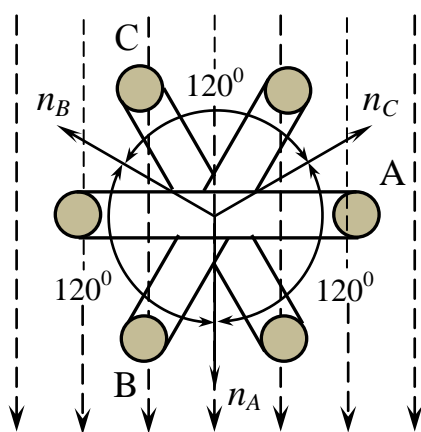


Рис. 2

Плоскости отдельных витков повернуты друг относительно друга на равные углы по 120° . при вращении такой системы витков с постоянной угловой скоростью ω в каждой из них будет индуцироваться синусоидальная э.д.с., начальная фаза которой определяется начальным положением витка в поле так, например, в начальном положении витка A, показанном на рис.2, когда нормаль n_A к плоскости витка совпадает по направлению с полем, начальная фаза э.д.с. e_A , индуцирующаяся в этом витке, будет равна нулю и, следовательно, эту э.д.с. можно записать в виде:

ном на рис.2, когда нормаль n_A к плоскости витка совпадает по направлению с полем, начальная фаза э.д.с. e_A , индуцирующаяся в этом витке, будет равна нулю и, следовательно, эту э.д.с. можно записать в виде:

$$e_A = E_{Am} \sin \omega t$$

Графически она изображается или синусоидой, выходящей из начала координат (кривая e_A на рис. 3, а) или горизонтальным вектором (вектор \vec{E}_A рис. 3, б).

Поскольку виток В сдвинут по отношению к витку А на 120° против направления вращения, его э.д.с. e_B будет отставать по фазе от э.д.с. e_A на 120° (рис. 3, а, б), т.е. иметь начальную фазу $\varphi_{eB} = -\frac{2\pi}{3}$.

$$e_B = E_{Bm} \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right).$$

Э.д.с. e_C витка С, в свою очередь, будет отставать по фазе на 120° от э.д.с. e_B (рис. 3, а), т.е. на 240° от э.д.с. e_A или, что то же, опережать ее на 120° (рис. 3, б). Таким образом, начальную фазу э.д.с. e_C можно записать двояко ($\varphi_{eC} = -\frac{4\pi}{3}$ или $\varphi_{eC} = +\frac{2\pi}{3}$), чему соответствуют два равносильных выражения для e_C :

$$e_C = E_{Cm} \sin \left(\omega t - 2\frac{2\pi}{3} \right) = E_{Cm} \sin \left(\omega t + 2\frac{2\pi}{3} \right).$$

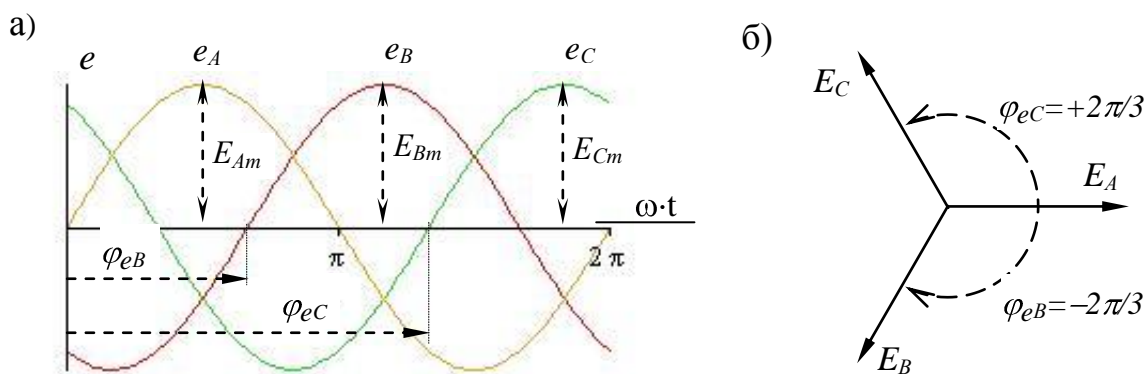


Рис. 3

2.2 ТРЕХФАЗНЫЕ СИСТЕМЫ Э.Д.С., ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ

Совокупность трех э.д.с. трехфазного генератора получила название трехфазной системы э.д.с. В нормально функционирующих трехфазных генераторах, так же как и в рассмотренном выше простейшем генераторе, все три синусоидальные э.д.с. системы имеют одинаковые максимальные и, следовательно, действующие значения [2]:

$$E_{Am} = E_{Bm} = E_{Cm}; \quad E_A = E_B = E_C$$

и сдвинуты друг относительно друга по фазе на равные углы 120° (рис. 3, б). Такие системы называют симметричными трехфазными системами э.д.с.

Если хотя бы одно из этих условий будет нарушено, т.е. э.д.с. по величине окажутся разными или сдвинутыми друг относительно друга на разные углы, то система э.д.с. будет несимметричной. На рис.4 в виде векторных диаграмм показаны три примера несимметричных систем э.д.с., в первом из которых (рис. 4, а) нарушено равенство действующих э.д.с., во втором (рис. 4, б) не выполнено равенство углов сдвига между ними, на третьей диаграмме (рис. 4, в) представлен общий случай несимметрии. Под действием системы трех э.д.с. в трехфазной системе цепей будут протекать три сдвинутых друг относительно друга по фазе тока, составляющих в совокупности трехфазную систему токов. Соответственно, в трехфазных цепях вводят понятие и о трехфазной системе напряжений.

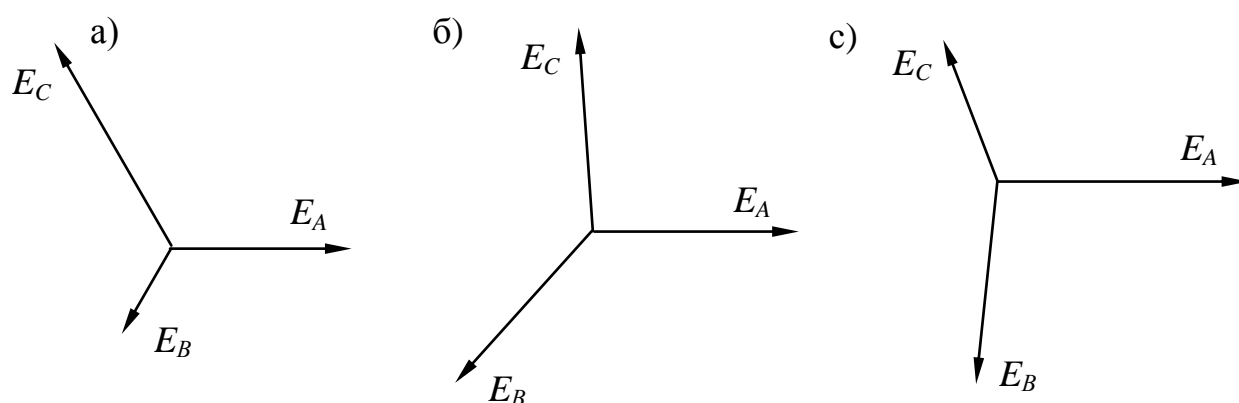


Рис. 4

Аналогично трехфазной системе э.д.с. различают симметричные и несимметричные системы токов и напряжений.

2.3 НЕСВЯЗАННАЯ ТРЕХФАЗНАЯ СИСТЕМА ЦЕПЕЙ

Более подробное знакомство с трехфазными цепями целесообразно начать с их простейшего вариант – несвязанной трехфазной системы цепей, схема которой приведена на рис. 5. Три обмотки трехфазного генератора, называемые фазами генератора, изображены на ней тремя катушками, повернутыми на схеме друг относительно друга на 120° , что соответствует основной конструктивной особенности этих генераторов. Три соединенных с ним приемника Z_A, Z_B, Z_C , называемых фазами приемника и образующих в

совокупности трехфазный приемник, по общему правилу, также показаны повернутыми на углы по 120° . Полагая внутреннее сопротивление фаз генератора и соединительных проводов равным нулю, для токов в фазах цепи получим:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{E}_A}{Z_A}; \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{E}_B}{Z_B}; \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{E}_C}{Z_C}.$$

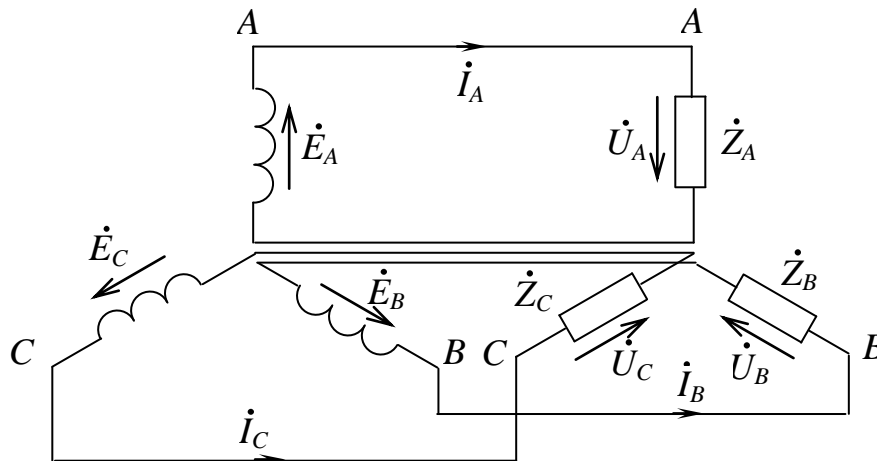


Рис. 5

В общем случае несимметричной системы цепей, когда комплексные сопротивления отдельных фаз приемника различны, то для несимметричной

$$\dot{Z}_A = z_A e^{j\varphi_A}; \quad \dot{Z}_B = z_B e^{j\varphi_B}; \quad \dot{Z}_C = z_C e^{j\varphi_C}$$

системы ЭДС E_A, E_B, E_C генератора (рис. 4, в) режим работы цепи можно иллюстрировать векторной диаграммой, показанной на (рис. 6, б). Как видно из диаграммы различные по величине токи I_A, I_B, I_C сдвинуты относительно соответствующих ЭДС на разные углы $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$, также образуют несимметричную систему.

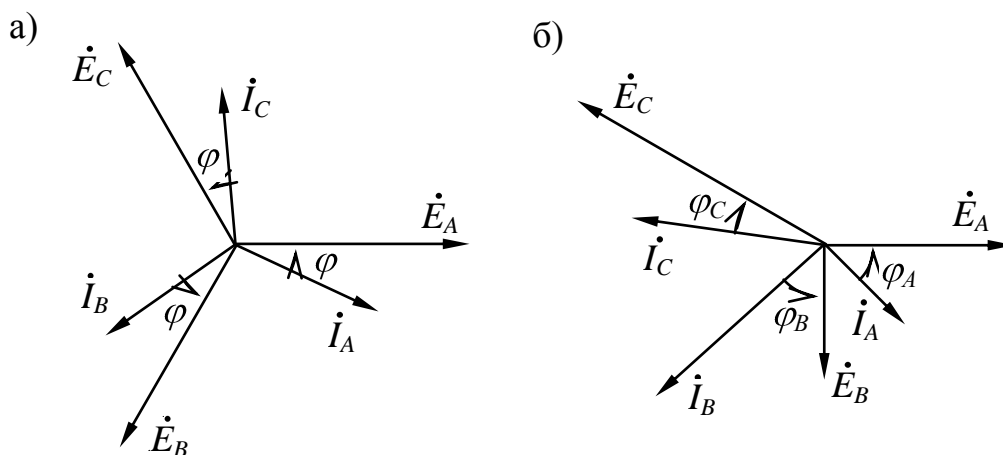


Рис. 6

Наоборот, при симметричной системе ЭДС генератора (рис. 3, б) и симметричной системе цепей ($\dot{Z}_A = \dot{Z}_B = \dot{Z}_C = ze^{j\varphi}$) токи также образуют симметричную систему. Действительно, все они будут равны по величине и сдвинуты по отношению к соответствующим ЭДС на одинаковые углы φ (рис. 6, а). Поскольку векторы ЭДС повернуты друг относительно друга на равные углы 120° , то векторы токов также будут сдвинуты между собой на те же углы, что и ЭДС, т.е. углы равные 120° .

Режим, при котором как система ЭДС, так и система токов являются симметричными, получил название симметричного режима трехфазной системы цепей.

2.4 ТРЕХФАЗНАЯ ЦЕПЬ, СОЕДИНЕННАЯ ЗВЕЗДОЙ

Может быть легко получена из несвязанной системы цепей (рис. 5) путем объединения трех обратных проводов в один так называемый нейтральный провод (рис. 7, а). Образовавшиеся при этом узлы N и n , в первом из которых соединяются вместе три начала обмоток генератора, а во втором - выводы фаз приемника, принято называть нейтральными точками соответственно генератора и приемника. Провода, соединяющие вершины A , B , C звезд генератора и приемника, называют линейными проводами и различают между собой буквами по принадлежности к той или иной фазе цепи. Прделанное преобразование трехфазной системы цепей не влечет за собой какого-либо изменения ее режима, и токи I_A, I_B, I_C в линейных проводах новой цепи (рис. 7, а), называемые линейными токами цепи, будут определяться теми же соотношениями, которые были приведены ранее.

Ток же I_N в нейтральном проводе при указанном на схеме его положительном направлении будет равен сумме линейных токов.

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

Если система линейных токов в трехфазной цепи, соединенной звездой (рис. 7, а), симметрична, т.е. токи изображаются тремя равными по величине векторами, развернутыми на равные углы по 120° , то их геометрическая сумма обращается в нуль, и ток в нейтральном проводе исчезает. Очевидно, что надобность в этом проводе тогда отпадет, и его можно смело упразднить, перейдя к трехфазной цепи без нейтрального провода (рис. 7, б).

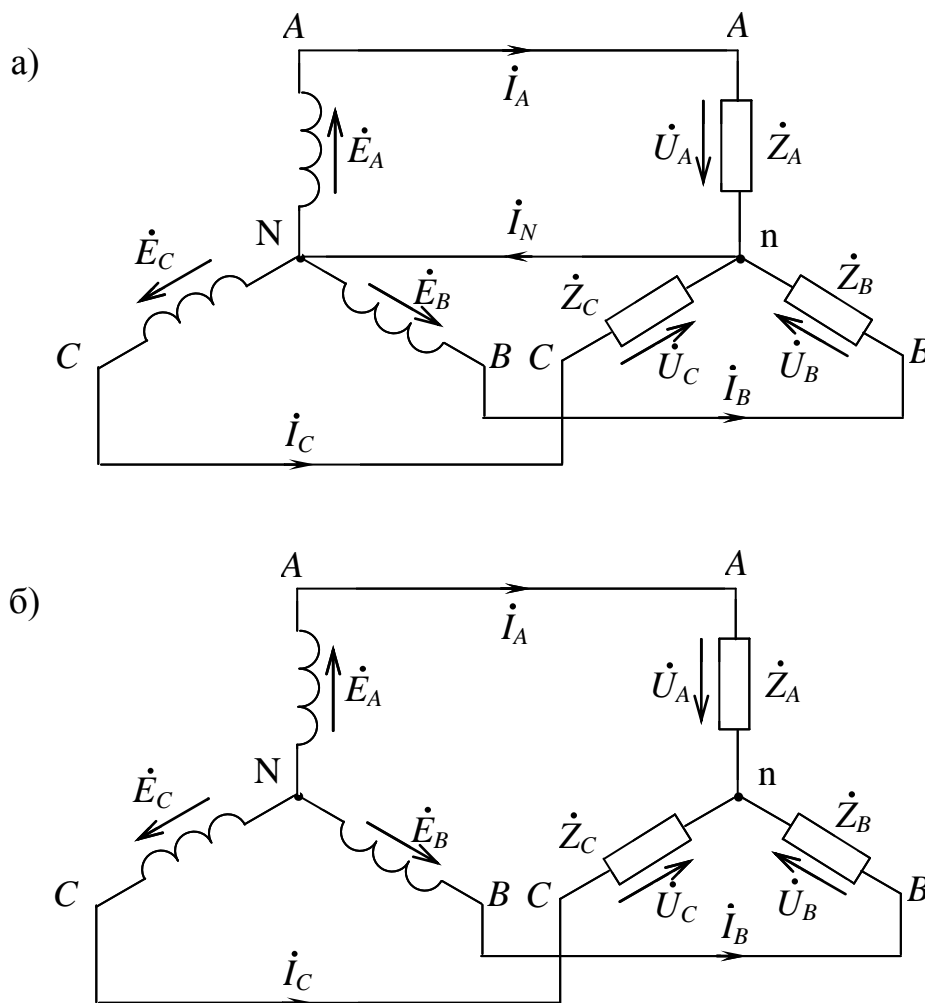


Рис. 7

Упразднением нейтрального провода в связанной трехфазной цепи достигается значительная экономия материала соединительных проводов по сравнению с несвязанной системой цепей или по сравнению с однофазной цепью соответствующей мощности. В этом заключается одно из преимуществ трехфазных цепей, проявляющееся особенно ярко в цепях с длинными линиями передачи. Трехфазные цепи без нейтрального провода (рис. 7, б) получили на практике название трехпроводных трехфазных цепей, в отличие от четырехпроводных, в которых нейтральный провод присутствует (рис. 7, а).

Заметим, что экономия материала проводов в трехфазных цепях по сравнению с однофазными наблюдается не только в трехпроводных, но, в известной мере, и в четырехпроводных цепях. Дело в том, что на практике даже при относительно резко выраженной несимметрии токов их геометрическая сумма, равная току в нейтральном проводе, редко достигает

значения линейных токов цепи. Поэтому нейтральный провод никогда не делают утроенного сечения по сравнению с линейными проводами, как, казалось бы, необходимо с первого взгляда. В худшем случае нейтральный провод по площади поперечного сечения выбирают равным линейным проводам, а чаще половине или даже четверти линейного провода.

В трехфазной цепи, соединенной звездой, различают две системы напряжений. Под фазными напряжениями понимают систему напряжений $U_{\phi An}, U_{\phi Bn}, U_{\phi Cn}$ на фазах приемника (рис.8) или между каждым из линейных проводов и нейтральным проводом. Линейными напряжениями называют систему напряжений $U_{\lambda AB}, U_{\lambda BC}, U_{\lambda CA}$ различными парами линейных проводов.

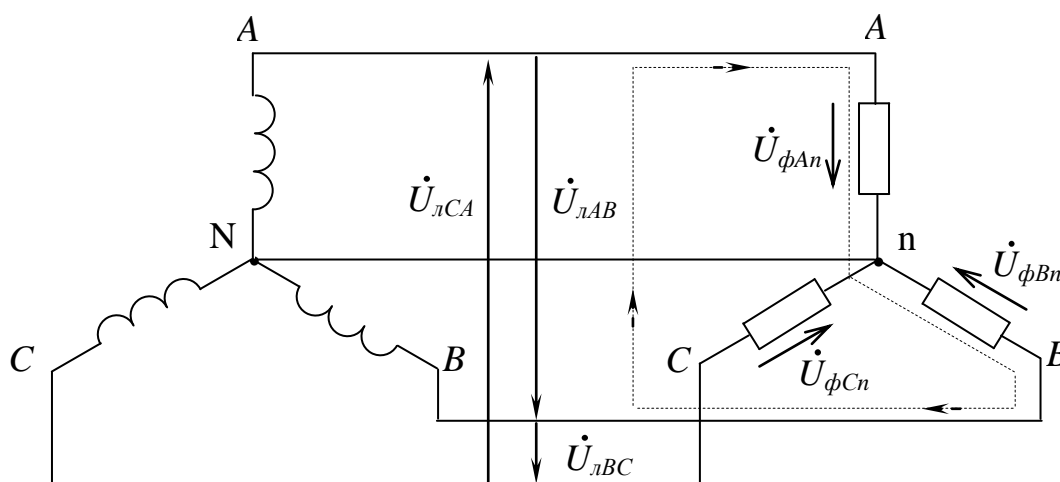


Рис. 8

Составляя на основе второго закона Кирхгофа уравнение по замкнутому контуру, показанному на рис. 8 штриховой линией,

$$\dot{U}_{\phi An} - \dot{U}_{\phi Bn} - \dot{U}_{\lambda AB} = 0$$

нетрудно выразить линейное напряжение $\dot{U}_{\lambda AB}$ через фазные напряжения $\dot{U}_{\phi An}$ и $\dot{U}_{\phi Bn}$

$$\dot{U}_{\lambda AB} = \dot{U}_{\phi An} - \dot{U}_{\phi Bn} .$$

С помощью аналогичных уравнений по контурам, включающим другие пары фаз приемника, можно получить выражения для двух остальных напряжений. В целом для всех трех линейных напряжений получим

$$\dot{U}_{\lambda AB} = \dot{U}_{\phi An} - \dot{U}_{\phi Bn}; \quad \dot{U}_{\lambda BC} = \dot{U}_{\phi Bn} - \dot{U}_{\phi Cn}; \quad \dot{U}_{\lambda CA} = \dot{U}_{\phi Cn} - \dot{U}_{\phi An} .$$

Таким образом, система линейных напряжений однозначно определяется по системе фазных напряжений цепи.

Приведенные соотношения наглядно иллюстрируются топографической векторной диаграммой напряжений, построенной на (рис. 9, а) применительно к принятым на схеме (рис. 8) их положительным направлениям. Напомним, что топографические диаграммы являются особым видом векторных диаграмм. Отличительная особенность этих диаграмм состоит в том, что векторы напряжений на зажимах отдельных элементов сложной цепи на топографической диаграмме располагают в том порядке, в котором в рассматриваемой цепи расположены соответствующие ее элементы, причем вектор напряжения на последующем элементе цепи примыкает обязательно к вектору напряжения на предыдущем элементе, в то время, как на обычных векторных диаграммах любой вектор можно переносить параллельно самому себе в любое место плоскости. Направление векторов на топографической диаграмме должно соответствовать, как и на обычных векторных диаграммах, выбранному положительному направлению напряжений на соответствующих участках.

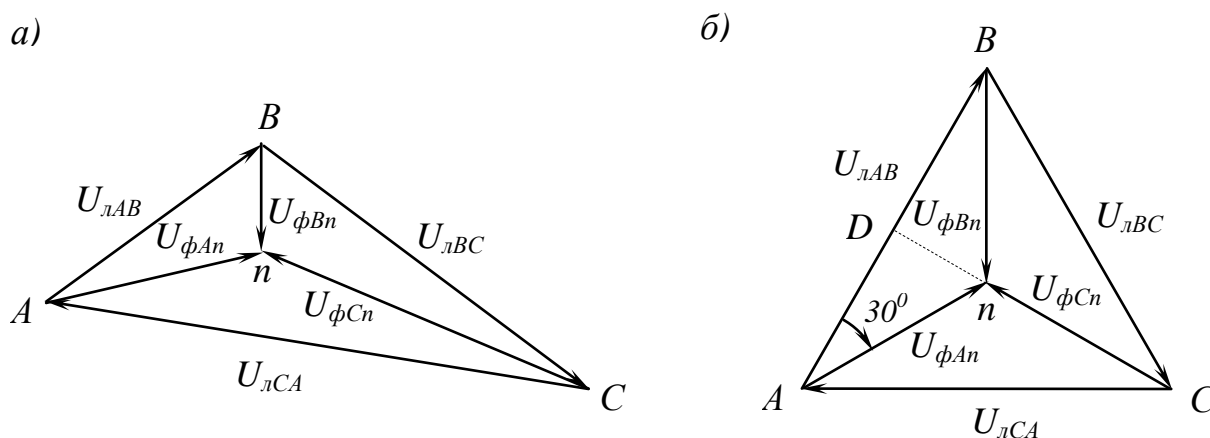


Рис.9

Таким образом, для (рис. 9) согласно правилам построения топографических диаграмм три вектора фазных напряжений размещены на этой диаграмме сходящимися в одной точке n , соответствующей нейтральной точке приемника, так как к этой точке направлены фазные напряжения на схеме. Тогда начала A, B, C векторов этих напряжений будут соответствовать вершинам звезды приемника, и линейные напряжения, действующие между этими вершинами, изображаются на диаграмме

векторами, замкнутыми в так называемый треугольник линейных напряжений (треугольник ABC).

На (рис. 9, б) приведена векторная диаграмма для частного случая, когда фазные и линейные напряжения составляют симметричные системы. В этом случае все три фазных напряжения по величине равны друг другу

$$\dot{U}_{\phi An} = \dot{U}_{\phi Bn} = \dot{U}_{\phi Cn} = \dot{U}_{\phi}.$$

и надобность в их различии отпадает.

Тогда вместо трех различных обозначений напряжений обычно пользуются одним упрощенным (\dot{U}_{ϕ}) без указания принадлежности напряжения к той или иной фазе. Аналогично ограничиваются одним сокращенным обозначением и для трех линейных напряжений, если они принадлежат симметричной системе (точки над комплексными величинами для упрощения записи опускаются):

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{BC} = \dot{U}_{CA} = \dot{U}_l.$$

В заключение остановимся на соотношении действующих фазных и линейных напряжений при условии симметрии их систем, которое нетрудно получить из приведенной диаграммы (рис. 9, б). Из прямоугольного треугольника ADn , гипотенуза которого представляет собой фазное напряжение цепи, а больший катет равен половине линейного напряжения, имеем

$$\frac{U_l}{2} = U_{\phi} \cdot \cos 30^{\circ} = U_{\phi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2},$$

откуда $U_l = \sqrt{3} \cdot U_{\phi}$, т.е. линейные напряжения при условии симметрии в $\sqrt{3}$ раз больше фазных напряжений.

2.4.1 СИММЕТРИЧНАЯ НАГРУЗКА ПРИ СОЕДИНЕНИИ ЗВЕЗДОЙ (ТРЕХПРОВОДНАЯ СИСТЕМА)

В качестве примера рассмотрим работу трехфазного генератора синусоидальной э.д.с. на симметричную трехфазную нагрузку (рис. 10, а) и соответствующую этому случаю векторную диаграмму токов и напряжений (рис. 10, б). Заметим, что в качестве индуктивной нагрузки ($0 < \varphi < 90^{\circ}$) можно использовать асинхронную машину с заторможенным ротором, который можно смещать относительно статора на определенные углы, и тем самым

использовать саму машину в качестве фазорегулятора – устройства, позволяющего сдвигать по фазе на тот или иной угол систему напряжений, получаемых от обмоток ротора, по отношению к системе напряжений, приложенных к обмоткам статора.

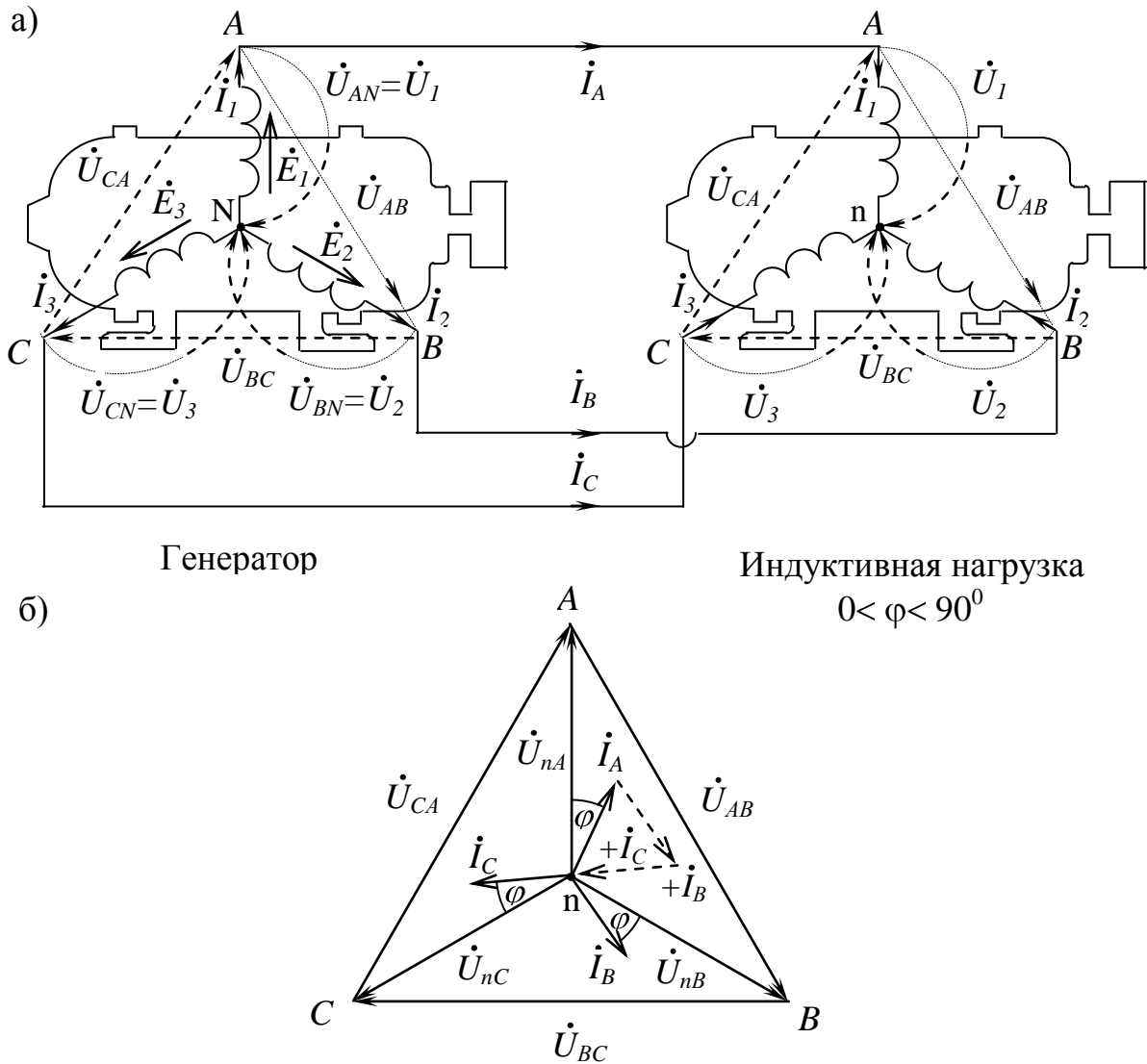


Рис. 10

Необходимо также отметить, что применительно к (рис. 10, а) направления всех фазных напряжений в генераторе и нагрузке получены с учетом предварительно выбранных условно положительных направлений э.д.с. ($E_1; E_2; E_3$) и токов ($I_1; I_2; I_3$) На основании 2^{го} закона Кирхгофа. При этом для (рис.10,б) справедливы следующие соотношения между линейными и фазными токами и напряжениями:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_1; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_2; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_3; \quad \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{AB} &= \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{BN} = \dot{U}_1 - \dot{U}_2; & \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{CN} = \dot{U}_2 - \dot{U}_3; \\ \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN} = \dot{U}_3 - \dot{U}_1 \end{aligned}$$

2.4.2 НЕСИММЕТРИЧНАЯ НАГРУЗКА ПРИ СОЕДИНЕНИИ ЗВЕЗДОЙ (ТРЕХПРОВОДНАЯ СИСТЕМА)

Схема включения соответствующая рассматриваемому случаю приведена на рис. 11.

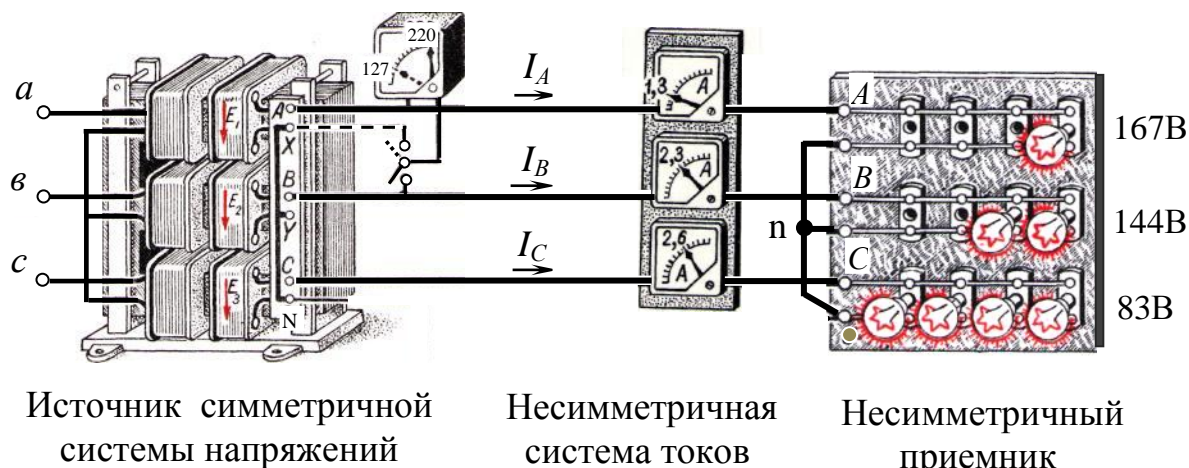


Рис. 11

В общем случае задача расчета подобного рода цепей (рис. 11) сводится к определению фазных напряжений для общего случая несимметричной трехпроводной системы. При расчете необходимо учитывать, что заданная система напряжений источника (фазные и линейные) в этом случае не является системой фазных напряжений приемника, без которой невозможно определение его фазных токов. Поскольку питание приемника осуществляется от трехпроводной сети, для решения задачи, в конечном счете, необходимы ее линейные (фазные) напряжения. По заданным напряжениям источника (сети) можно рассчитать фазные напряжения приемника, которые позволяют без труда вычислить и его фазные токи.

Для принятых ранее на (рис. 10, а) обозначений, расчетная схема, соответствующая рассматриваемому случаю, приведена на (рис. 12).

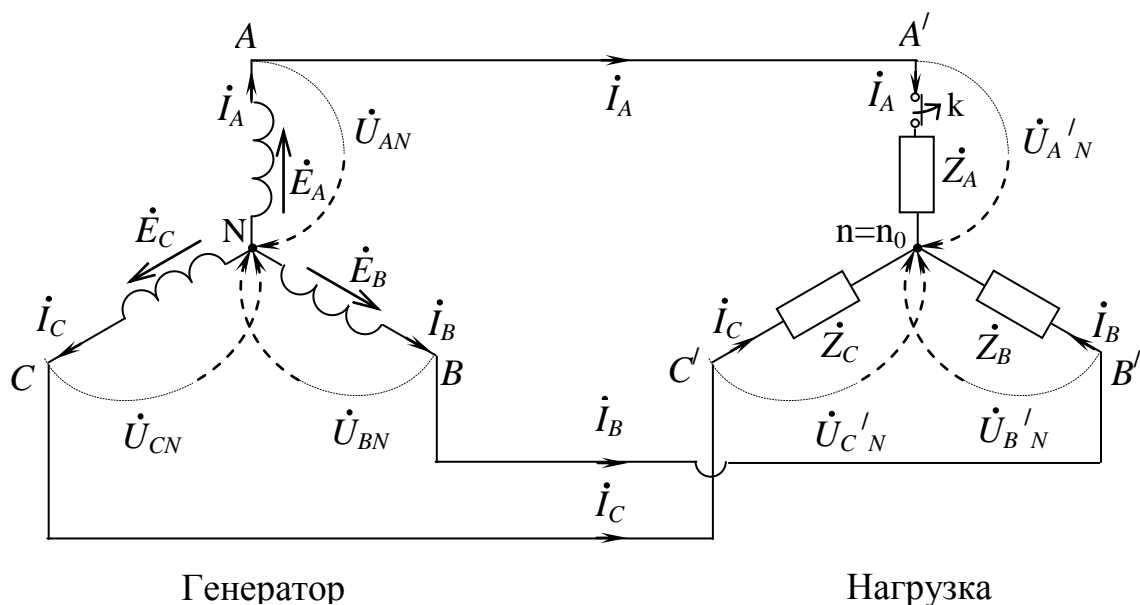


Рис. 12

Для рис.12 справедливы следующие обозначения: $(\dot{U}_{AN}; \dot{U}_{BN}; \dot{U}_{CN})$ – фазные напряжения симметричной системы трехфазных напряжений источника; $(\dot{E}_A; \dot{E}_B; \dot{E}_C)$ – соответствующие данной системе фазные э.д.с.; $(\dot{Z}_A; \dot{Z}_B; \dot{Z}_C)$ – обобщенная фазная нагрузка несимметричного приемника; $(\dot{U}_{A/n}; \dot{U}_{B/n}; \dot{U}_{C/n})$ и $(\dot{I}_A; \dot{I}_B; \dot{I}_C)$ – соответственно фазные напряжения и токи на зажимах приемника требующие своего расчета по условию задачи.

В качестве примера определим фазное напряжение $\dot{E}_{A/n}$ и ток \dot{I}_A в фазе A приемника. Расчет произведем с использованием теоремы Тевенена (метод наложения). С этой целью, на первом этапе расчета определим напряжение (\dot{U}_{A/n_0}) между токами A' и n при разомкнутой ветви A'n₀ (ключ K разомкнут). Затем, на втором этапе, определим сопротивление $\dot{Z}_{к.з.}$ всей прочей части цепи между разомкнутыми ключом K и точками A' и n при коротко замкнутых источниках э.д.с. $(\dot{E}_A; \dot{E}_B; \dot{E}_C)$. Далее определим искомый ток \dot{I}_A в фазе как частное от деления напряжения $\dot{U}_{n_0A'} = \dot{U}_{х.х.}$ (при разомкнутом ключе K) и слагаемого, определяемого суммой сопротивлений приведенной нагрузки фазы A (\dot{Z}_A) и сопротивления $\dot{Z}_{к.з.}$, а именно:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_{х.х.}}{\dot{Z}_{к.з.} + \dot{Z}_A}$$

Предположим, что ветвь $A'n_0$ разомкнута и найдем напряжение $\dot{U}_{A'n_0} = -\dot{U}_{x.x.}$ на ее зажимах. В соответствии с введенными на рис. 12 обозначениями, имеем:

$$\dot{U}_{A'n_0} = -\dot{U}_{x.x.} = \dot{U}_{An_0} = \dot{U}_{AN} + \dot{U}_{NB} + \dot{U}_{B'n_0} \text{ где}$$

$$\dot{U}_{AN} = \dot{E}_A; \quad \dot{U}_{NB} = -\dot{E}_B; \quad \dot{U}_{B'n_0} = \dot{I}_B \cdot \dot{Z}_B$$

Ток \dot{I}_B найдем из уравнения электрического равновесия для контура $(N-B-B'n_0-C'-C-N)$ составленному по второму закону Кирхгофа, имеем:

$$\dot{U}_{NB} + \dot{U}_{B'n_0} + \dot{U}_{n_0C'} + \dot{U}_{CN} = 0$$

В соответствии с приведенными на (рис. 12) выбранными направлениями токов, э.д.с. и напряжений, составляющие последнего уравнения удовлетворяют соотношениям:

$$\dot{U}_{NB} = -\dot{E}_B; \quad \dot{U}_{B'n_0} = \dot{Z}_B \cdot \dot{I}_B; \quad \dot{U}_{n_0C'} = -\dot{I}_C \cdot \dot{Z}_C$$

$$\dot{U}_{CN} = \dot{E}_C; \quad \dot{I}_C = -\dot{I}_B.$$

Тогда в преобразованном виде сумма слагаемых первого уравнения примет вид:

$$-\dot{E}_B + \dot{Z}_B \cdot \dot{I}_B - \dot{I}_C \cdot \dot{Z}_C + \dot{E}_C = -\dot{E}_B + \dot{Z}_B \cdot \dot{I}_B + \dot{I}_B \cdot \dot{Z}_C + \dot{E}_C = 0$$

Откуда окончательно имеем:

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{E}_B - \dot{E}_C}{\dot{Z}_B + \dot{Z}_C}$$

Определим напряжение фазных напряжений фазы B и фазы C при обрыве провода фазы A путем деления соответствующих выражений для напряжений $\dot{U}_{B'n_0}$ и $\dot{U}_{n_0C'}$, получим:

$$\frac{\dot{U}_{B'n_0}}{\dot{U}_{n_0C'}} = \frac{\dot{Z}_B \cdot \dot{I}_B}{-\dot{I}_C \cdot \dot{Z}_C} = \frac{\dot{Z}_B \cdot \dot{I}_B}{\dot{I}_B \cdot \dot{Z}_C} = \frac{\dot{Z}_B}{\dot{Z}_C}.$$

С учетом полученных соотношений определим напряжение $\dot{U}_{x.x.}$ по приведенному ранее выражению:

$$\dot{U}_{x.x.} = -\dot{U}_{A'n_0} = -\dot{U}_{An_0} = -(\dot{U}_{AN} + \dot{U}_{NB} + \dot{U}_{B'n_0}) = -(\dot{E}_A - \dot{E}_B + \dot{I}_B \cdot \dot{Z}_B) =$$

$$= -\left(\dot{E}_A - \dot{E}_B + \frac{\dot{E}_B - \dot{E}_C}{\dot{Z}_B + \dot{Z}_C} \cdot \dot{Z}_B \right) = -\frac{\dot{Z}_B \cdot (\dot{E}_A - \dot{E}_C) + \dot{Z}_C \cdot (\dot{E}_A - \dot{E}_B)}{\dot{Z}_B + \dot{Z}_C}.$$

Преобразуем полученное выражение следующим образом, опуская для удобства знак «-», получим:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{x.x} &= \frac{\dot{Z}_B \cdot (\dot{E}_A - \dot{E}_C) + \dot{Z}_C \cdot (\dot{E}_A - \dot{E}_B)}{\dot{Z}_B + \dot{Z}_C} = \frac{\dot{Z}_B \cdot \dot{U}_{CA} + \dot{Z}_C \cdot \dot{U}_{BA}}{\dot{Z}_B + \dot{Z}_C} = \\ &= \frac{\frac{\dot{Z}_B}{\dot{Z}_C} \cdot \dot{U}_{CA} + \dot{U}_{BA}}{\frac{\dot{Z}_B}{\dot{Z}_C} + 1} = \frac{\frac{\dot{U}_{B/n_0}}{\dot{U}_{n_0C'}} \cdot \dot{U}_{CA} + \dot{U}_{BA}}{\frac{\dot{U}_{B/n_0}}{\dot{U}_{n_0C'}} + 1} = \frac{\dot{U}_{B/n_0} \cdot \dot{U}_{CA} + \dot{U}_{n_0C'} \cdot \dot{U}_{BA}}{\dot{U}_{B/n_0} + \dot{U}_{n_0C'}} = \\ &= \frac{\dot{U}_{B/n_0} \cdot \dot{U}_{CA} + \dot{U}_{n_0C'} \cdot \dot{U}_{BA}}{\dot{U}_{BC}}, \text{ где } \dot{U}_{B/n_0} + \dot{U}_{n_0C'} = \dot{U}_{BC}.\end{aligned}$$

Примем для веденного ранее отношения \dot{Z}_B следующее обозначение:

$$K = \frac{\dot{Z}_B}{\dot{Z}_C} = \frac{\dot{U}_{B/n_0}}{\dot{U}_{n_0C'}}.$$

тогда, учитывая выражение для \dot{U}_{BC} , нетрудно получить, что:

$$\dot{U}_{B/n_0} = \frac{K}{K+1} \cdot \dot{U}_{BC} = K_1 \cdot \dot{U}_{BC}, \text{ где } K_1 = \frac{K}{K+1}$$

$$\dot{U}_{n_0C'} = (1 - K_1) \cdot \dot{U}_{BC}$$

С учетом полученных соотношений, преобразуем выражение для $\dot{U}_{x.x}$ следующим образом:

$$\begin{aligned}\dot{U}_{x.x} &= \frac{\dot{U}_{B/n_0} \cdot \dot{U}_{CA} + (1 - K_1) \cdot \dot{U}_{CA}}{\dot{U}_{BC}} = \\ &= \frac{K_1 \cdot \dot{U}_{BC} \cdot \dot{U}_{CA} + (1 - K_1) \cdot \dot{U}_{BC} \cdot \dot{U}_{BA}}{\dot{U}_{BC}} = K_1 \cdot \dot{U}_{CA} + (1 - K_1) \cdot \dot{U}_{BA} = \\ &= K_1 \cdot (\dot{U}_{CA} - \dot{U}_{BA}) + \dot{U}_{BA} = K_1 \cdot \dot{U}_{CB} + \dot{U}_{AB} = \dot{U}_{n_0B'} + \dot{U}_{BA}.\end{aligned}$$


В соответствии с полученным выражением для случая однородной несимметричной активной нагрузки, графические построения для нахождения $\dot{U}_{x.x}$ (обрыв фазы А) сводятся к следующим операциям:

1. Отрезок [CB] (рис. 16) делится в соотношении таким образом, что длины его частей удовлетворяют соотношению

$$\frac{|BX|}{|XC|} = \frac{R_B}{R_C}.$$

2. Полученная в результате точка $(\cdot)X$ идентифицируется далее как точка $(\cdot)n_0$, а длина вектора $|\overrightarrow{An_0}|$ в заданном масштабе напряжений определяет


величину напряжения холостого хода $|\dot{U}_{x.x.}|$ для режима, соответствующего обрыву фазы А (см. рис. 16).

Графическая интерпретация метода наложения для рассматриваемого случая приведена на рис. 13. Принятые на (рис. 13, а и б) условные обозначения соответствуют расчетной схеме рис. 12. При этом (рис. 13, а) соответствует режиму холостого хода $\dot{I}_{A(x.x)} = 0$, когда в цепи действуют все ЭДС $(\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C, \dot{E}_{x.x.})$ за исключением $\dot{E}_{к.з.}$. В свою очередь (рис. 13, б) соответствует режиму короткого замыкания: действует одна ЭДС $\dot{E}_{к.з.}$, все остальные ЭДС «закорочены»; сопротивления фаз источника «» и нагрузки $(\dot{Z}_A, \dot{Z}_B, \dot{Z}_C)$ остаются.

Определим сопротивление $\dot{Z}_{к.з.}$ всей прочей части цепи между короткозамкнутыми точками A' и n_0 при накоротко замкнутых источниках ЭДС $(\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C)$. Для получения выражения для $\dot{Z}_{к.з.}$ используем эквивалентную схему замещения представленную на (рис. 13, б).

Следует отметить, что на (рис. 13, б) маркировка концов источника ЭДС $\dot{E}_{к.з.}$ точками $(\cdot) n_0$ и $(\cdot) A'$ выполнена с учетом его ориентации относительно принятого направления $\dot{E}_{x.x.}$, а именно:

$$\dot{E}_{к.з.} = -\dot{E}_{x.x.} = -(\dot{U}_{A'n_0}) = \dot{U}_{n_0A'}$$

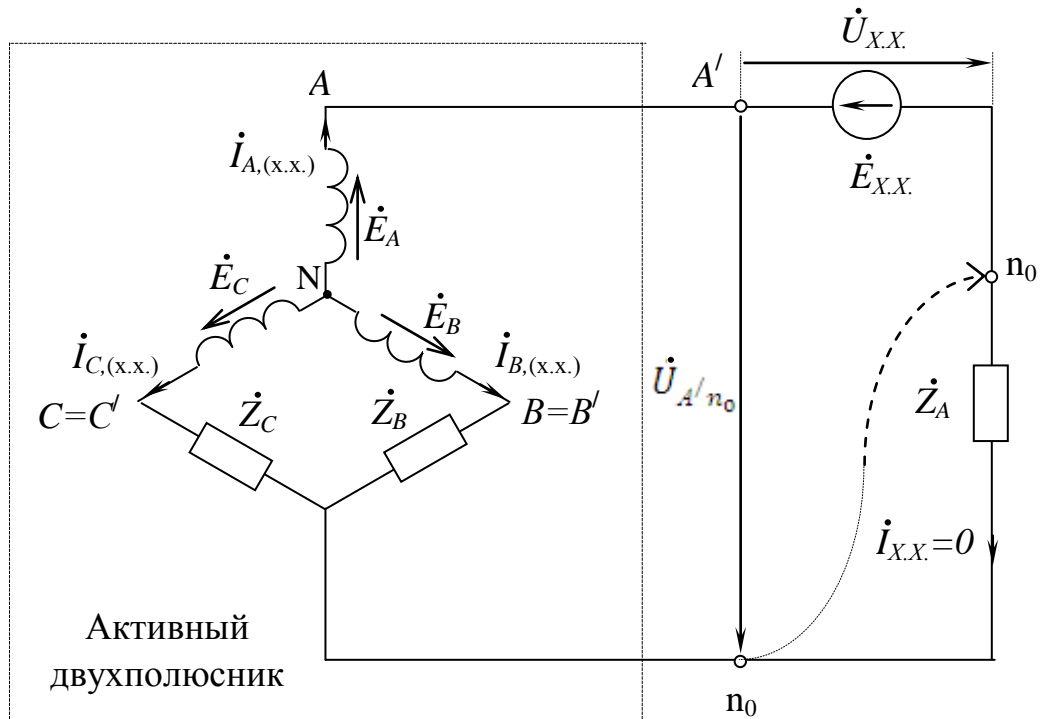
Тогда, при принятых на (рис. 13, б) обозначениях, и пренебрегая сопротивлением фаз источника «», имеем:

$$\dot{Z}_{к.з.} = \frac{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C}{\dot{Z}_B + \dot{Z}_C}$$

Для нахождения тока \dot{I}_A в фазе А воспользуемся записанным ранее выражением:

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \frac{\dot{U}_{x.x.}}{\dot{Z}_{к.з.} + \dot{Z}_A} = \frac{\dot{U}_{x.x.}}{\frac{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C}{\dot{Z}_B + \dot{Z}_C} + \dot{Z}_A} = \frac{\dot{U}_{x.x.} \cdot (\dot{Z}_B + \dot{Z}_C)}{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_C} = \\ &= -\frac{[\dot{Z}_B \cdot (\dot{E}_A - \dot{E}_C) + \dot{Z}_C \cdot (\dot{E}_A - \dot{E}_B)]}{(\dot{Z}_B + \dot{Z}_C)} \cdot \frac{(\dot{Z}_B + \dot{Z}_C)}{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_C} = \\ &= -\frac{\dot{Z}_B \cdot \dot{U}_{CA} + \dot{Z}_C \cdot \dot{U}_{BA}}{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_C} = \frac{\dot{U}_{AB} \cdot \dot{Z}_C - \dot{U}_{CA} \cdot \dot{Z}_B}{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_C} \end{aligned}$$

а) Режим холостого хода: $\dot{U}_{A'/n_0} = \dot{U}_{x.x.} = \dot{E}_{x.x.}$



б) Режим короткого замыкания:

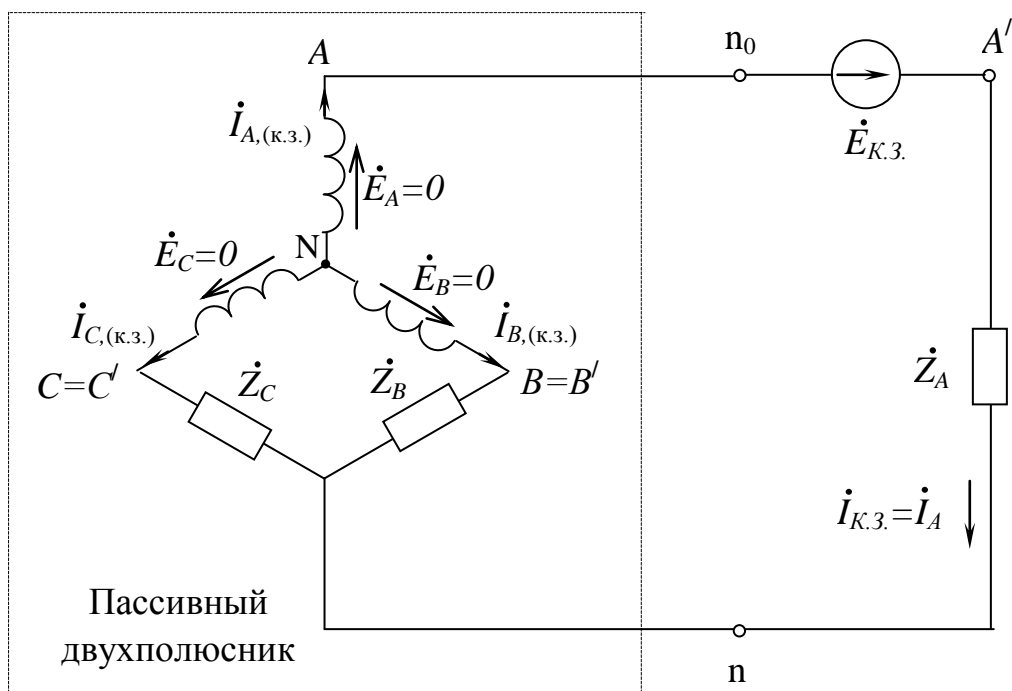


Рис. 13

Полученная выше формула для тока \dot{I}_A может быть отображена соответствующим током на представленной на рис. 14 схеме замещения,

являющейся расчетной для примененной ранее теореме об эквивалентном генераторе.

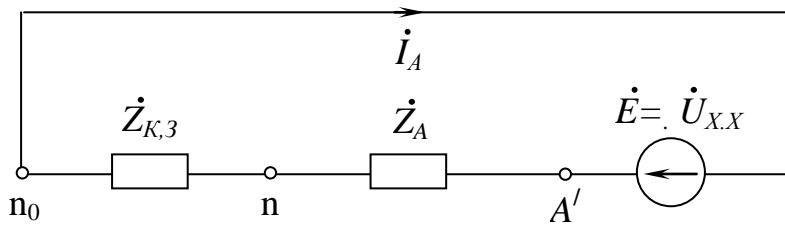


Рис. 14

Определим фазное напряжение $\dot{U}_{A'/n}$ фазы А по выражению:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{A'/n} &= \dot{I}_A \cdot \dot{Z}_A = \frac{(-\dot{Z}_B \cdot \dot{U}_{CA} + \dot{Z}_C \cdot \dot{U}_{AB})}{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_C} \cdot \dot{Z}_A = \\ &= \frac{-\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_A \cdot \dot{U}_{CA} + \dot{Z}_C \cdot \dot{Z}_A \cdot \dot{U}_{AB}}{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_C}. \end{aligned}$$

Разделим числитель и знаменатель полученного выражения на выражение вида: $(\dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C)$. Несложные преобразования позволяют найти:

$$\dot{U}_{A'/n} = \frac{-\dot{U}_{CA} \cdot (1/\dot{Z}_C) + \dot{U}_{AB} \cdot (1/\dot{Z}_B)}{1/\dot{Z}_A + 1/\dot{Z}_C + 1/\dot{Z}_B}.$$

Окончательно получим:

$$\dot{U}_{A'/n} = \frac{-\dot{U}_{CA} \cdot \dot{Y}_C + \dot{U}_{AB} \cdot \dot{Y}_B}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_C + \dot{Y}_B} = \frac{\dot{U}_{AB} \cdot \dot{Y}_B + \dot{U}_{CA} \cdot \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_C + \dot{Y}_B}, \text{ где}$$

$$\dot{Y}_A = 1/\dot{Z}_A, \quad \dot{Y}_B = 1/\dot{Z}_B, \quad \dot{Y}_C = 1/\dot{Z}_C.$$

Для вывода выражений для однофазных напряжений $\dot{U}_{B'/n}$ и $\dot{U}_{C'/n}$ воспользуемся следующими очевидными соотношениями, полученными для электрических величин и параметров, соотнесенных с рис. 12.

$$(\cdot)_n \quad \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$$

$$\dot{I}_A = \dot{Y}_A \cdot \dot{U}_{A'/n}; \quad \dot{I}_B = \dot{Y}_B \cdot \dot{U}_{B'/n}; \quad \dot{I}_C = \dot{Y}_C \cdot \dot{U}_{C'/n}$$

$$\dot{U}_{A'/n} = \dot{U}_{A'/B'} + \dot{U}_{B'/n}; \quad \dot{U}_{C'/n} = \dot{U}_{C'/B'} + \dot{U}_{B'/n}$$

$$\dot{Y}_A \cdot (\dot{U}_{A'/B'} + \dot{U}_{B'/n}) + \dot{Y}_B \cdot \dot{U}_{B'/n} + \dot{Y}_C \cdot (\dot{U}_{C'/B'} + \dot{U}_{B'/n}) = 0$$

$$\dot{Y}_A \cdot \dot{U}_{A'/B'} + \dot{Y}_A \cdot \dot{U}_{B'/n} + \dot{Y}_B \cdot \dot{U}_{B'/n} + \dot{Y}_C \cdot \dot{U}_{C'/B'} + \dot{Y}_C \cdot \dot{U}_{B'/n} = 0$$

$$\dot{U}_{B'/n} \cdot (\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C) = -\dot{Y}_A \cdot \dot{U}_{A'/B'} - \dot{Y}_C \cdot \dot{U}_{C'/B'}$$

$$\dot{U}_{B'/n} = \frac{\dot{Y}_C \cdot \dot{U}_{(B'=B; C'=C)} - \dot{Y}_A \cdot \dot{U}_{(A'=A; B'=B)}}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C} = \frac{\dot{U}_{BC} \cdot \dot{Y}_C - \dot{U}_{AB} \cdot \dot{Y}_A}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C}$$

Подобным образом можно доказать, что

$$\dot{U}_{C'/n} = \frac{\dot{U}_{CA} \cdot \dot{Y}_A - \dot{U}_{BC} \cdot \dot{Y}_B}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C}.$$

Определим однофазные напряжения и токи для случая несимметричной осветительной нагрузки (см. рис. 11), каждая лампочка которой имеет следующие номинальные данные: $U_{\text{ном}} = 127 \text{ В}$; $P_{\text{ном}} = 127 \text{ Вт}$. При этом, как нетрудно видеть из рис. 11 для имеющегося числа лампочек в фазах справедливы соотношения: $\dot{Y}_B = 2 \cdot \dot{Y}_A$; $\dot{Y}_C = 4 \cdot \dot{Y}_A$. Тогда в соответствии с полученными ранее выражениями имеем:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{A'/n} &= \frac{\dot{U}_{AB} \cdot \dot{Y}_B - \dot{U}_{CA} \cdot \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C} = \frac{\dot{U}_{AB} \cdot 2\dot{Y}_A - \dot{U}_{CA} \cdot 4\dot{Y}_A}{\dot{Y}_A + 2\dot{Y}_A + 4\dot{Y}_A} = \\ &= \frac{1}{7} \cdot (2\dot{U}_{AB} - 4\dot{U}_{CA}) = \frac{1}{7} \cdot (2\dot{U}_{AB} + 4\dot{U}_{CA}) = \frac{1}{7} \cdot (2\dot{U}_{AB} + 4\dot{U}_{AB} \cdot e^{-j60^\circ}) = \\ &= \frac{\dot{U}_{AB}}{7} \cdot \left(2 + 4 \left(\frac{1}{2} - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot j \right) \right) = \frac{\dot{U}_{AB}}{7} \cdot (4 - 2\sqrt{3} \cdot j) = 0,756 \cdot \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j40,9^\circ}. \end{aligned}$$

Учитывая, что $|U_{AB}| = 220 \text{ В}$, получим: $|\dot{U}_{A'/n}| = 166,3 \text{ В}$.

Аналогичным образом находим:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{B'/n} &= \frac{\dot{U}_{BC} \cdot \dot{Y}_C - \dot{U}_{AB} \cdot \dot{Y}_A}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C} = \frac{\dot{U}_{BC} \cdot 4\dot{Y}_A - \dot{U}_{AB} \cdot \dot{Y}_A}{\dot{Y}_A + 2\dot{Y}_A + 4\dot{Y}_A} = \\ &= \frac{1}{7} \cdot (4\dot{U}_{BC} - \dot{U}_{AB}) = \frac{1}{7} \cdot (4\dot{U}_{BC} + \dot{U}_{BA}) = \frac{1}{7} \cdot (4\dot{U}_{BC} + \dot{U}_{BC} \cdot e^{-j60^\circ}) = \\ &= \frac{\dot{U}_{BC}}{7} \cdot \left(4 + \frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = \frac{\dot{U}_{BC}}{7} \cdot \left(\frac{9}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) = 0,655 \cdot \dot{U}_{BC} \cdot e^{-j10,9^\circ}. \end{aligned}$$

Учитывая, что $|U_{BC}| = 220 \text{ В}$, получим: $|\dot{U}_{B'/n}| = 144 \text{ В}$.

Соответственно для $\dot{U}_{C'/n}$ имеем:

$$\dot{U}_{C'/n} = \frac{\dot{U}_{CA} \cdot \dot{Y}_A - \dot{U}_{BC} \cdot \dot{Y}_B}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C} = \frac{\dot{U}_{CA} \cdot \dot{Y}_A - \dot{U}_{BC} \cdot 2\dot{Y}_A}{\dot{Y}_A + 2\dot{Y}_A + 4\dot{Y}_A} =$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1}{7} \cdot (\dot{U}_{CA} - 2\dot{U}_{BC}) = \frac{1}{7} \cdot (\dot{U}_{CA} + 2\dot{U}_{CB}) = \frac{1}{7} \cdot (\dot{U}_{CA} + 2\dot{U}_{CA} \cdot e^{-j60^\circ}) = \\
&= \frac{\dot{U}_{CA}}{7} \cdot \left(1 + 2 \cdot \left(\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2} \right) \right) = \frac{\dot{U}_{CA}}{7} \cdot (2 - j\sqrt{3}) = 0,378 \cdot \dot{U}_{CA} \cdot e^{-j40,9^\circ}.
\end{aligned}$$

Учитывая, что $|U_{CA}| = 220\text{В}$, получим: $|\dot{U}_{C'n}| = 83,1\text{В}$.

Определим токи в фазах \dot{I}_A , \dot{I}_B и \dot{I}_C , имеем:

$$|\dot{I}_A| = |\dot{U}_{A'n}| \cdot Y_A, \quad \text{где } Y_A = 1/Z_A = P_{\text{ном}}/U_{\text{ном}}^2 = 1/127.$$

$$|\dot{I}_A| = \frac{1}{127} \cdot 166,3 = 1,31 \text{ А.}$$

Аналогично:

$$|\dot{I}_B| = |\dot{U}_{B'n}| \cdot Y_B = |\dot{U}_{B'n}| \cdot 2Y_A, \text{ тогда } |\dot{I}_B| = \frac{2}{127} \cdot 144 = 2,27\text{А}$$

$$|\dot{I}_C| = |\dot{U}_{C'n}| \cdot Y_B = |\dot{U}_{C'n}| \cdot 2Y_A, \text{ тогда } |\dot{I}_C| = \frac{4}{127} \cdot 83,1 = 2,62\text{А}$$

Для определения напряжения между нейтральными точками $(\cdot)N$ и $(\cdot)n$ воспользуемся направлениями соответствующих векторов в соответствии с рис. 12. Имеем:

$$\dot{U}_{Nn} = \dot{U}_{A'n} - \dot{U}_{AN} = 0,756 \cdot \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j40,9^\circ} - \dot{U}_{AN}$$

Из равностороннего ΔABC и взаимной ориентации изображающих напряжений согласно рис. 12 следует, что:

$$\dot{U}_{AB} = \sqrt{3}\dot{U}_{AN} \cdot e^{j30^\circ}$$

Тогда, с учетом последнего соотношения:

$$\begin{aligned}
\dot{U}_{Nn} &= 0,756 \cdot \dot{U}_{AN} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{j30^\circ} \cdot e^{-j40,9^\circ} - \dot{U}_{AN} = \\
&= 1,31 \cdot \dot{U}_{AN} \cdot e^{-j10,9^\circ} - \dot{U}_{AN} = \dot{U}_{NA} - 1,31 \cdot \dot{U}_{NA} \cdot e^{-j10,9^\circ} = \\
&= \dot{U}_{NA} \cdot [1 - 1,31 \cdot (\cos(-10,9^\circ) + j \cdot \sin(-10,9^\circ))] = \\
&= \dot{U}_{NA} \cdot (1 - 1,31 \cdot (0,982 - j \cdot 0,189)) = \dot{U}_{NA}(-0,286 + j \cdot 0,248) = \\
&= 0,378 \cdot \dot{U}_{NA} \cdot e^{-j220,9^\circ},
\end{aligned}$$

т. к. $|\dot{U}_{NA}| = 127\text{В}$, то $|\dot{U}_{Nn}| = 0,378 \cdot 127 = 48$

Эквивалентная схема замещения соответствующая случаю несимметричной осветительной нагрузки (рис. 11) приведена на рис. 15.

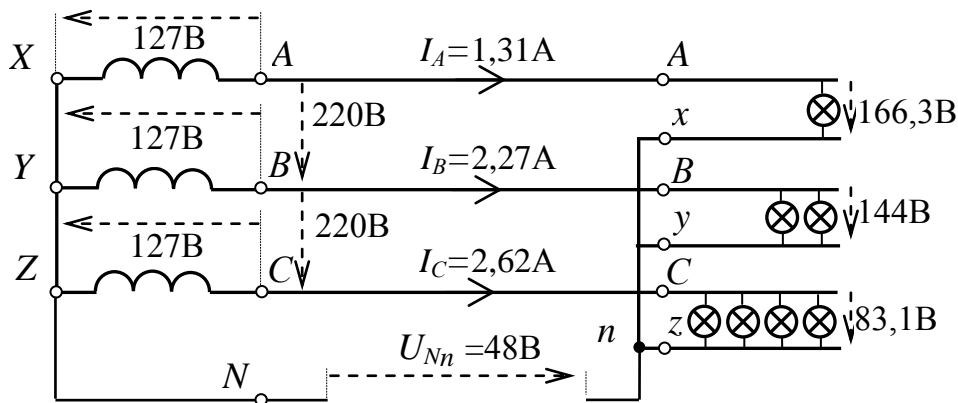


Рис. 15

Для схемы включения несимметричной нагрузки приведенной на рис. 11 топографическая диаграмма напряжений в соответствии с принятыми на рис. 12 обозначениями, с учетом проведенных выше вычислений и выбранного масштаба напряжения $[m_u] = 18 \text{ В/см}$ будет иметь вид, показанный на рис. 16.

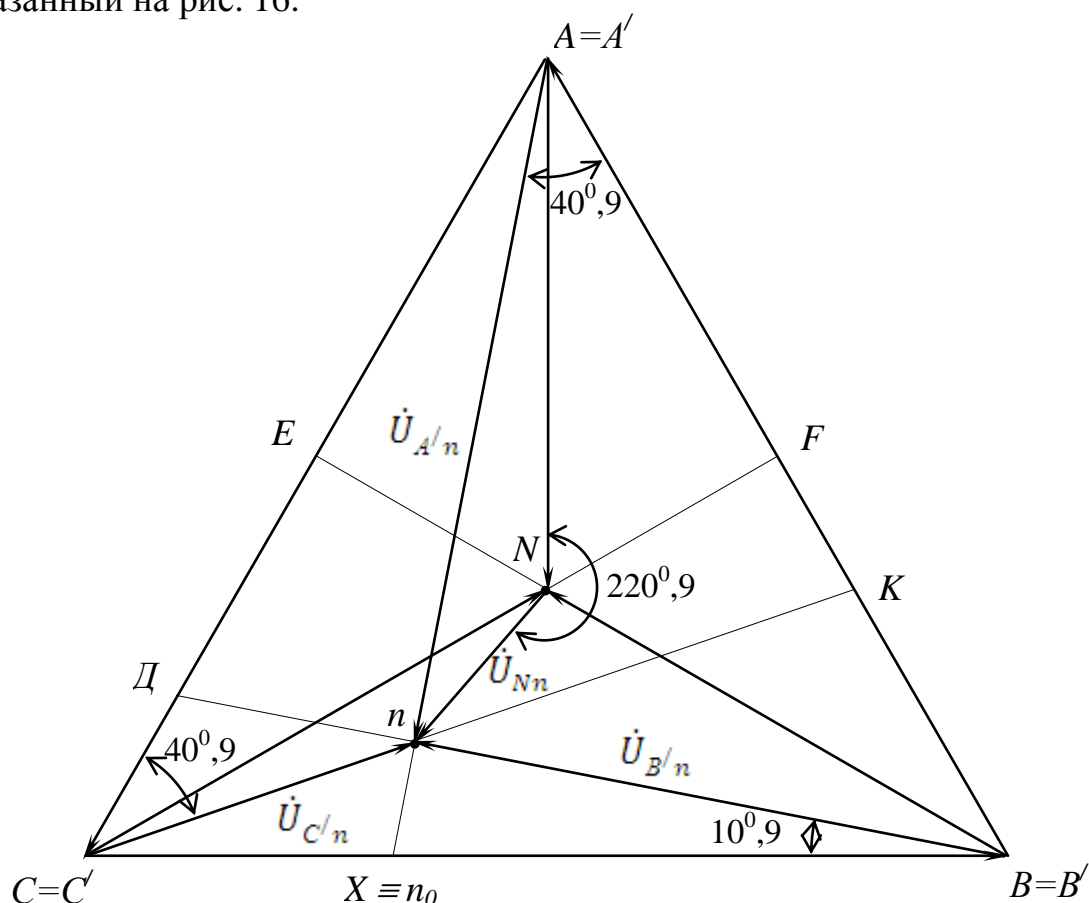


Рис. 16

Определим, в каких отношениях продолжения векторов фазных напряжений делят отрезки соответствующие линейным напряжениям топографической диаграммы рис. 16, т.е. определим отношения:

$$\frac{|AD|}{|DC|} = ?; \quad \frac{|AD|}{|DC|} = ?$$

Из рис. 16 видно, что:

$$\angle EBD = \angle EBC - \angle CBD = 30^\circ - 10,9^\circ = 19,1^\circ$$

$$\angle FCK = \angle ACK - \angle ACF = 40,9^\circ - 30^\circ = 10,9^\circ,$$

т.к. $\triangle ABC$ – равносторонний, то:

$$|CF| = |AB| \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}; \quad |BE| = |AC| \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}.$$

Из $\triangle CFK$ следует, что

$$\operatorname{tg}(\angle FCK) = \frac{|FK|}{|CF|},$$

$$|FK| = \operatorname{tg}(10,9^\circ) \cdot |CF| = 0,1926 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot |AB| = 0,1668 \cdot |AB|.$$

$$|AK| = |AF| + |FK| = 0,5 \cdot |AB| + 0,1668 \cdot |AB| = 0,6668 \cdot |AB|$$

Соответственно,

$$|KB| = |AB| - |AK| = |AB| - 0,6668 \cdot |AB| = 0,3332 \cdot |AB|.$$

Окончательно получим:

$$\frac{|AK|}{|KB|} = \frac{0,6668 \cdot |AB|}{0,3332 \cdot |AB|} = 2.$$

Для нахождения отношения $|AD|$ к $|DC|$ учтем, что:

$$\angle EBD = \angle EBC - \angle CBD = 30^\circ - 10,9^\circ = 19,1^\circ$$

$$\operatorname{tg}(\angle EBD) = \frac{|ED|}{|EB|}, \quad \text{или} \quad |ED| = \operatorname{tg}(19,1^\circ) \cdot |EB| =$$

$$= 0,3463 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot |AC| = 0,3 \cdot |AC|.$$

Тогда

$$|AD| = |AE| + |ED| = 0,5 \cdot |AC| + 0,3 \cdot |AC| = 0,8 \cdot |AC|.$$

Соответственно

$$|DC| = |CA| - |AD| = |CA| - 0,8 \cdot |AC| = 0,2 \cdot |AC|.$$

В результате имеем:

$$\frac{|AD|}{|DC|} = \frac{0,8 \cdot |AC|}{0,2 \cdot |AC|} = 4.$$

Нетрудно доказать, что

$$\frac{|BX|}{|CX|} = 2.$$

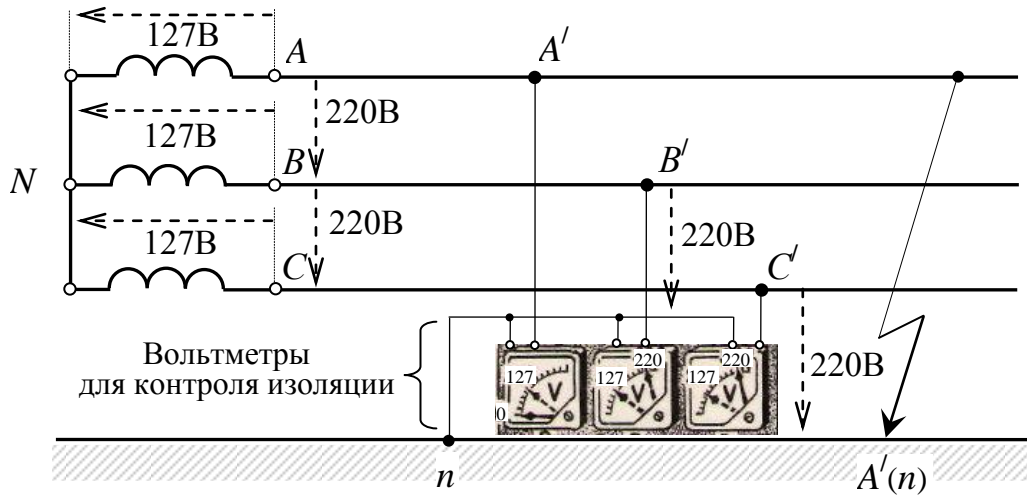
Полученные пропорции длин отрезков линейных напряжений топографической диаграммы рис. 16 могут быть преобразованы следующим образом:

$$\frac{|AK|}{|KB|} = 2 = \frac{Z_B}{Z_A}; \quad \frac{|AD|}{|DC|} = 4 = \frac{Z_C}{Z_A}; \quad \frac{|BX|}{|CX|} = 2 = \frac{Z_C}{Z_B}$$

Полученные соотношения позволяют легко получить графический способ определения фазных напряжений и напряжения нейтрали для случая несимметричной активной нагрузки с использованием топографической диаграммы напряжений. Для этого необходимо:

1. Задаться масштабом напряжений – $[m_u] = \dots B/cm$.
2. Построить треугольник линейных напряжений.
3. Разбить его стороны на отрезки в пропорциях, соответствующих приведенным выше соотношениям, т.е. $(\frac{Z_B}{Z_A}; \frac{Z_C}{Z_A}; \frac{Z_B}{Z_C})$, где Z_A, Z_B, Z_C – соответствующие фазные сопротивления.
4. Соединить полученные точки разбиения с противоположными вершинами.
5. Определить длины отрезков соединяющих вершины треугольника с точкой пересечения лучей разбиения (точка (\cdot) n для рис. 16).
6. С использованием масштабного коэффициента $[m_u]$ определить числовые значения фазных напряжений и напряжения нейтрали.

В качестве примера рассмотрим случай глухого замыкания на землю одного из проводов трехфазной линии, например фазы A . Такого рода режиму работы трехфазной линии соответствует схема, приведенная на рис. 17. Определим фазные напряжения фазы B и фазы C и построим соответствующую топографическую диаграмму напряжений.



Глухое замыкание на землю одного из проводов трехфазной линии

Рис. 17

Для решения поставленной задачи воспользуемся ранее полученными выражениями для $\dot{U}_{A'/n}$, $\dot{U}_{B'/n}$, и $\dot{U}_{C'/n}$, но преобразованными следующим образом:

$$\dot{U}_{A'/n} = \frac{\dot{U}_{AB} \cdot \dot{Y}_B - \dot{U}_{CA} \cdot \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C} = \frac{(\dot{U}_{AB} \cdot \dot{Z}_C - \dot{U}_{CA} \cdot \dot{Z}_B) \cdot \dot{Z}_A}{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B}$$

$$\dot{U}_{B'/n} = \frac{\dot{U}_{BC} \cdot \dot{Y}_C - \dot{U}_{AB} \cdot \dot{Y}_A}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C} = \frac{(\dot{U}_{BC} \cdot \dot{Z}_A - \dot{U}_{AB} \cdot \dot{Z}_C) \cdot \dot{Z}_B}{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B}$$

$$\dot{U}_{C'/n} = \frac{\dot{U}_{CA} \cdot \dot{Y}_A - \dot{U}_{BC} \cdot \dot{Y}_B}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C} = \frac{(\dot{U}_{CA} \cdot \dot{Z}_B - \dot{U}_{BC} \cdot \dot{Z}_A) \cdot \dot{Z}_C}{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B}$$

При замыкании фазы А на землю можно считать, что $\dot{Z}_A = 0$, тогда $\dot{U}_{A'/n(к.з.)}$ равно:

$$\dot{U}_{A'/n(к.з.)} = \lim_{\dot{Z}_A \rightarrow 0} \frac{(\dot{U}_{AB} \cdot \dot{Z}_C - \dot{U}_{CA} \cdot \dot{Z}_B) \cdot \dot{Z}_A}{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B} = \frac{0}{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C} = 0$$

Соответственно $\dot{U}_{B'/n}$ равно

$$\dot{U}_{B'/n} = \lim_{\dot{Z}_A \rightarrow 0} \frac{(\dot{U}_{BC} \cdot \dot{Z}_A - \dot{U}_{AB} \cdot \dot{Z}_C) \cdot \dot{Z}_B}{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B} =$$

$$= \lim_{\dot{Z}_A \rightarrow 0} \left(\frac{0 - \dot{U}_{AB} \cdot \dot{Z}_C \cdot \dot{Z}_B}{\dot{Z}_C \cdot \dot{Z}_B + 0} \right) = -\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{BA}$$

Аналогично, для $\dot{U}_{C'/n}$ имеем:

$$\dot{U}_{C/n} = \lim_{z_A \rightarrow 0} \frac{(\dot{U}_{CA} \cdot \dot{Z}_B - \dot{U}_{BC} \cdot \dot{Z}_A) \cdot \dot{Z}_C}{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_C + \dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B} = \lim_{z_A \rightarrow 0} \frac{\dot{U}_{CA} \cdot \dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C - 0}{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C + 0} = \dot{U}_{CA}$$

Определим положение точки (\cdot) n на топографической диаграмме напряжений (рис. 18). Из выражения $\dot{U}_{Nn} = \dot{U}_{A/n} - \dot{U}_{AN}$ при $\dot{U}_{A/n} = 0$ получим, что $\dot{U}_{Nn} = -\dot{U}_{AN} = \dot{U}_{NA}$, т.е. точки (\cdot) A и (\cdot) n совпадают.

Для принятых на рис. 17 числовых значений линейных и фазных напряжений топографическая диаграмма напряжений для случая глухого замыкания фазы "А" в масштабе напряжений $[m_u] = 18 \text{ В/см}$ приведена на рис. 18.

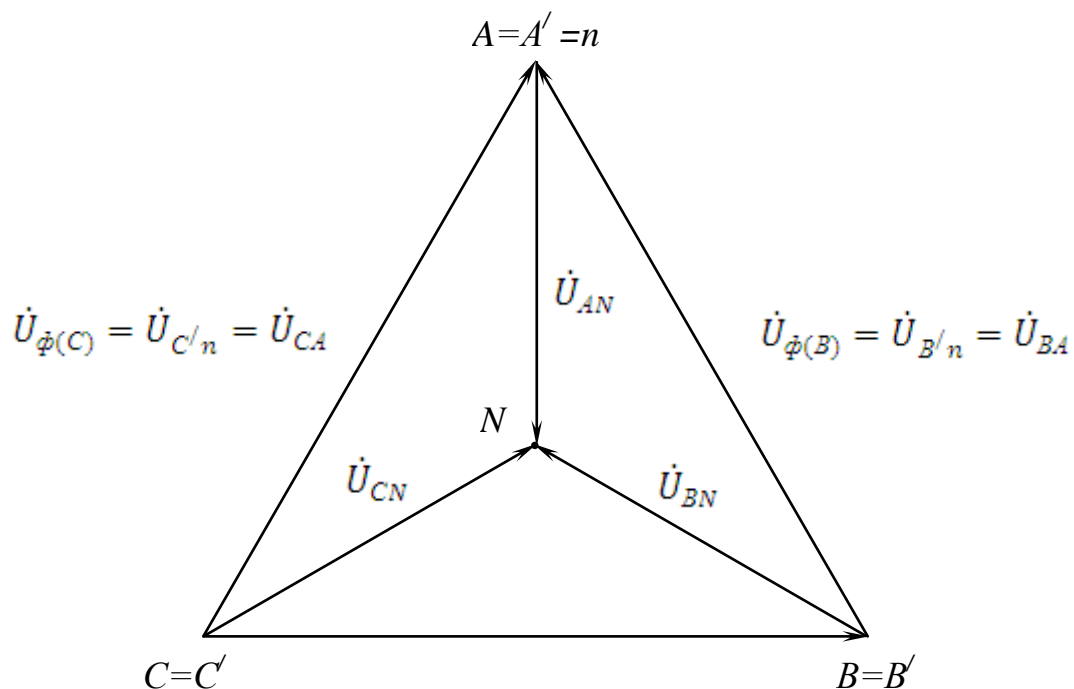


Рис. 18

Из рис. 18 видно, что при глухом замыкании на землю фазы А, напряжения остальных фаз (А и В) будут равны соответствующим линейным напряжениям, а именно:

$$\dot{U}_C = \dot{U}_{CA}; \quad \dot{U}_B = \dot{U}_{BA}$$

Данное обстоятельство визуально отражено на рис. 17 путем перемещения положения стрелки указателя вольтметров к отметке 220 В.

Рассмотрим случай, когда несимметричная нагрузка носит комплексный характер. В соответствии с условными обозначениями рис. 16 имеем:

$$\dot{U}_{A/n} + \dot{U}_{nn_0} = \dot{U}_{A/n_0} = \dot{U}_{x.x} = const$$

Учитывая, что $\dot{U}_{A/n} = \dot{I}_A \cdot \dot{Z}_A$, а $\dot{U}_{nn_0} = \dot{I}_A \cdot \dot{Z}_{к.з.}$, из равенства токов (\dot{I}_A), получим:

$$\frac{\dot{U}_{A/n}}{\dot{U}_{nn_0}} = \frac{\dot{Z}_A}{\dot{Z}_{к.з.}}$$

С учетом последнего соотношения, выражение для \dot{U}_{A/n_0} примет вид:

$$\dot{U}_{A/n} + \dot{U}_{A/n} \frac{\dot{Z}_{к.з.}}{\dot{Z}_A} = \dot{U}_{A/n_0}$$

откуда

$$\dot{U}_{A/n} = \dot{U}_{A/n_0} \cdot \frac{\dot{Z}_A}{\dot{Z}_A + \dot{Z}_{к.з.}}$$

Преобразуем его следующим образом:

$$\dot{U}_{A/n} = \dot{U}_{A/n_0} \cdot \frac{\dot{Z}_A}{\dot{Z}_A + \frac{j \cdot \dot{Z}_{к.з.}}{j}} = \dot{U}_{A/n_0} \cdot \frac{j \cdot \dot{Z}_A}{\dot{Z}'_{к.з.} + j\dot{Z}_A}$$

где $\dot{Z}'_{к.з.} = j \cdot \dot{Z}_{к.з.}$

$$\frac{j\dot{Z}_A}{\dot{Z}'_{к.з.} + j\dot{Z}_A} = \frac{j\dot{Z}_A \cdot (\dot{Z}'_{к.з.} - j\dot{Z}_A)}{(\dot{Z}'_{к.з.} + j\dot{Z}_A)(\dot{Z}'_{к.з.} - j\dot{Z}_A)} = \frac{\dot{Z}_A^2 + j\dot{Z}_A \cdot \dot{Z}'_{к.з.}}{\dot{Z}_A^2 + (\dot{Z}'_{к.з.})^2}$$

Тогда

$$\dot{U}_{A/n} = \dot{U}_{A/n_0} \cdot \frac{\dot{Z}_A^2 + j\dot{Z}_A \cdot \dot{Z}'_{к.з.}}{\dot{Z}_A^2 + (\dot{Z}'_{к.з.})^2}$$

Возьмем частный случай, когда параметры несимметричной нагрузки удовлетворяют условию:

$$-j\dot{Z}_A \cdot \dot{Z}'_{к.з.} = -j\dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_{к.з.} = \frac{\dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C}{\dot{Z}_B + \dot{Z}_C} = \pm Cj,$$

где C – любое действительное число.

Например, этому условию удовлетворяют параметры нагрузки приведенной на схеме рис. 11. Однако вместо осветительной нагрузки в фазе A необходимо взять индуктивную нагрузку сопротивлением X_L . Тогда учитывая, что

$$\dot{Z}_B = \frac{R}{2} ; \quad \dot{Z}_C = \frac{R}{4}$$

а катушку X_L возьмем такую, что

$$\dot{Z}_A = jX_L = \frac{R}{6} \text{ г.е.} \quad X_L = \frac{R}{6}$$

получим:
$$\frac{\dot{Z}_A \cdot \dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C}{\dot{Z}_B + \dot{Z}_C} = \frac{\frac{R}{2} \cdot \frac{R}{4} \cdot j\frac{R}{6}}{\frac{R}{2} + \frac{R}{4}} = j\frac{R^2}{36}$$

Схема включения соответствующая этому случаю приведена на рис. 19.

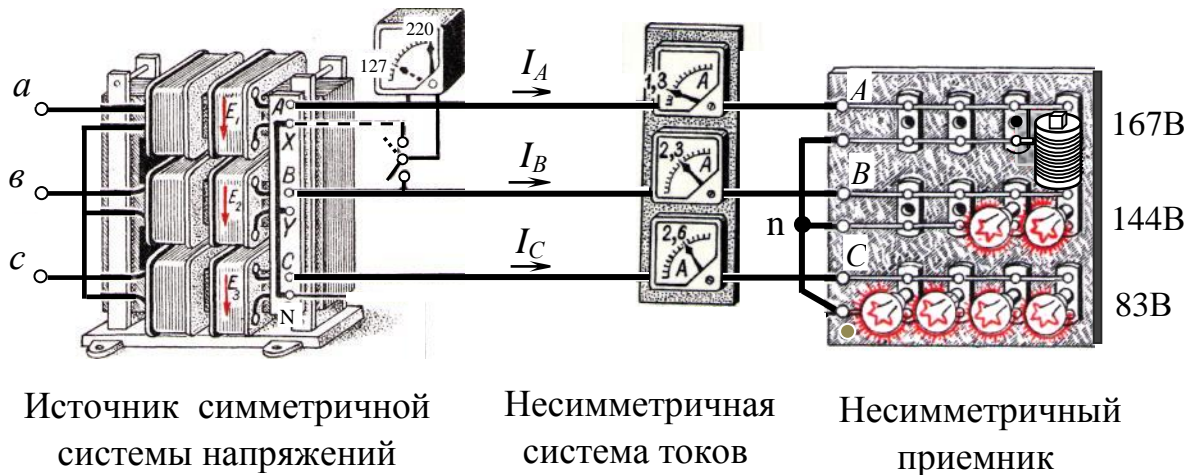


Рис. 19

С учетом введенного ранее условия, связанного с $\pm C \cdot j$, величина $(U_{A/n})$ может быть определена по выражению:

$$|U_{A/n}|^2 = \dot{U}_{A/n} \cdot \dot{U}_{A/n}^*$$

При этом, если положить, что ось вещественных чисел совпадает с направлением вектора $\overrightarrow{U_{A/n}}$, то можно считать, что

$$\dot{U}_{A/n} = |U_{A/n_0}|,$$

тогда

$$|U_{A/n}|^2 = \dot{U}_{A/n} \cdot \dot{U}_{A/n}^* = \frac{|U_{A/n_0}| \cdot (\dot{Z}_A^2 + j\dot{Z}_A \cdot \dot{Z}'_{к.з.})}{\dot{Z}_A^2 + (\dot{Z}'_{к.з.})^2}$$

$$\cdot \frac{|U_{A/n_0}| \cdot (\dot{Z}_A^2 - j\dot{Z}_A \cdot \dot{Z}'_{к.з.})}{\dot{Z}_A^2 + (\dot{Z}'_{к.з.})^2} = \frac{|U_{A/n_0}|^2 \cdot |\dot{Z}_A|^2}{|\dot{Z}_A|^2 + |\dot{Z}'_{к.з.}|^2}$$

Если положить, что $|\dot{U}_{A'/n_0}| = |\dot{Z}'_{к.з.}|$, т.е.

$$\frac{|U_{A'/n_0}|}{[m_U]} = \frac{|Z'_{к.з.}|}{[m_Z]}$$

где m_U и m_Z соответственно масштабы напряжения и сопротивления на топографической диаграмме.

Тогда

$$|U_{A'/n_0}| = \frac{|Z'_{к.з.}| \cdot [m_U]}{[m_Z]}$$

и

$$|U_{A'/n}| = \frac{[m_U]}{[m_Z]} \cdot \frac{|Z'_{к.з.}| \cdot |\dot{Z}_A|}{\sqrt{|\dot{Z}_A|^2 + |Z'_{к.з.}|^2}}$$

В соответствии с полученным выражением фазное напряжение $|U_{A'/n}|$ может быть легко определено графическим путем простых построений, приведенных на рис. 20 (высота $[A'n]$ в $\Delta A'Dn_0$ проведенная из вершины A').

Для принятого ранее на рис. 16 масштаба напряжений $[m_U] = 18 \text{ В/см}$, определим фазные напряжения фаз A, B и C для схемы включения рис. 19 и следующих значений сопротивления фаз:

$$\dot{Z}_B = \frac{R}{2}, \quad \dot{Z}_C = \frac{R}{4}, \quad \dot{Z}_A = jX_L = j\frac{R}{6}$$

$$\dot{Y}_B = \frac{2}{R}, \quad \dot{Y}_C = \frac{4}{R}, \quad \dot{Y}_A = -\frac{6j}{R}$$

$$Z_{к.з.} = \frac{\dot{Z}_B \cdot \dot{Z}_C}{\dot{Z}_B + \dot{Z}_C} = \frac{\frac{R}{2} \cdot \frac{R}{4}}{\frac{R}{2} + \frac{R}{4}} = \frac{R}{6}$$

По ранее полученному выражению определим напряжение фазы C :

$$\dot{U}_{C'/n} = \frac{\dot{U}_{CA} \cdot \dot{Y}_A - \dot{U}_{BC} \cdot \dot{Y}_B}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C}; \quad \dot{U}_{CB} = \dot{U}_{CA} \cdot e^{-j60^\circ}$$

$$\dot{U}_{C'/n} = \frac{\dot{U}_{CA} \cdot \left(-\frac{6j}{R}\right) + \dot{U}_{CA} \cdot e^{-j60^\circ} \cdot \frac{2}{R}}{\frac{2}{R} + \frac{4}{R} - \frac{6j}{R}} = \dot{U}_{CA} \cdot \left[\frac{-6j + 2 \cdot \left(\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}\right)}{6 - 6j} \right] =$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\dot{U}_{CA} [1 - j(6 + \sqrt{3})] \cdot (1 + j)}{6 \cdot (1 - j) \cdot (1 + j)} = \frac{\dot{U}_{CA} \cdot [(7 + \sqrt{3}) - j(5 + \sqrt{3})]}{12} = \\
&= \frac{\dot{U}_{CA} \cdot (8,73 - j6,73)}{12} = 0,9186 \cdot \dot{U}_{CA} \cdot e^{-j37,6^\circ} = \\
&= 0,9186 \cdot 220 \cdot e^{-j37,6^\circ} = 202,1 \cdot e^{-j37,6^\circ} \\
|U_{C/n}| &= \frac{|\dot{U}_{C/n}|}{[m_U]} = \frac{202,1 \text{ В}}{18 \text{ В/см}} = 11,3 \text{ см}
\end{aligned}$$

Полученный результат совпадает с данными топографической диаграммы напряжений и треугольника сопротивлений приведенными на рис. 20. Легко заметить, что, приведенные на рис. 20 построения определяют графический метод определения положения нейтрали (точка $(\cdot) n$).

Для фазы B имеем:

$$\begin{aligned}
U_{B/n} &= \frac{\dot{U}_{BC} \cdot \dot{Y}_C - \dot{U}_{AB} \cdot \dot{Y}_A}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C} = \frac{\dot{U}_{BA} \cdot e^{j60^\circ} \cdot \dot{Y}_C + \dot{U}_{BA} \cdot \dot{Y}_A}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C} = \\
&= \frac{\dot{U}_{BA} \left[\left(\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot \frac{4}{R} + \frac{-6j}{R} \right]}{\frac{2}{R} + \frac{4}{R} - \frac{6j}{R}} = \frac{\dot{U}_{BA} \cdot (2 + j(2\sqrt{3} - 6))}{6 \cdot (1 - j)} = \\
&= \frac{\dot{U}_{BA} \cdot (2 + j(2\sqrt{3} - 6)) \cdot (1 + j)}{(1 - j) \cdot (1 + j)} = \frac{\dot{U}_{BA} \cdot (8 - 2\sqrt{3} + j(2\sqrt{3} - 4))}{12} = \\
&= \frac{\dot{U}_{BA}}{12} \cdot (4,536 - 0,536j) = 0,38 \cdot \dot{U}_{BA} \cdot e^{-j6,7^\circ} = \\
&= 0,38 \cdot 220 \cdot e^{-j6,7^\circ} = 83,6 \cdot e^{-j6,7^\circ}
\end{aligned}$$

$$|U_{B/n}| = \frac{|\dot{U}_{B/n}|}{[m_U]} = \frac{83,6 \text{ В}}{18 \text{ В/см}} = 4,6 \text{ см (см. рис. 20)}$$

Соответственно для фазы A получим:

$$U_{A/n} = \frac{\dot{U}_{AB} \cdot \dot{Y}_B - \dot{U}_{CA} \cdot \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C} = \frac{\dot{U}_{AB} \cdot \dot{Y}_B + \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j60^\circ} \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C} =$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{\dot{U}_{AB} \left[\frac{2}{R} + \left(\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2} \right) \cdot \frac{4}{R} \right]}{\frac{2}{R} + \frac{4}{R} - \frac{6j}{R}} = \frac{\dot{U}_{AB} \cdot (2 - j\sqrt{3})}{3 \cdot (1 - j)} = \frac{\dot{U}_{AB} \cdot (2 - j\sqrt{3}) \cdot (1 + j)}{3 \cdot (1 - j) \cdot (1 + j)} \\
&= \frac{\dot{U}_{AB}}{6} \cdot [(2 + \sqrt{3}) + j(2 - \sqrt{3})] = \frac{\dot{U}_{AB}}{6} \cdot (3,73 + j0,27) = \\
&= \frac{\dot{U}_{AB}}{6} \cdot (3,73 + 0,27j) = 0,62 \cdot \dot{U}_{AB} \cdot e^{j4,1^\circ} = \\
&= 0,62 \cdot 220 \cdot e^{j4,1^\circ} = 136,4 \cdot e^{j4,1^\circ}
\end{aligned}$$

$$|U_{A/n}| = \frac{|\dot{U}_{A/n}|}{[m_U]} = \frac{136,4 \text{ В}}{18 \text{ В/см}} = 7,6 \text{ см (см. рис. 20)}$$

Проверяя, в соответствии с ранее полученным выражением имеем:

$$\begin{aligned}
|U_{A/n}| &= \frac{[m_U]}{[m_Z]} \cdot \frac{|\dot{Z}'_{к.з.}| \cdot |\dot{Z}_A|}{\sqrt{|\dot{Z}_A|^2 + |\dot{Z}'_{к.з.}|^2}} = \frac{18}{1,98} \cdot \frac{\frac{R}{6} \cdot \frac{R}{6}}{\sqrt{\left(\frac{R}{6}\right)^2 + \left(\frac{R}{6}\right)^2}} = \\
&= \frac{18 \cdot R}{11,88 \cdot \sqrt{2}} = \frac{18 \cdot 127}{11,88 \cdot 1,41} = 136,5 \text{ В}
\end{aligned}$$

Определим токи в фазах \dot{I}_A , \dot{I}_B и \dot{I}_C

$$\dot{I}_B = \frac{\dot{U}_{B/n}}{\dot{Z}_B} = \frac{U_{B/n} \cdot e^{-j6,7^\circ}}{Z_B} = \frac{83,6 \cdot e^{-j6,7^\circ}}{63,5} = 1,32 \cdot e^{-j6,7^\circ}$$

Тогда

$$|I_B| = \frac{|\dot{I}_B|}{[m_I]} = \frac{1,32}{1} \approx 1,3 \text{ см}$$

где $[m_I] = 1 \text{ А/см}$ – масштаб тока (см. рис. 20)

$$\dot{I}_C = \frac{\dot{U}_{C/n}}{\dot{Z}_C} = \frac{U_{C/n} \cdot e^{-j37,6^\circ}}{Z_C} = \frac{202,1 \cdot e^{-j37,6^\circ}}{31,75} = 6,37 \cdot e^{-j37,6^\circ}$$

$$|I_C| = \frac{|\dot{I}_C|}{[m_I]} = \frac{6,37}{1} \approx 6,4 \text{ см}$$

Следует отметить, что с учетом выбранного характера нагрузки в фазе B и фазе C направлением токов в них на топографической диаграмме

(рис. 20) совпадает с направлением напряжений. В свою очередь, ток в фазе A опережает фазное напряжение на угол 90° , а именно:

$$\dot{i}_A = \frac{\dot{U}_{A'/n}}{\dot{Z}_A} = \frac{U_{A'/n} \cdot e^{j4,1^\circ}}{j_0 \cdot X_L} = \frac{136,4 \cdot e^{j4,1^\circ}}{\frac{127}{6} \cdot e^{j90^\circ}} = 6,44 \cdot e^{j4,1^\circ} \cdot e^{-j90^\circ}$$

$$|I_A| = \frac{|i_A|}{[m_I]} = \frac{6,44}{1} \approx 6,45 \text{ см}$$

Векторная диаграмма токов, соответствующая рассматриваемому случаю приведена на рис. 20.

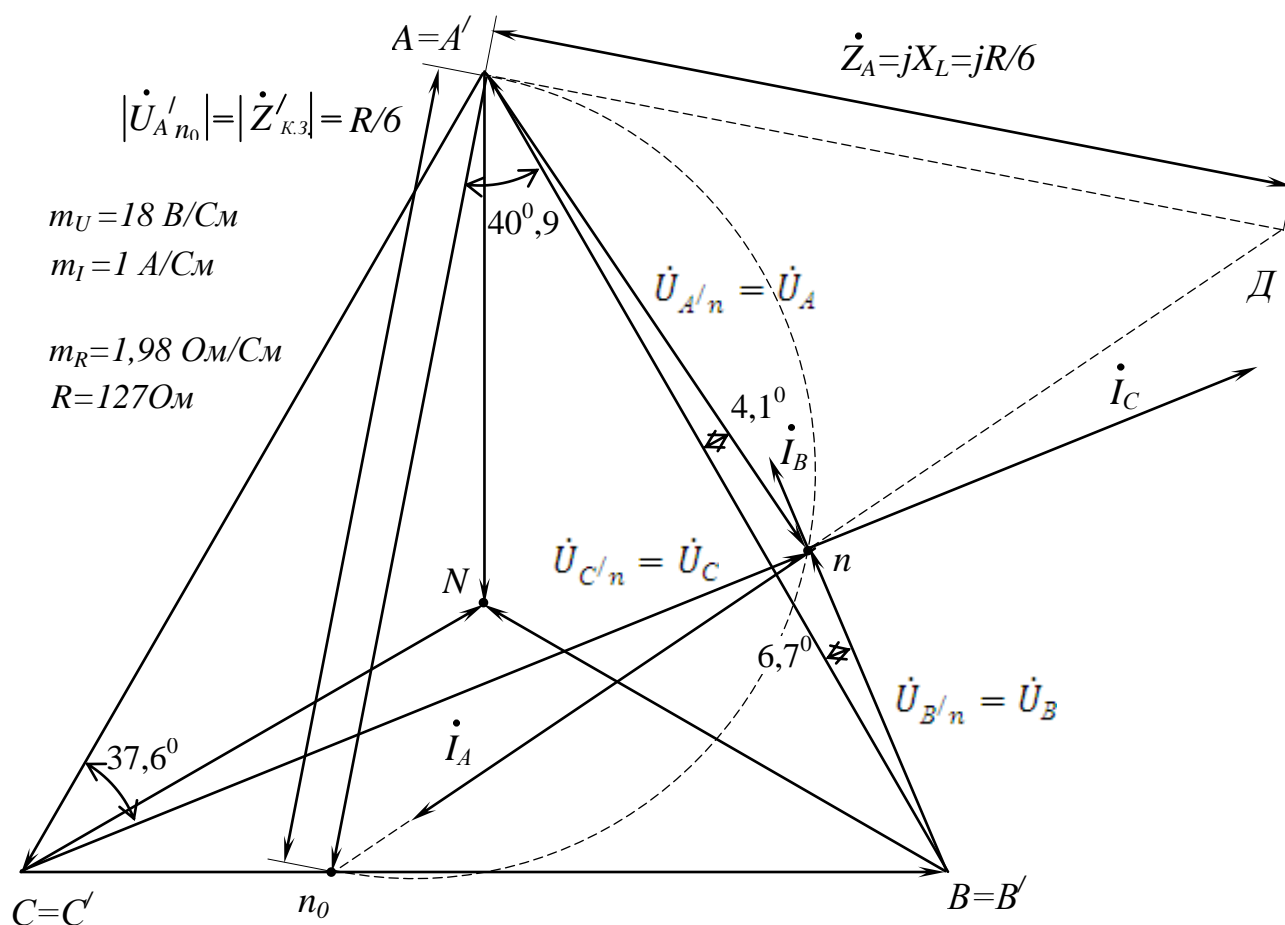


Рис. 20

Для нахождения суммы $(\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C)$ необходимы полученные ранее выражения для фазных токов выразить через базовое напряжение. В качестве последнего обычно выбирают напряжение, направление которого совпадает с осью вещественных чисел комплексной плоскости, совмещенной с топографической диаграммой напряжений. Для приведенных на рис. 20 построений данная ось совпадает с направлением луча A'/N .

С учетом сделанных замечаний выражения для фазных токов примут вид:

$$\begin{aligned} \dot{I}_C &= \frac{0,92 \cdot \dot{U}_{CA} \cdot e^{-j37,6^\circ}}{\dot{Z}_C} = \frac{-0,92 \cdot \dot{U}_{AC} \cdot e^{-j37,6^\circ}}{\dot{Z}_C} = \\ &= \frac{-0,92 \cdot U_{A/n} \cdot \sqrt{3} \cdot e^{-j30^\circ} \cdot e^{-j37,6^\circ}}{\dot{Z}_C} = \frac{-0,92 \cdot 127 \cdot \sqrt{3}}{31,75} \cdot e^{-j67,6^\circ} = \\ &= -6,37 \cdot e^{-j67,6^\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_B &= \frac{0,38 \cdot \dot{U}_{BA} \cdot e^{-j6,7^\circ}}{\dot{Z}_B} = \frac{-0,38 \cdot \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j6,7^\circ}}{\dot{Z}_B} = \\ &= \frac{-0,38 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{A/n} \cdot e^{j30^\circ} \cdot e^{-j6,7^\circ}}{\dot{Z}_B} = \frac{-0,38 \cdot \sqrt{3} \cdot 127}{63,5} \cdot e^{j23,3^\circ} = \\ &= -1,32 \cdot e^{j23,3^\circ} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{I}_A &= \frac{0,62 \cdot \dot{U}_{AB} \cdot e^{j4,1^\circ}}{\dot{Z}_A} = \frac{0,62 \cdot \sqrt{3} \cdot U_{A/n} \cdot e^{j30^\circ} \cdot e^{j4,1^\circ}}{21,17 \cdot e^{j90^\circ}} = \\ &= \frac{0,62 \cdot \sqrt{3} \cdot 127}{21,17} \cdot e^{-j55,9^\circ} = 6,44 \cdot e^{-j55,9^\circ} \end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned} \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C &= -6,37 \cdot e^{-j67,6^\circ} - 1,32 \cdot e^{j23,3^\circ} + 6,44 \cdot e^{-j55,9^\circ} = \\ &= -6,37 \cdot (0,38 - j0,925) - 1,32 \cdot (0,92 + j0,4) + \\ &+ 6,44 \cdot (0,56 - j0,83) = 0,03 - 0,02j \approx 0 \end{aligned}$$

Таким образом, для точки $(\cdot)_n$ (рис. 20) в соответствии с первым законом Кирхгофа справедливо тождество:

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0$$

2.4.3 ПРИМЕР РАСЧЕТА НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ЗВЕЗДОЙ (ТРЕХПРОВОДНАЯ СИСТЕМА)

Трехфазный потребитель (табл. 1) питается от сети с симметричной системой линейных напряжений $|U_{AB}| = |U_{BC}| = |U_{CA}| = U_L$ по схеме трехпроводного соединения «звезда» через линию передачи (рис. 21). Провода линии передачи с сопротивлениями $Z_{лА}$, $Z_{лВ}$, $Z_{лС}$ соединены последовательно с соответствующими фазами приемника Z_a , Z_b , Z_c (рис. 21).

Определить: $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$ фазные напряжения; \dot{U}_{nN} напряжение между нейтральными точками приемника и источника; $\Delta\dot{U}_A, \Delta\dot{U}_B, \Delta\dot{U}_C$ падения напряжения в проводах линии передачи; $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$ силу тока в фазах нагрузки и линейных проводах; $\cos\varphi_a, \cos\varphi_b, \cos\varphi_c$ фазные коэффициенты мощности; активные P_a, P_b, P_c ; реактивные Q_a, Q_b, Q_c и полные S_a, S_b, S_c мощности потребляемые нагрузкой. Расчеты выполнить для следующих режимов:

- несимметричном трехфазном;
- при обрыве одной фазы нагрузки (линейный провод А-а);
- при коротком замыкании той же фазы нагрузки (короткое замыкание участка А-а).

Построить векторные диаграммы токов и напряжений для каждого из трех режимов.

Таблица 1.

$U_{л}, В$	\dot{Z}_a	\dot{Z}_b	\dot{Z}_c	$\dot{Z}_{лА} = \dot{Z}_{лВ} = \dot{Z}_{лС}$
380	$6 + j \cdot 4$	$4 - j \cdot 10$	$8 - j \cdot 2$	$6 + j \cdot 2$

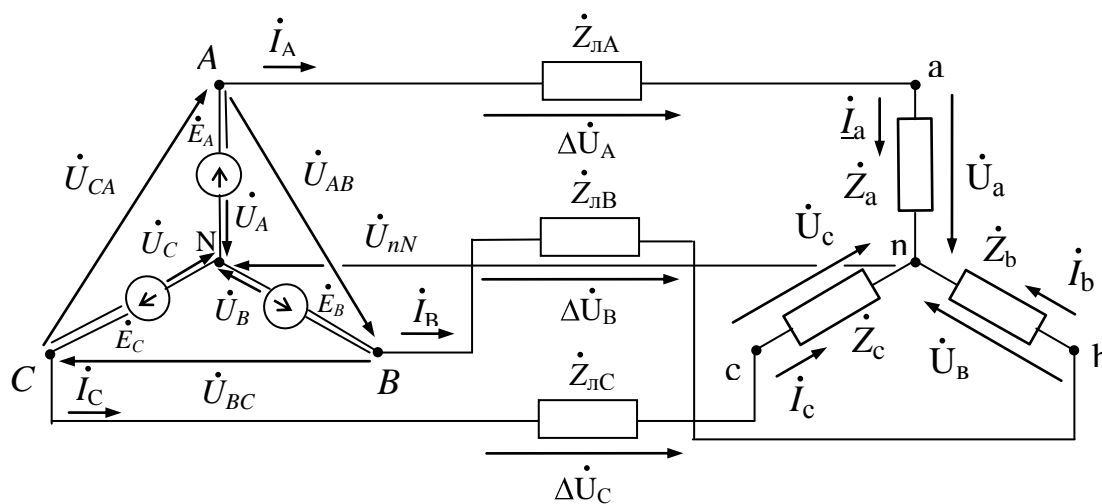


Рис. 21

Решение:

а) Расчет цепи начинаем с внесения сопротивлений $Z_{лА}, Z_{лВ}, Z_{лС}$ линейных проводов в фазы приемника, в результате чего получаем упрощенную схему (рис. 22) с эквивалентным приемником, проводимости фаз которого равны [5]

$$\dot{Y}_a = 1/(\dot{Z}_{лА} + \dot{Z}_a) = 1/(8+j6)=0,08-j0,06$$

$$\dot{Y}_b = 1/(\dot{Z}_{лВ} + \dot{Z}_b) = 1/(6-j8)=0,06+j0,08$$

$$\dot{Y}_c = 1/(\dot{Z}_{\pi C} + \dot{Z}_c) = 1/10 = 0,1$$

$$\dot{Y}_a + \dot{Y}_e + \dot{Y}_c = 0,24 + j0,02$$

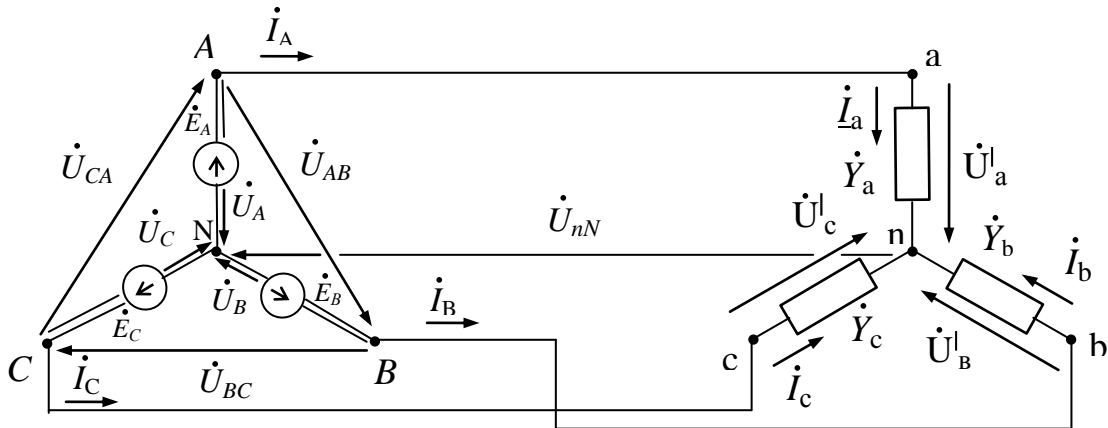


Рис. 22

Учитывая, что

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{a\bar{e}} = 380, \dot{U}_{BC} = \dot{U}_{e\bar{c}} = 380 \cdot e^{-j2\pi/3^\circ} = -190 - j329$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{c\bar{a}} = 380 \cdot e^{j2\pi/3^\circ} = -190 + j329$$

определим фазные напряжения приемника по известным соотношениям расчета «звезды» без нейтрального провода при непосредственном питании от сети:

$$\dot{U}'_a = (\dot{U}_{AB} \cdot \dot{Y}_e - U_{CA} \cdot \dot{Y}_c) / (\dot{Y}_a + \dot{Y}_e + \dot{Y}_c) = [380 \cdot (0,06 + j0,08) - (-190 + j329) \cdot 0,1] / (0,24 + j0,02) = (41,8 - j2,5) / (0,24 + j0,02) = 172,1 - j24,76 = 173,9 \cdot e^{-j8,2^\circ}$$

$$\dot{U}'_e = (\dot{U}_{BC} \cdot \dot{Y}_c - U_{AB} \cdot \dot{Y}_a) / (\dot{Y}_a + \dot{Y}_e + \dot{Y}_c) = [(-190 - j329) \cdot 0,1 - 380 \cdot (0,08 - j0,06)] / (0,24 + j0,02) = (-49,4 - j10,1) / (0,24 + j0,02) = -207,9 - j24,76 = 209,4 \cdot e^{-j173,2^\circ}$$

$$\dot{U}'_c = (\dot{U}_{CA} \cdot \dot{Y}_a - U_{BC} \cdot \dot{Y}_e) / (\dot{Y}_a + \dot{Y}_e + \dot{Y}_c) = [(-190 + j329) \cdot (0,08 - j0,06) - (-190 - j329) \cdot (0,06 + j0,08)] / (0,24 + j0,02) = (-10,38 + j72,66) / (0,24 + j0,02) = -17,9 + j304,24 = 304,8 \cdot e^{j93,4^\circ}$$

Выразим фазные токи приемника через его фазные напряжения и проводимости соответствующих фаз

$$\dot{I}_A = \dot{I}_a = \dot{Y}_a \cdot \dot{U}'_a = (0,08 - j0,06) \cdot (172,1 - j24,76) = 12,28 - j12,31 = 17,39 \cdot e^{j45^\circ}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_e = \dot{Y}_e \cdot \dot{U}'_e = (0,06 + j0,08) \cdot (-207,9 - j24,76) = -10,49 - j18,12 = 20,94 \cdot e^{-j120^\circ}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_c = \dot{Y}_c \cdot \dot{U}'_c = (0,1 \cdot (-17,9 + j304,24)) = -1,79 + j30,42 = 30,48 \cdot e^{j93,4^\circ}$$

Проверка:

$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 12,28 - j12,31 + (-10,49 - j18,12) + (-1,79 + j30,42) = 0 + j0,01 \sim 0$$

Учитывая, что

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{AB} \cdot e^{j30^\circ} \cdot 1/\sqrt{3} = 380 \cdot (0,866 - j0,5) \cdot 1/1,732 = 190 - j109,7$$

Определим напряжение смещения между нейтральными точками источника и приемника (рис. 22)

$$\begin{aligned} \dot{U}_{nN} &= \dot{U}_A - \dot{U}'_a = 190 - j109,7 - (172,1 - j24,76) = 17,9 - j84,94 = \\ &= 86,8 \cdot e^{-j78,1^\circ} \end{aligned}$$

Определяем падения напряжения в проводах линии передачи

$$\Delta \dot{U}_{лА} = \dot{Z}_{лА} \cdot \dot{I}_a = (2 + j2) \cdot (12,28 - j12,31) = 49$$

$$\Delta \dot{U}_{лВ} = \dot{Z}_{лВ} \cdot \dot{I}_b = (2 + j2) \cdot (-10,49 - j18,12) = 15,3 - j57,1 = 59,1 \cdot e^{-j75^\circ}$$

$$\Delta \dot{U}_{лС} = \dot{Z}_{лС} \cdot \dot{I}_c = (2 + j2) \cdot (-1,79 + j30,42) = -64,31 + j57,1 = 86 \cdot e^{j138,4^\circ}$$

Определяем напряжения на фазах приемника

$$\dot{U}_a = \dot{Z}_a \cdot \dot{I}_a = (6 + j4) \cdot (12,28 - j12,31) = 122,9 - j24,6 = 125,4 \cdot e^{-j11,3^\circ}$$

$$\dot{U}_b = \dot{Z}_b \cdot \dot{I}_b = (4 + j10) \cdot (-10,49 - j18,12) = -223,19 + j32,16 = 225,5 \cdot e^{j171,8^\circ}$$

$$\dot{U}_c = \dot{Z}_c \cdot \dot{I}_c = (8 - j2) \cdot (-1,79 + j30,42) = 46,4 + j247 = 251,3 \cdot e^{j79,4^\circ}$$

Определяем фазные коэффициенты мощности нагрузки:

$$\varphi_a = \varphi_{ua} - \varphi_{ia} = -11,3^\circ - (-45^\circ) = 33,7^\circ;$$

$$\varphi_b = \varphi_{ub} - \varphi_{ib} = 171,8^\circ - (-120^\circ) = -68,2^\circ$$

$$\varphi_c = \varphi_{uc} - \varphi_{ic} = 79,4^\circ - 93,4^\circ = -14^\circ$$

Соответственно, $\cos\varphi_a = 0,83$; $\cos\varphi_b = 0,37$; $\cos\varphi_c = 0,97$

Определяем разность фаз между током и напряжением в фазах линии передачи

$$\varphi_{ал} = \varphi_{ула} - \varphi_{ia} = 0 - (-45^\circ) = 45^\circ;$$

$$\varphi_{вл} = \varphi_{улв} - \varphi_{ib} = -75^\circ - (-120^\circ) = 45^\circ$$

$$\varphi_{сл} = \varphi_{улс} - \varphi_{ic} = 138,4^\circ - 93,4^\circ = 45^\circ$$

Соответственно, $\cos\varphi_{ал} = \cos\varphi_{вл} = \cos\varphi_{сл} = 0,707$

Комплексные мощности фаз нагрузки равны

$$\begin{aligned} \dot{S}_a &= [\dot{U}_a \cdot \dot{I}_a^*] = 125,4 \cdot e^{-j11,3^\circ} \cdot 17,39 \cdot e^{j45^\circ} = 2180,71 \cdot e^{j33,7^\circ} \\ &= 2180,71 \cdot (0,83 + j0,555) = 1820,6 + j1210 \end{aligned}$$

т.к. $S_a = P_a + jQ_a$, то $P_a = 1820,6$ Вт; $Q_a = 1210$ Вар; $S_a = 2180,7$ В·А

$$\dot{S}_B = [\dot{U}_B \cdot \dot{I}_B^*] = 225,5 \cdot e^{j171,8^\circ} \cdot 20,94 \cdot e^{j120^\circ} = 4722 \cdot e^{-j68,2^\circ}$$

$$= 4722 \cdot (0,37 - j0,93) = 1753,6 - j4384,3$$

$$P_B = 1753,6 \text{ Вт}; \quad Q_B = 4384,3 \text{ Вар}; \quad S_B = 4722 \text{ В}\cdot\text{А}$$

$$\dot{S}_C = [\dot{U}_C \cdot \dot{I}_C^*] = 251,3 \cdot e^{j79,4^\circ} \cdot 30,47 \cdot e^{-j93,4^\circ} = 7657,11 \cdot e^{j14^\circ}$$

$$= 7657,11 \cdot (0,97 - j0,24) = 7429,7 - j1852,4$$

$$P_C = 7429,7 \text{ Вт}; \quad Q_C = 1852,4 \text{ Вар}; \quad S_C = 7657,1 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Комплексные мощности фаз линии передачи равны

$$\dot{S}_{ал} = [\Delta \dot{U}_{лА}^l \cdot \dot{I}_a^*] = 49 \cdot 17,39 \cdot e^{j45^\circ} = 852,11 \cdot e^{j45^\circ} = 852,11 \cdot (0,707 + j0,707)$$

$$= 602,4 + j602,4$$

$$P_{ал} = 602,4 \text{ Вт}; \quad Q_{ал} = 602,4 \text{ Вар}; \quad S_{ал} = 852,1 \text{ В}\cdot\text{А}$$

$$\dot{S}_{вл} = [\Delta \dot{U}_{лВ}^l \cdot \dot{I}_B^*] = 59,1 \cdot e^{-j75^\circ} \cdot 20,94 \cdot e^{j120^\circ} = 1237,6 \cdot e^{j45^\circ}$$

$$= 1237,6 \cdot (0,707 + j0,707) = 875 + j875$$

$$P_{вл} = 875 \text{ Вт}; \quad Q_{вл} = 875 \text{ Вар}; \quad S_{вл} = 1237,6 \text{ В}\cdot\text{А}$$

$$\dot{S}_{сл} = [\Delta \dot{U}_{лС}^l \cdot \dot{I}_C^*] = 86 \cdot e^{j138,4^\circ} \cdot 30,47 \cdot e^{-j93,4^\circ} = 2620,42 \cdot e^{j45^\circ}$$

$$= 2620,42 \cdot (0,707 + j0,707) = 1852,6 + j1852,6$$

$$P_{сл} = 1852,6 \text{ Вт}; \quad Q_{сл} = 1852,6 \text{ Вар}; \quad S_{сл} = 2620,4 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Комплексные мощности фаз равны:

$$\dot{S}'_a = [\dot{U}'_a \cdot \dot{I}'_a^*] = 173,9 \cdot e^{-j8,2^\circ} \cdot 17,39 \cdot e^{j45^\circ} = 3024,12 \cdot e^{j36,8^\circ}$$

$$= 3024,12 \cdot (0,8 + j0,6) = 2419,3 + j1814,5$$

$$P'_a = 2419,3 \text{ Вт}; \quad Q'_a = 1814,5 \text{ Вар}; \quad S'_a = 3024,1 \text{ В}\cdot\text{А}$$

$$\dot{S}'_B = [\dot{U}'_B \cdot \dot{I}'_B^*] = 209,4 \cdot e^{-j173,2^\circ} \cdot 20,94 \cdot e^{j120^\circ} = 4384,84 \cdot e^{-j53,2^\circ}$$

$$= 4384,84 \cdot (0,6 - j0,8) = 2630,9 - j3507,9$$

$$P'_B = 2630,9 \text{ Вт}; \quad Q'_B = 3507,9 \text{ Вар}; \quad S'_B = 4384,8 \text{ В}\cdot\text{А}$$

$$\dot{S}'_C = [\dot{U}'_C \cdot \dot{I}'_C^*] = 304,8 \cdot e^{j93,4^\circ} \cdot 30,47 \cdot e^{-j93,4^\circ} = 9287,26 \cdot e^{j0^\circ} = 9287,26$$

$$P'_C = 9287,3 \text{ Вт}; \quad Q'_C = 0 \text{ Вар}; \quad S'_C = 9287,3 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Проверка

$$\underline{S}'_a = S'_a + S'_{ал}$$

$$2419,3 + j \cdot 1814,5 = (1820,6 + j \cdot 1210) + (602,4 + j \cdot 602,4)$$

$$2419,3 + j \cdot 1814,5 \approx 2423 + j \cdot 1812,4$$

$$\underline{S}'_B = S'_B + S'_{вл}$$

$$2630,9 - j \cdot 3507,9 = (1753,6 - j \cdot 4384,3) + (875 + j \cdot 875)$$

$$2630,9 - j \cdot 3507,9 \approx 2628,6 - j \cdot 3509,3$$

$$\underline{S}_c^l = S_c + S_{cл}$$

$$9287,3 = (7429,7 - j \cdot 1852,4) + (1852,6 + j \cdot 1852,6) =$$

$$9287,3 \approx 9282 + j \cdot 0,2$$

Комплексная мощность трехфазного потребителя

$$\underline{S}^l = \underline{S}_a^l + \underline{S}_b^l + \underline{S}_c^l = 2419,3 + j1814,5 + 2630,9 - j3507,9 + 9287,3 = 14337,5 - j1693,4$$

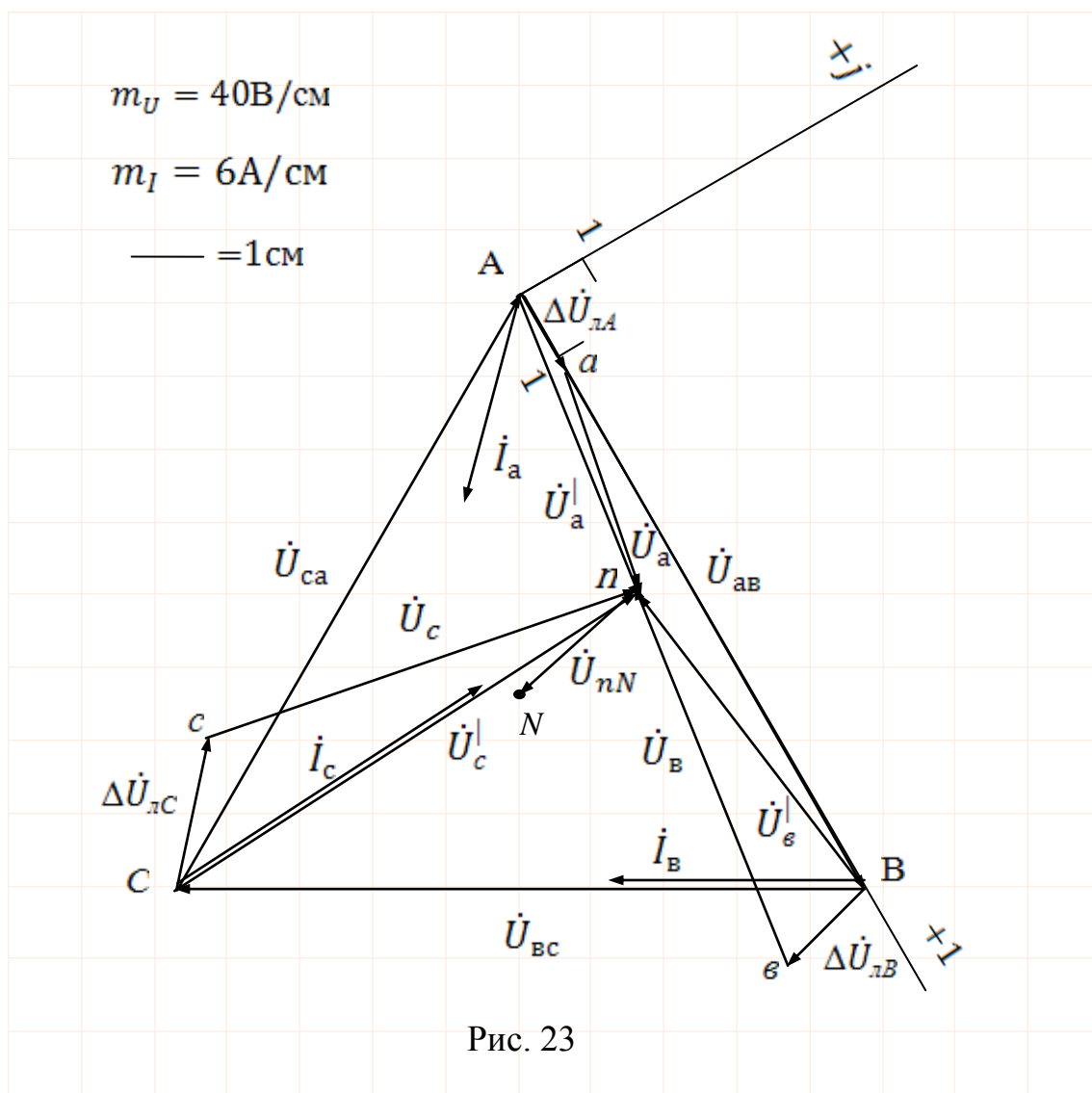
Полученный результат показывает:

- активная мощность трехфазного потребителя $P = 14337,5$ Вт
- реактивная мощность имеет емкостной характер и равна $Q = 1693,4$ Вар

Модуль комплексной мощности S определяет полную мощность трехфазного несимметричного потребителя

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{14337,5^2 + 1693,4^2} = 14437,2 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Векторная диаграмма токов и напряжений для режима а) приведена на рис. 23.



б) При обрыве линейного провода А-а соответствующая данному режиму расчетная схема приведена на рис. 24.

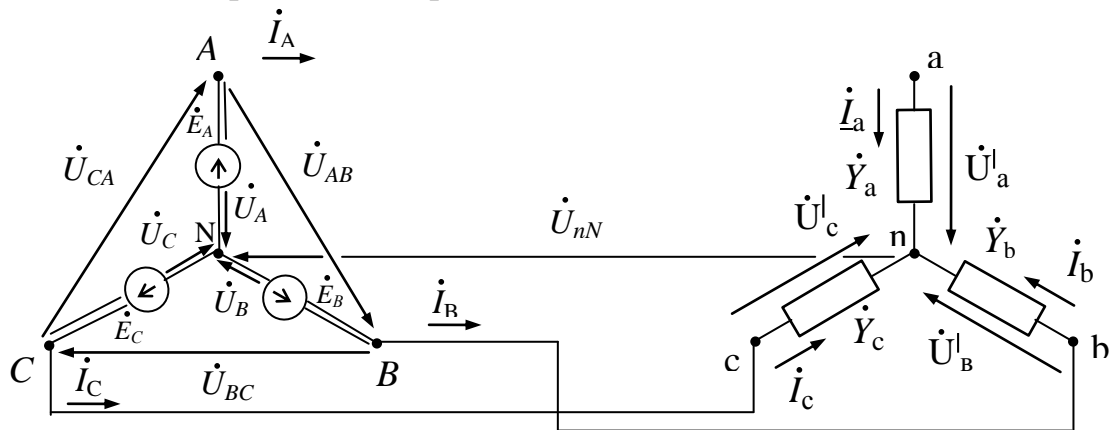


Рис. 24

Обрыв линейного провода эквивалентен увеличению до бесконечности сопротивления этой фазы, для рассматриваемого примера – фазы А. Как следствие, проводимость данной фазы становится равной нулю, т.е.

$$\dot{Y}_a = 1/(\dot{Z}_{\lambda A} + \dot{Z}_a) = 1/\infty = 0$$

$$\dot{Y}_c = 1/(\dot{Z}_{\lambda C} + \dot{Z}_c) = 1/10 = 0,1$$

$$\dot{Y}_b = 1/(\dot{Z}_{\lambda B} + \dot{Z}_b) = 1/(6-j8) = 0,06+j0,08$$

$$\dot{Y}_a + \dot{Y}_b + \dot{Y}_c = 0,16+j0,08$$

Учитывая, что

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{as} = 380, \dot{U}_{BC} = \dot{U}_{sc} = 380 \cdot e^{-j2\pi/3^\circ} = -190-j329$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{ca} = 380 \cdot e^{j2\pi/3^\circ} = -190 + j329$$

определим фазные напряжения приемника по известным соотношениям расчета «звезды» без нейтрального провода при непосредственном питании от сети:

$$\dot{U}'_a = (\dot{U}_{AB} \cdot \dot{Y}_b - \dot{U}_{CA} \cdot \dot{Y}_c) / (\dot{Y}_b + \dot{Y}_c) = [380 \cdot (0,06+j0,08) - (-190+j329) \cdot 0,1] / (0,16+j0,08) = (41,8-j2,5) / (0,16+j0,08) = 202,7-j117 = 234 \cdot e^{-j30^\circ}$$

$$\dot{U}'_b = \dot{U}_{BC} \cdot \dot{Y}_c / (\dot{Y}_b + \dot{Y}_c) = (-190-j329) \cdot 0,1 / (0,16+j0,08) = -177,3-j117 = 212,4 \cdot e^{-j146,6^\circ}$$

$$\dot{U}'_c = -\dot{U}_{BC} \cdot \dot{Y}_b / (\dot{Y}_b + \dot{Y}_c) = (190+j329) \cdot (0,06+j0,08) / (0,16+j0,08) = 12,74+j212 = 212,4 \cdot e^{j86,6^\circ}$$

Выразим фазные токи приемника через его фазные напряжения и проводимости соответствующих фаз:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_a = \dot{Y}_a \cdot \dot{U}'_a = 0$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_b = \dot{Y}_b \cdot \dot{U}'_b = (0,06 + j0,08) \cdot (-177,3 - j117) = -1,28 - j21,2 = 21,24 \cdot e^{-j93,5^\circ}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_c = \dot{Y}_c \cdot \dot{U}'_c = 0,1 \cdot (12,74 + j21,2) = 1,27 + j21,2 = 21,24 \cdot e^{j86,6^\circ}$$

Обращаясь к первому закону Кирхгофа, записанному для нейтральной точки (·) н приемника (рис. 24) произведем проверку правильности проведенных вычислений:

$$\dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c = 0 + (-1,28 - j21,2) + (1,27 + j21,2) = -0,01 + j0 \sim 0$$

Учитывая, что

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A \cdot e^{-j120^\circ} = U_{AB} \cdot e^{-j30^\circ} \cdot 1/\sqrt{3} \cdot e^{-j120^\circ} = 219,4 \cdot e^{-j150^\circ} = -190 - j \cdot 109,7$$

Определим напряжение смещения между нейтральными точками источника и приемника (рис. 24)

$$\begin{aligned} \dot{U}_{nN} &= \dot{U}_B - \dot{U}'_b = -190 - j \cdot 109,7 - (-17,73 - j \cdot 117) = -12,7 + j \cdot 7,3 = \\ &= 14,65 \cdot e^{j150,1^\circ} \end{aligned}$$

Определим напряжение в месте разрыва линейного провода А-а.

$$\dot{U}_{Aa} = \dot{U}_A - \dot{U}'_a - \dot{U}_{nN} = 190 - j \cdot 109,7 - (202,7 - j117) - (-12,7 + j7,3) = 0$$

Определяем падения напряжения в проводах линии передачи

$$\dot{U}_{лB} = \dot{Z}_{лB} \cdot \dot{I}_b = (2 + j2) \cdot (-1,28 - j21,2) = 39,7 - j44,9 = 59,9 \cdot e^{j48,5^\circ}$$

$$\Delta \dot{U}_{лC} = \dot{Z}_{лC} \cdot \dot{I}_c = (2 + j2) \cdot (1,27 + j21,2) = -39,8 + j44,8 = 59,9 \cdot e^{j131,6^\circ}$$

Определяем напряжения на фазах приемника

$$\dot{U}_b = \dot{Z}_b \cdot \dot{I}_b = (4 - j10) \cdot (-1,28 - j21,2) = -217,2 - j71,8 = 228,8 \cdot e^{-j161,7^\circ}$$

$$\dot{U}_c = \dot{Z}_c \cdot \dot{I}_c = (8 - j2) \cdot (1,27 + j21,2) = 52,4 + j167,1 = 175,1 \cdot e^{j72,6^\circ}$$

Определяем фазные коэффициенты мощности нагрузки:

$$\varphi_B = \varphi_{uB} - \varphi_{iB} = -161,7^\circ - (-93,5^\circ) = -68,2^\circ$$

$$\varphi_C = \varphi_{uC} - \varphi_{iC} = 72,6^\circ - 86,6^\circ = -14^\circ$$

Соответственно, $\cos \varphi_B = 0,37$; $\cos \varphi_C = 0,97$

Определяем разность фаз между током и напряжением в фазах линии передачи

$$\varphi_{вЛ} = \varphi_{uЛB} - \varphi_{iB} = -48,5^\circ - (-93,5^\circ) = 45^\circ$$

$$\varphi_{сЛ} = \varphi_{uЛC} - \varphi_{iC} = 131,6^\circ - 86,6^\circ = 45^\circ$$

Соответственно, $\cos\varphi_{\text{вЛ}} = \cos\varphi_{\text{сЛ}} = 0,707$

Комплексные мощности фаз нагрузки равны

$$\begin{aligned}\dot{S}_B &= [\dot{U}_B \cdot \dot{I}_B^*] = 228,8 \cdot e^{-j161,7^\circ} \cdot 21,24 \cdot e^{j93,5^\circ} = 4859,71 \cdot e^{-j68,2^\circ} \\ &= 4859,71 \cdot (0,37 - j0,93) = 1804,7 - j4512,2\end{aligned}$$

$$P_B = 1804,7 \text{ Вт}; \quad Q_B = 4512,2 \text{ Вар}; \quad S_B = 4859,7 \text{ В}\cdot\text{А}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_C &= [\dot{U}_C \cdot \dot{I}_C^*] = 175,1 \cdot e^{j72,6^\circ} \cdot 21,24 \cdot e^{j86,6^\circ} = 3719,12 \cdot e^{j14^\circ} \\ &= 3719,12 \cdot (0,97 - j0,24) = 3608,6 - j899,7\end{aligned}$$

$$P_C = 3608,6 \text{ Вт}; \quad Q_C = 899,7 \text{ Вар}; \quad S_C = 3719,1 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Комплексные мощности фаз линии передачи равны

$$\begin{aligned}\dot{S}_{\text{вЛ}} &= [\Delta \dot{U}_{\text{лВ}}^l \cdot \dot{I}_B^*] = 59,9 \cdot e^{-j48,5^\circ} \cdot 21,24 \cdot e^{j93,5^\circ} = 1272,3 \cdot e^{j45^\circ} \\ &= 1272,3 \cdot (0,707 + j0,707) = 899,5 + j899,5\end{aligned}$$

$$P_{\text{вЛ}} = 899,5 \text{ Вт}; \quad Q_{\text{вЛ}} = 899,5 \text{ Вар}; \quad S_{\text{вЛ}} = 1272,3 \text{ В}\cdot\text{А}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_{\text{сЛ}} &= [\Delta \dot{U}_{\text{лС}}^l \cdot \dot{I}_C^*] = 59,9 \cdot e^{j131,6^\circ} \cdot 21,24 \cdot e^{-j86,6^\circ} = 1272,3 \cdot e^{j45^\circ} \\ &= 1272,3 \cdot (0,707 + j0,707) = 899,5 + j899,5\end{aligned}$$

$$P_{\text{сЛ}} = 899,5 \text{ Вт}; \quad Q_{\text{сЛ}} = 899,5 \text{ Вар}; \quad S_{\text{сЛ}} = 1272,3 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Комплексные мощности фаз равны:

$$\begin{aligned}\dot{S}'_B &= [\dot{U}'_B \cdot \dot{I}'_B^*] = 212,4 \cdot e^{-j146,6^\circ} \cdot 21,24 \cdot e^{j93,5^\circ} = 4511,4 \cdot e^{-j53,1^\circ} \\ &= 4511,4 \cdot (0,6 - j0,8) = 2708,7 - j3607,7\end{aligned}$$

$$P'_B = 2708,7 \text{ Вт}; \quad Q'_B = 3607,7 \text{ Вар}; \quad S'_B = 4511,4 \text{ В}\cdot\text{А}$$

$$\dot{S}'_C = [\dot{U}'_C \cdot \dot{I}'_C^*] = 212,4 \cdot e^{j86,6^\circ} \cdot 21,24 \cdot e^{-j86,6^\circ} = 4511,4 \cdot e^{j0^\circ} = 4511,4$$

$$P'_C = 4511,4 \text{ Вт}; \quad Q'_C = 0 \text{ Вар}; \quad S'_C = 4511,4 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Проверка

$$\underline{S}'_B = S'_B + S_{\text{вЛ}}$$

$$2708,7 - j \cdot 3607,7 = (1804,7 - j \cdot 4512,2) + (899,5 + j \cdot 899,5)$$

$$2708,7 - j \cdot 3607,7 \approx 2704,2 - j \cdot 3612,7$$

$$\underline{S}'_C = S'_C + S_{\text{сЛ}}$$

$$4511,4 = (3608,6 - j \cdot 899,7) + (899,5 + j \cdot 899,5)$$

$$4511,4 \approx 4508,1 - j \cdot 0,2$$

Комплексная мощность трехфазного потребителя

$$\underline{S}' = \underline{S}'_A + \underline{S}'_B + \underline{S}'_C = 0 + j2708,7 - 3607,7 + 4511,4 = 7220,1 - j3607,7$$

Полученный результат показывает:

– активная мощность трехфазного потребителя $P = 7220,1 \text{ Вт}$

– реактивная мощность имеет емкостной характер и равна $Q = 3607,7 \text{ Вар}$

Модуль комплексной мощности S определяет полную мощность трехфазного несимметричного потребителя

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{7220,1^2 + 3606,7^2} = 8070,8 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Векторная диаграмма токов и напряжений для режима б) приведена на рис. 25.

Правильность проведенных на рис. 25 построений можно проверить принимая во внимание, что векторная сумма фазных токов должна удовлетворять равенству:

$$\dot{I}_a + \dot{I}_c = 0 \quad (1)$$

Применительно к рис. 25 для взаимно ориентированных векторов фазных токов, соответствующие построения удовлетворяющие выражению (1) приведены на рис. 26.

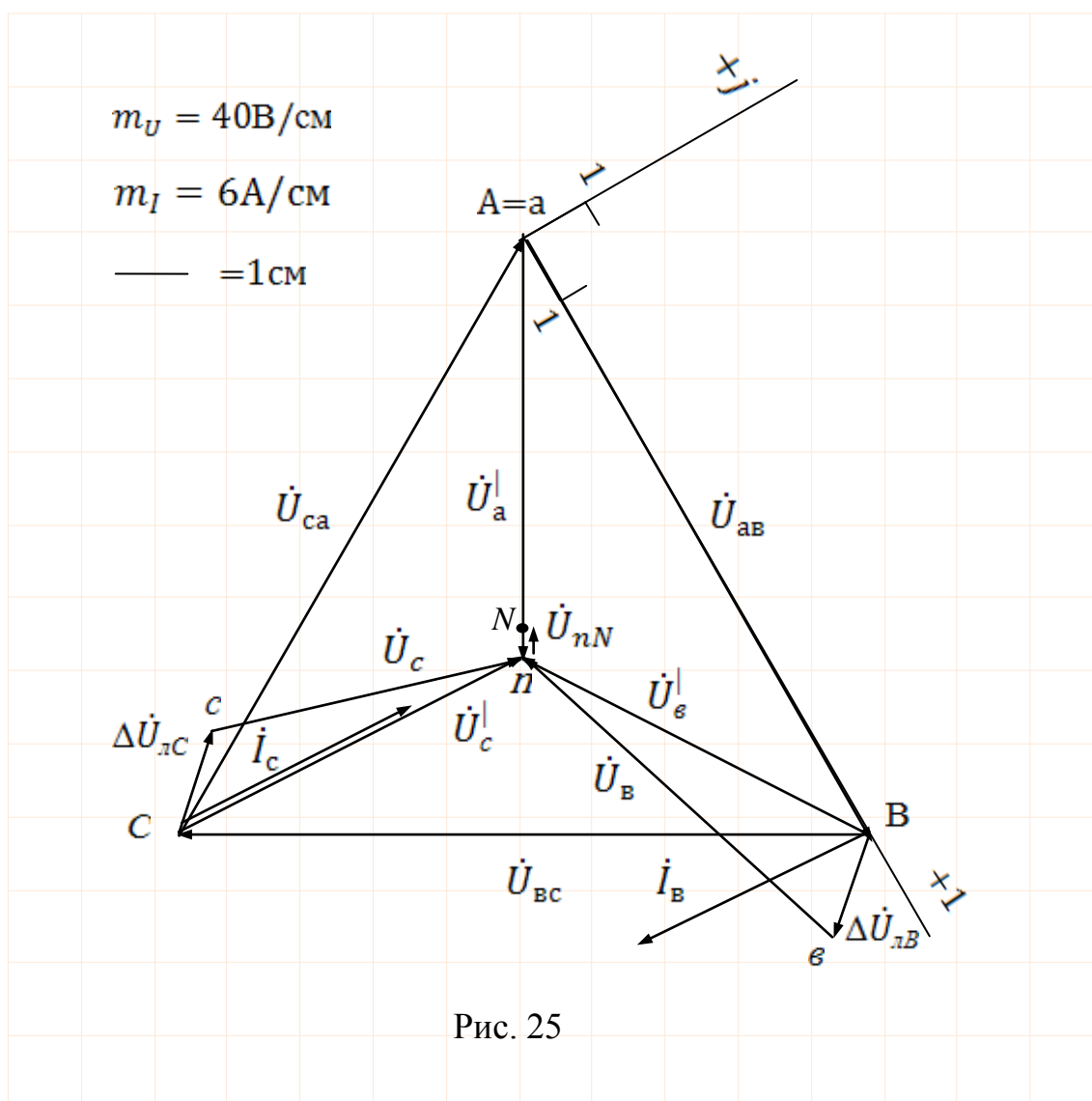
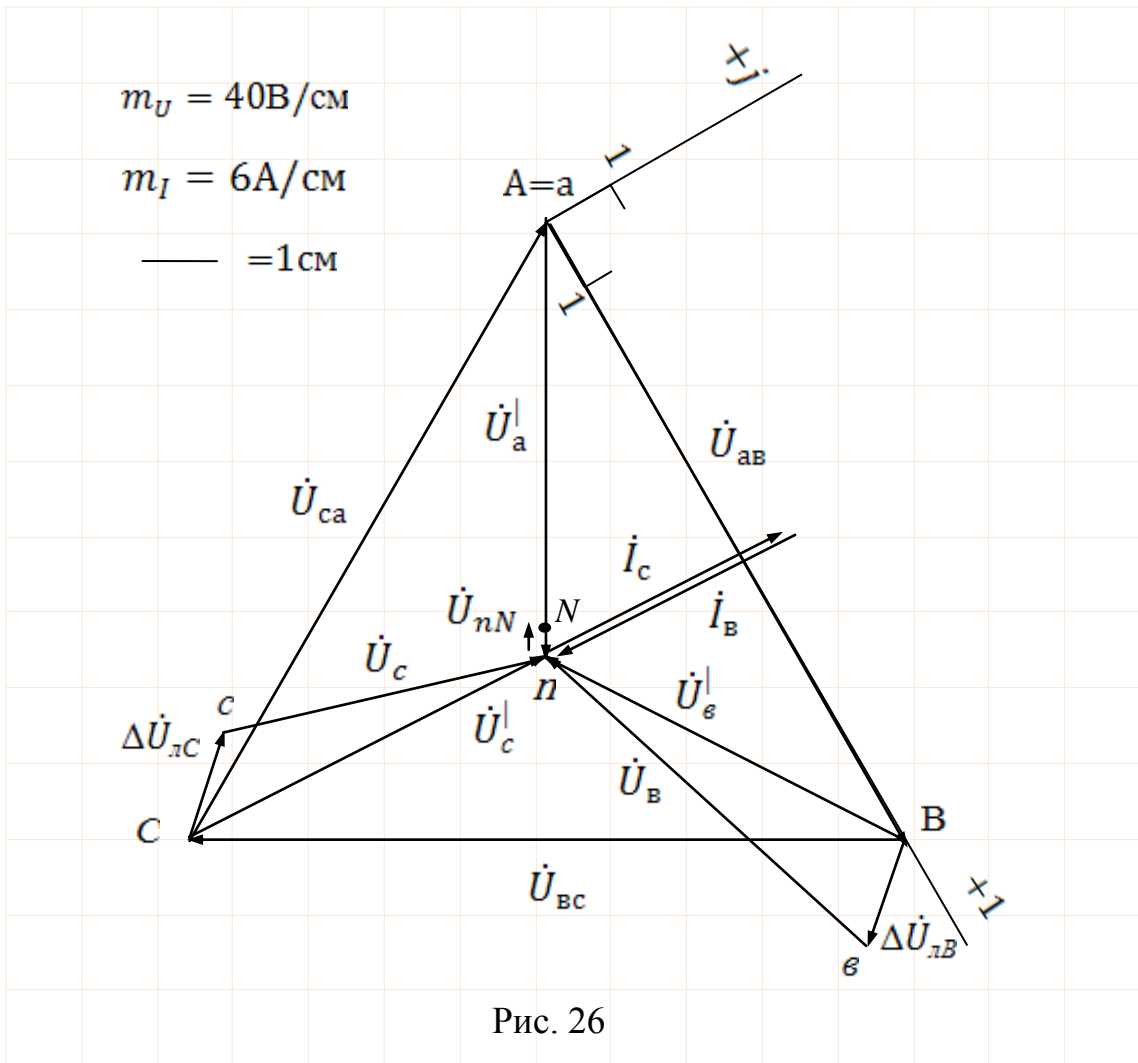
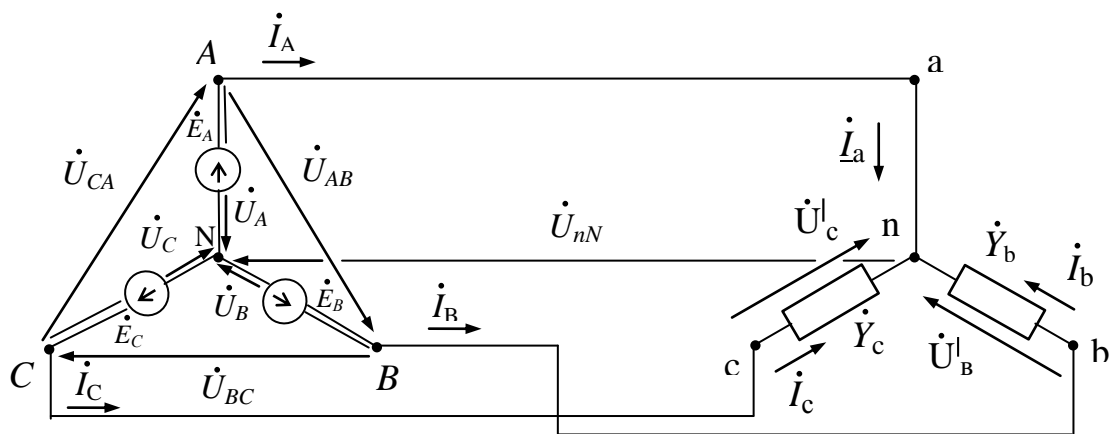


Рис. 25



в) При коротком замыкании участка А-п соответствующая данному режиму расчетная схема приведена на рис. 27.



При коротком замыкании участка А-п сопротивление фазы А можно полагать равным нулю. Как следствие, проводимость данной фазы становится равной бесконечности, т.е.

$$\dot{Y}_a = 1/(\dot{Z}_{\text{лА}} + \dot{Z}_a) = 1/0 = \infty$$

$$\dot{Y}_b = 1/(\dot{Z}_{\text{лВ}} + \dot{Z}_b) = 1/(6-j8) = 0,06+j0,08$$

$$\dot{Y}_c = 1/(\dot{Z}_{\text{лС}} + \dot{Z}_c) = 1/10 = 0,1$$

$$\dot{Y}_a + \dot{Y}_b + \dot{Y}_c = \infty$$

Учитывая, что

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{aB} = 380, \dot{U}_{BC} = \dot{U}_{bC} = 380 \cdot e^{-j2\pi/3^\circ} = -190 - j329$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{cA} = 380 \cdot e^{j2\pi/3^\circ} = -190 + j329$$

определим фазные напряжения приемника по известным соотношениям расчета «звезды» без нейтрального провода при непосредственном питании от сети:

$$\dot{U}'_a = 0 \quad \dot{U}'_b = -\dot{U}_{AB} \quad \dot{U}'_c = \dot{U}_{CA}$$

Выразим фазные токи приемника через его фазные напряжения и проводимости соответствующих фаз:

$$\dot{I}_b = \dot{I}_B = \dot{Y}_b \cdot \dot{U}'_b = (0,06+j0,08) \cdot (-380) = -22,8-j30,4 = 38 \cdot e^{j126,9^\circ}$$

$$\dot{I}_c = \dot{I}_C = \dot{Y}_c \cdot \dot{U}'_c = 0,1 \cdot (-190+j329) = -19+j32,9 = 38 \cdot e^{j120^\circ}$$

Обращаясь к первому закону Кирхгофа, записанному для нейтральной точки (\cdot) в приемника (рис. 27) можно определить ток в замкнутом участке:

$$\begin{aligned} \dot{I}_a &= -\dot{I}_c - \dot{I}_b = -(-19+j32,9) - (-22,8-j30,4) = \\ &= 41,8 - j2,5 = 41,9 \cdot e^{-j3,4^\circ} \end{aligned}$$

Учитывая, что

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A \cdot e^{-j120^\circ} = U_{AB} \cdot e^{-j30^\circ} \cdot 1/\sqrt{3} \cdot e^{-j120^\circ} = 219,4 \cdot e^{-j150^\circ} = -190 - j109,7$$

Определим напряжение смещения между нейтральными точками источника и приемника (рис. 27).

$$\dot{U}_{nN} = \dot{U}_B - \dot{U}'_b = -190 - j109,7 - (-380) = 190 - j109,4 = 219,4 \cdot e^{-j30^\circ}$$

Определяем падения напряжения в проводах линии передачи

$$\Delta \dot{U}_{\text{лВ}} = \dot{Z}_{\text{лВ}} \cdot \dot{I}_b = (2+j2) \cdot (-22,8-j30,4) = 15,15-j106,4 = 107,5 \cdot e^{j81,9^\circ}$$

$$\Delta \dot{U}_{\text{лС}} = \dot{Z}_{\text{лС}} \cdot \dot{I}_c = (2+j2) \cdot (-19+j32,9) = -39,8+j44,8 = 107,5 \cdot e^{j165^\circ}$$

Определяем напряжения на фазах приемника

$$\dot{U}_b = \dot{Z}_b \cdot \dot{I}_b = (4-j10) \cdot (-22,8-j30,4) = -395,1+j106,6 = 409,3 \cdot e^{j164,9^\circ}$$

$$\dot{U}_c = \dot{Z}_c \cdot \dot{I}_c = (8-j2) \cdot (-19+j32,9) = -86,4+j301,1 = 313,3 \cdot e^{j106^\circ}$$

Определяем фазные коэффициенты мощности нагрузки:

$$\varphi_B = \varphi_{uB} - \varphi_{iB} = 164,9^0 - (-126,9^0) = -68,2^0$$

$$\varphi_C = \varphi_{uC} - \varphi_{iC} = 106^0 - 120^0 = -14^0$$

Соответственно, $\cos\varphi_B=0,37$; $\cos\varphi_C=0,97$

Определяем разность фаз между током и напряжением в фазах линии передачи

$$\varphi_{вЛ} = \varphi_{uЛВ} - \varphi_{iВ} = -81,9^0 - (-126,9^0) = 45^0$$

$$\varphi_{сЛ} = \varphi_{uЛС} - \varphi_{iС} = 165^0 - 120^0 = 45^0$$

Соответственно, $\cos\varphi_{вЛ} = \cos\varphi_{сЛ} = 0,707$

Комплексные мощности фаз нагрузки равны

$$\begin{aligned}\dot{S}_B &= [\dot{U}_B \cdot \dot{I}_B^*] = 409,3 \cdot e^{j164,9^0} \cdot 38 \cdot e^{j126,9^0} = 15553,4 \cdot e^{-j68,2^0} \\ &= 15553,4 \cdot (0,37 - j0,93) = 5754,8 - j14464,7\end{aligned}$$

$$P_B=5754,8 \text{ Вт}; \quad Q_B=14464,7 \text{ Вар}; \quad S_B=15553,4 \text{ В}\cdot\text{А}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_C &= [\dot{U}_C \cdot \dot{I}_C^*] = 313,3 \cdot e^{j106^0} \cdot 38 \cdot e^{j120^0} = 11905,4 \cdot e^{j14^0} \\ &= 11905,4 \cdot (0,97 - j0,24) = 11548,2 - j2857,3\end{aligned}$$

$$P_C=11548,2 \text{ Вт}; \quad Q_C=2857,3 \text{ Вар}; \quad S_C=11905,4 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Комплексные мощности фаз линии передачи равны

$$\begin{aligned}\dot{S}_{вЛ} &= [\Delta \dot{U}_{ЛВ}^l \cdot \dot{I}_B^*] = 107,5 \cdot e^{j81,9^0} \cdot 38 \cdot e^{j126,9^0} = 4085 \cdot e^{j45^0} \\ &= 4085 \cdot (0,707 + j0,707) = 2888,1 + j2888,1\end{aligned}$$

$$P_{вЛ}=2888,1 \text{ Вт}; \quad Q_{вЛ}=2888,1 \text{ Вар}; \quad S_{вЛ}=4085 \text{ В}\cdot\text{А}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_{сЛ} &= [\Delta \dot{U}_{ЛС}^l \cdot \dot{I}_C^*] = 107,5 \cdot e^{j165^0} \cdot 38 \cdot e^{j120^0} = 4085 \cdot e^{j45^0} \\ &= 4085 \cdot (0,707 + j0,707) = 2888,1 + j2888,1\end{aligned}$$

$$P_{сЛ}=2888,1 \text{ Вт}; \quad Q_{сЛ}=2888,1; \quad S_{сЛ}=4085 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Комплексные мощности фаз равны:

$$\begin{aligned}\dot{S}'_B &= [\dot{U}'_B \cdot \dot{I}'_B^*] = -380 \cdot 38 \cdot e^{j126,9^0} = -14440 \cdot e^{j126,9^0} = 14440 \cdot (-0,6 - j0,8) \\ &= 8664 - j11552\end{aligned}$$

$$P'_B=8664 \text{ Вт}; \quad Q'_B=11552 \text{ Вар}; \quad S'_B=14440 \text{ В}\cdot\text{А}$$

$$\dot{S}'_C = [\dot{U}'_C \cdot \dot{I}'_C^*] = 380 \cdot e^{j120^0} \cdot 38 \cdot e^{j120^0} = 14440$$

$$P'_C=14440 \text{ Вт}; \quad Q'_C=0 \text{ Вар}; \quad S'_C=14440 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Проверка:

$$\underline{S}'_B = S'_B + S'_{вЛ}$$

$$8664 - j \cdot 11552 = (5754,8 - j \cdot 14464,7) + (2888,1 + j \cdot 2888,1)$$

$$8664 - j \cdot 11552 \approx 8642,9 - j \cdot 11576,6$$

$$\underline{S}_c^l = S_c + S_{cл}$$

$$14440 = (11548,2 - j \cdot 2857,3) + (2888,1 + j \cdot 2888,1)$$

$$14440 \approx 14436,3 - j \cdot 30,8$$

Комплексная мощность трехфазного потребителя

$$\underline{S}^l = \underline{S}_a^l + \underline{S}_b^l + \underline{S}_c^l = 0 + 8664 - j11552 + 14440 = 23104 - j11552$$

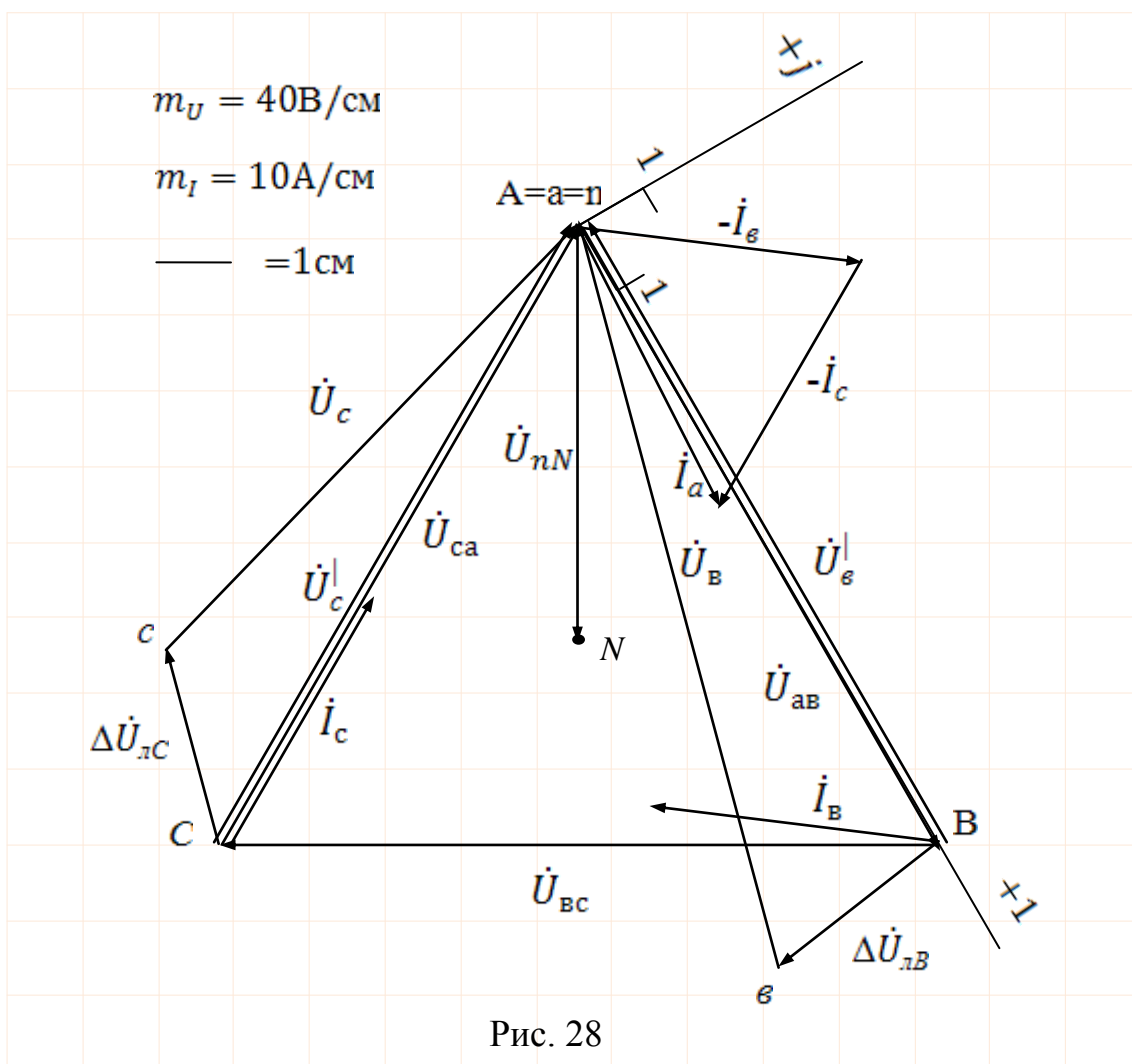
Полученный результат показывает:

- активная мощность трехфазного потребителя $P = 23104$ Вт
- реактивная мощность имеет емкостной характер и равна $Q = 11552$ Вар

Модуль комплексной мощности S определяет полную мощность трехфазного несимметричного потребителя

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{23104^2 + 11552^2} = 25831 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Векторная диаграмма токов и напряжений для режима в) приведена на рис. 28.



2.4.4 СИММЕТРИЧНАЯ НАГРУЗКА ПРИ СОЕДИНЕНИИ ЗВЕЗДОЙ (ЧЕТЫРЕХПРОВОДНАЯ СИСТЕМА)

На (рис. 29, а) приведен пример включения трехфазной симметричной активной нагрузки применительно к четырехпроводной трехфазной системе. Соответствующая этому случаю схема соединения осветительной нагрузки приведена на (рис. 29, б). Векторные диаграммы токов и напряжений для симметричной осветительной нагрузки ($\varphi=0$) приведены на (рис. 29, с).

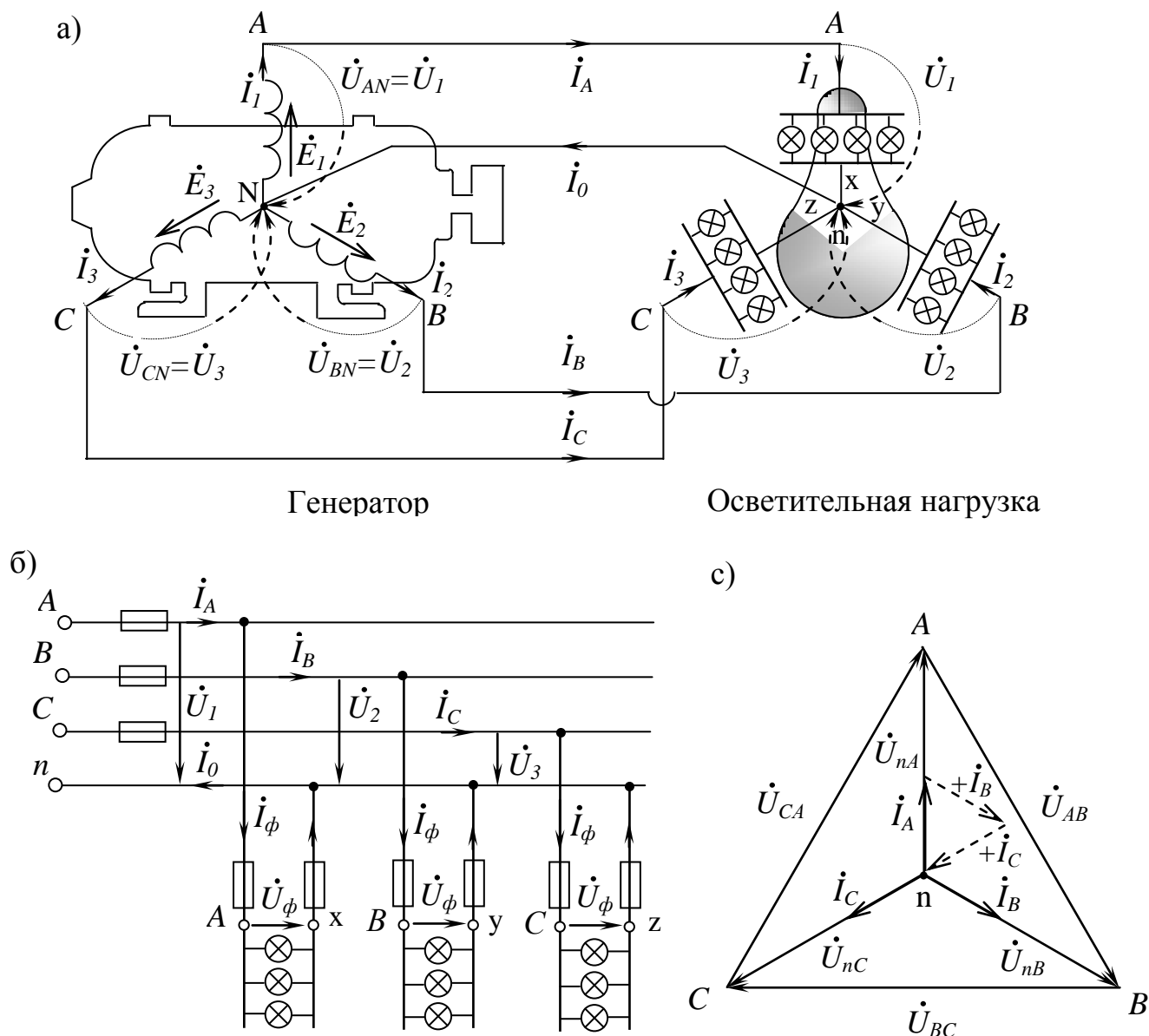


Рис. 29

Соотношения между линейными и фазными токами и напряжениями для данного случая примут вид:

$$\dot{I}_A = \dot{I}_1 = \dot{I}_\phi; \quad \dot{I}_B = \dot{I}_2 = \dot{I}_\phi; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_3 = \dot{I}_\phi \quad \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{I}_0$$

$$\begin{aligned} \dot{U}_{nA} &= -(\dot{U}_{An} = \dot{U}_{AX} = \dot{U}_{\dot{\phi}}) & \dot{U}_{AB} &= \dot{U}_{nB} - \dot{U}_{nA} \\ \dot{U}_{nB} &= -(\dot{U}_{Bn} = \dot{U}_{AY} = \dot{U}_{\dot{\phi}}) & \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_{nC} - \dot{U}_{nB} \\ \dot{U}_{nC} &= -(\dot{U}_{Cn} = \dot{U}_{AZ} = \dot{U}_{\dot{\phi}}) & \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_{nA} - \dot{U}_{nC} \end{aligned}$$

Как видно из приведенных соотношений и векторной диаграммы (рис. 29, с), при симметричной нагрузке фаз ток в нулевом проводе отсутствует, и надобность в этом проводе отпадает. В случае если присоединяемая однотипная нагрузка несимметричная по потребляемой мощности, то для выравнивания соответствующих ей фазных напряжений, как будет показано, ниже, обязательно применение нулевого провода.

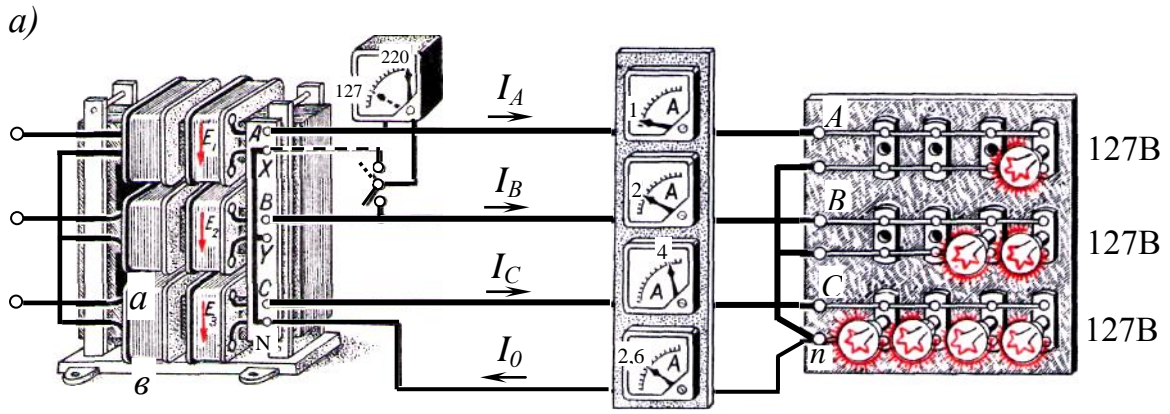
2.4.5 НЕСИММЕТРИЧНАЯ НАГРУЗКА ПРИ СОЕДИНЕНИИ ЗВЕЗДОЙ (ЧЕТЫРЕХПРОВОДНАЯ СИСТЕМА)

Схема включения, соответствующая рассматриваемому случаю, применительно к осветительной нагрузке приведена на (рис. 30, а). В качестве источника симметричной системы напряжений выбран трехфазный трансформатор, вторичные обмотки которого соединены звездой, а параметры обмоток подобраны таким образом, что соответствующие им линейные и фазные напряжения удовлетворяют соотношениям: $U_L = 220 \text{ В}$; $U_\phi = U_L / \sqrt{3} = 127 \text{ В}$.

В качестве несимметричного приемника выбраны три группы ламп накаливания по одной, две и четыре лампочки в соответствующих фазах со следующими номинальными данными: $P_H = 127 \text{ Вт}$; $U_H = 127 \text{ В}$.

Общий случай несимметричной осветительной нагрузки и соответствующая векторная диаграмма токов приведены на (рис. 30, б). При этом, для изменяющихся числовых значений токов в фазах ($I_A = 1 \text{ А}$; $I_B = 2 \text{ А}$ $I_C = 4 \text{ А}$) и их векторов (см. рис. 30, б), ток в нулевом проводе I_0 определяется выражением:

$$\begin{aligned} \dot{I}_0 &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 1 \cdot e^{j0} + 2 \cdot e^{j120^\circ} + 4 \cdot e^{j240^\circ} = 2 \cdot (\cos 120^\circ + j \cdot \sin 120^\circ) + \\ &4 \cdot (\cos 240^\circ + j \cdot \sin 240^\circ) + 1 = 2 \cdot (-1/2 + j \cdot \sqrt{3}/2) + 4 \cdot (-1/2 - j \cdot \sqrt{3}/2) + \\ &1 = -2 - j \cdot \sqrt{3} = 2,65 \cdot e^{j2,21^\circ} \quad \dot{I}_0 = 2,65 \text{ А} \end{aligned}$$



Источник симметричной системы напряжений

Несимметричный приемник

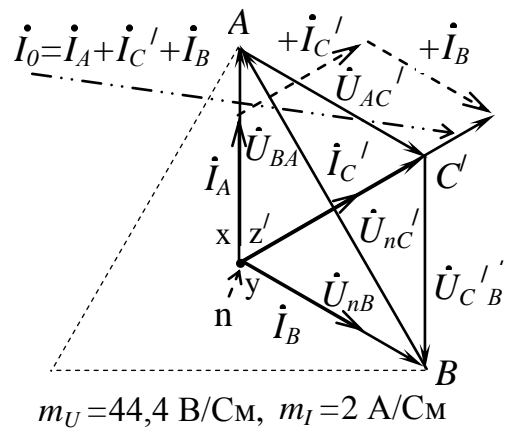
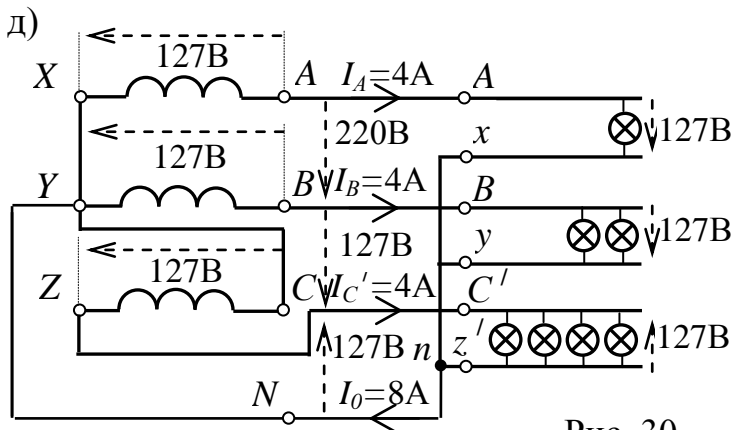
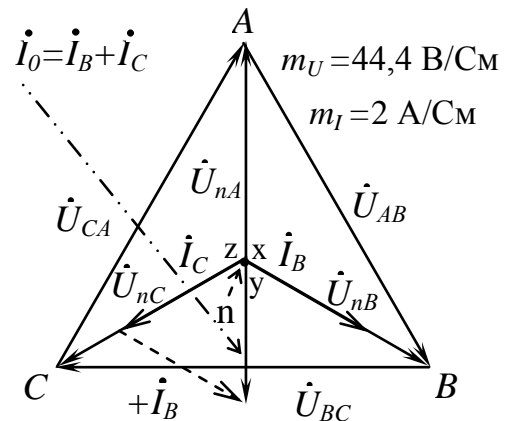
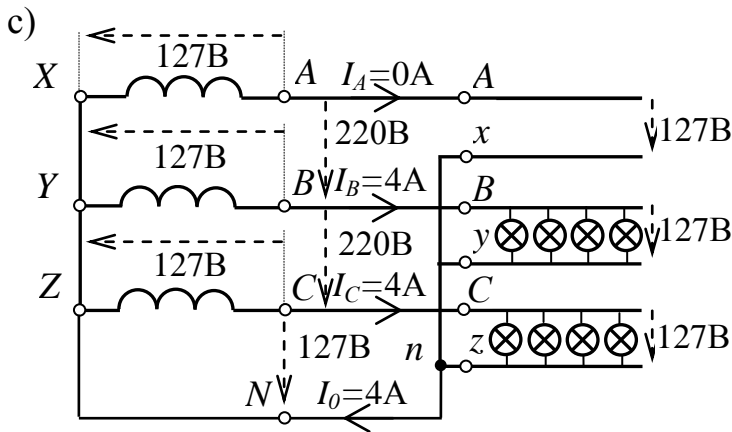
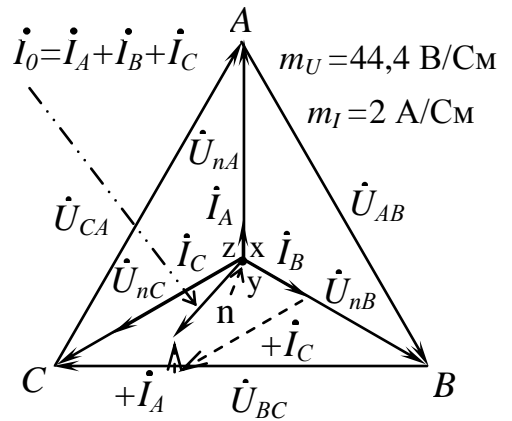
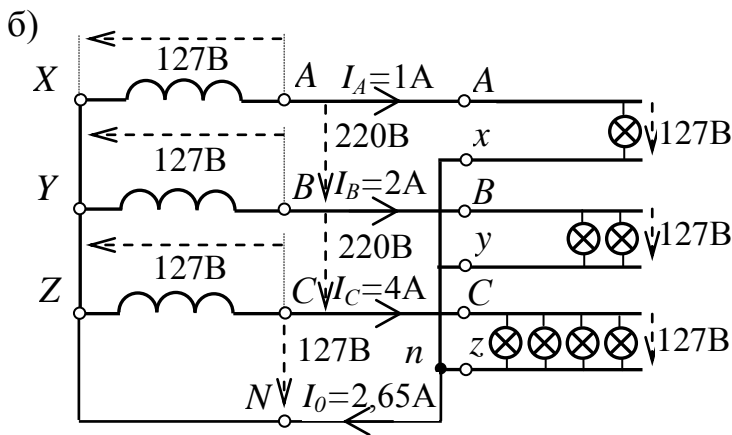


Рис. 30

Частный случай не симметрии, обрыва одной из фаз (например: А) в симметричном приемнике (по четыре лампочки в каждой фазе) и соответствующая векторная диаграмма токов в фазах приведены на (рис. 30, с). Ток в нулевом проводе \dot{I}_0 определим по выражению:

$$\begin{aligned} \dot{I}_0 &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0 \cdot e^{j0} + 4 \cdot e^{j120^\circ} + 4 \cdot e^{j240^\circ} = 4 \cdot (\cos 120^\circ + j \cdot \sin 120^\circ) + \\ &4 \cdot (\cos 240^\circ + j \cdot \sin 240^\circ) = 4 \cdot (-1/2 + j \cdot \sqrt{3}/2) + 4 \cdot (-1/2 - j \cdot \sqrt{3}/2) = \\ &-4 = 4 \cdot e^{j180^\circ}, \quad \dot{I}_0 = 4A \end{aligned}$$

Наиболее часто встречающийся в практике случай обратного (ошибочного) включения одной из фаз (например: С) источника при симметричном приемнике и соответствующая этому случаю векторная диаграмма токов в фазах приведены на (рис. 30, д). В соответствии с приведенной векторной диаграммой и числовыми значениями токов в фазах ($I_A = 4A$; $I_B = 4A$; $I_C = 4A$) найдем комплекс действующего значения тока в нулевом проводе I_0 по выражению:

$$\begin{aligned} \dot{I}_0 &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 4 \cdot e^{j0} + 4 \cdot e^{j120^\circ} + 4 \cdot e^{j240^\circ} = 4 \cdot (\cos 120^\circ + j \cdot \sin 120^\circ) + \\ &4 \cdot (\cos 240^\circ + j \cdot \sin 240^\circ) + 4 = 4 \cdot (-1/2 + j \cdot \sqrt{3}/2) + 4 \cdot (-1/2 - j \cdot \sqrt{3}/2) + \\ &4 = 4 + j \cdot 4 \cdot \sqrt{3} = 8 \cdot e^{j60^\circ}; \quad \dot{I}_0 = 8A \end{aligned}$$

Из приведенных примеров видно, что если проводимость между нейтральными точками (N и n) имеет конечное значение, то между ними будет существовать некоторое напряжение \dot{U}_0 не равное нулю, которое в свою очередь, может быть изображено некоторым вектором на соответствующей топографической диаграмме напряжений. Как отмечалось ранее, применительно к точке (n), на основании первого закона Кирхгофа, справедливо соотношение:

$$\dot{I}_0 = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C$$

Токи, входящие в последнее равенство, можно выразить через соответствующие проводимости и напряжения. В соответствии с принятыми на (рис. 29, а) обозначениями обозначим фазные на зажимах генератора через $(\dot{U}_{AN}; \dot{U}_{BN}; \dot{U}_{CN})$, а фазные напряжения на зажимах приемника через $(\dot{U}_{An}; \dot{U}_{Bn}; \dot{U}_{Cn})$, получим:

$$\begin{aligned} \dot{I}_0 &= \dot{U}_0 \cdot Y_0, \quad \text{где } \dot{U}_0 = \dot{U}_{nN}; \quad \dot{I}_A = \dot{I}_1 = \dot{U}_{An} \cdot Y_1 = (\dot{U}_{AN} - \dot{U}_0) \cdot Y_1; \\ \dot{I}_B &= \dot{I}_2 = \dot{U}_{Bn} \cdot Y_2 = (\dot{U}_{BN} - \dot{U}_0) \cdot Y_2; \quad \dot{I}_C = \dot{I}_3 = \dot{U}_{Cn} \cdot Y_3 = (\dot{U}_{CN} - \dot{U}_0) \cdot Y_3; \end{aligned}$$

и найдем:

$$\dot{U}_{AN} \cdot Y_1 + \dot{U}_{BN} \cdot Y_2 + \dot{U}_{CN} \cdot Y_3 = \dot{U}_0 \cdot (Y_1 + Y_2 + Y_3 + Y_0) ,$$

т.к. $Y_1 = Y_A; Y_2 = Y_B; Y_3 = Y_C$, то

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{U}_{AN} \cdot Y_A + \dot{U}_{BN} \cdot Y_B + \dot{U}_{CN} \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0} ; \quad [\dot{U}_0] = \text{В} .$$

Последнее соотношение позволяет по фазным напряжениям генератора и проводимостям $Y_A; Y_B; Y_C; Y_0$ определить напряжение \dot{U}_0 между нейтральными точками (N и n), зная которое, легко найти напряжения на зажимах приемников и вычислить ток в каждом из них. Например, фазное напряжение \dot{U}_{An} равно:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{An} &= \dot{U}_{AN} - \dot{U}_0 = \dot{U}_{AN} - \frac{\dot{U}_{AN} \cdot Y_A + \dot{U}_{BN} \cdot Y_B + \dot{U}_{CN} \cdot Y_C}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0} = \\ &= \frac{\dot{U}_{AN} \cdot Y_A - \dot{U}_{AN} \cdot Y_A + \dot{U}_{AN} \cdot Y_B - \dot{U}_{BN} \cdot Y_B + \dot{U}_{AN} \cdot Y_C - \dot{U}_{CN} \cdot Y_C + \dot{U}_{AN} \cdot Y_0}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0} = \\ &= \frac{\dot{U}_{AB} \cdot Y_B + \dot{U}_{AC} \cdot Y_C + \dot{U}_{AN} \cdot Y_0}{Y_A + Y_B + Y_C + Y_0} ; \quad [\dot{U}_{An}] = \text{В} . \end{aligned}$$

Если нейтральный провод отсутствует, то в выражении для \dot{U}_0 и для фазных напряжений ($\dot{U}_{An}; \dot{U}_{Bn}; \dot{U}_{Cn}$) нужно положить $Y_0 = 0$.

Для вычисления напряжения смещения нейтрали \dot{U}_0 и фазных напряжений удобно пользоваться следующей схемой замещения (рис. 31, а), соответствующей условным обозначениям электрических величин и параметров приведенных на (рис. 29, а).

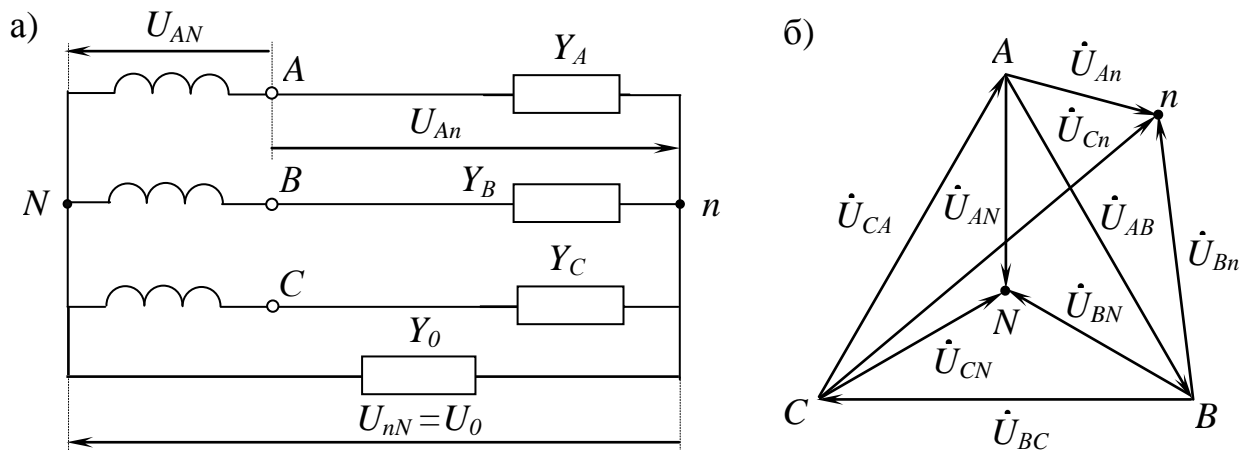


Рис. 31

Следует иметь в виду, что в частных случаях точка (n) на топографической диаграмме напряжений может лежать вне треугольника линейных напряжений (рис. 31, б). Смещение нейтральной точки приемника (n) относительно нейтральной точки генератора (N) вызывает изменение напряжения во всех фазах приемника, например, увеличение напряжения в двух фазах (рис. 31, б), что нежелательно, а при значительном смещении и недопустимо.

2.4.6 ПРИМЕР РАСЧЕТА НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ ПРИ СОЕДИНЕНИИ ЗВЕЗДОЙ (ЧЕТЫРЕХПРОВОДНАЯ СИСТЕМА)

Трехфазный потребитель (табл. 2) питается от сети с симметричной системой линейных напряжений $|U_{AB}| = |U_{BC}| = |U_{CA}| = U_L$ по схеме четырехпроводного соединения «звезда» через линию передачи (рис. 32). Провода линии передачи с сопротивлениями $Z_{лА}, Z_{лВ}, Z_{лС}$ соединены последовательно с соответствующими фазами приемника Z_a, Z_b, Z_c (рис. 32). Сопротивление нулевого провода равно Z_{nN} (табл. 2).

Определить: $\dot{U}_a, \dot{U}_b, \dot{U}_c$ фазные напряжения; \dot{U}_{nN} напряжение между нейтральными точками приемника и источника; $\Delta\dot{U}_A, \Delta\dot{U}_B, \Delta\dot{U}_C$ падения напряжения в проводах линии передачи; $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$ силу тока в фазах нагрузки и линейных проводах; ток \dot{I}_{nN} в нейтральном проводе; $\cos\varphi_a, \cos\varphi_b, \cos\varphi_c$ фазные коэффициенты мощности; активные P_a, P_b, P_c ; реактивные Q_a, Q_b, Q_c и полные S_a, S_b, S_c мощности потребляемые нагрузкой. Расчеты выполнить для следующих режимов:

- а) несимметричном трехфазном;
- б) при обрыве одной фазы нагрузки (линейный провод А-а);
- в) при коротком замыкании той же фазы нагрузки (короткое замыкание участка А-n).

Построить векторные диаграммы токов и напряжений для каждого из трех режимов.

Таблица 2.

$U_L, В$	\dot{Z}_a	\dot{Z}_b	\dot{Z}_c	\dot{Z}_{nN}	$\dot{Z}_{лА} = \dot{Z}_{лВ} = \dot{Z}_{лС}$
380	$6 + j \cdot 4$	$4 - j \cdot 10$	$8 - j \cdot 2$	$3 + j \cdot 4$	$2 + j \cdot 2$

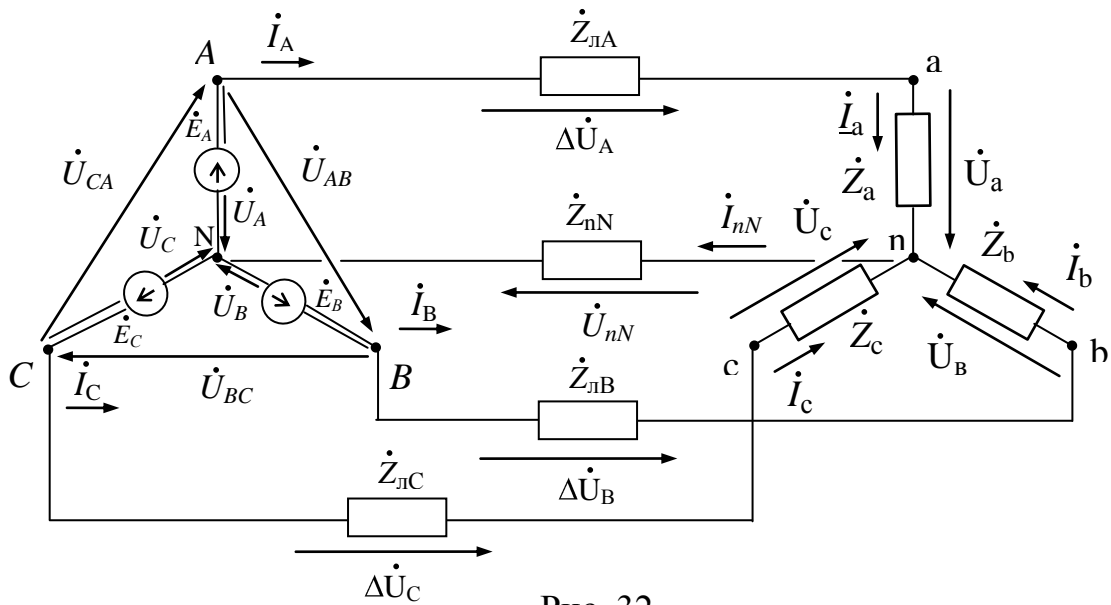


Рис. 32

Решение:

а) Наличие нейтрального провода требует задания в питающей сети системы фазных напряжений U_A , U_B , U_C источника (рис. 32). Расчет цепи начинаем с внесения сопротивлений $Z_{лA}$, $Z_{лB}$, $Z_{лC}$ линейных проводов в фазы приемника, в результате чего получаем упрощенную схему (рис. 33) с эквивалентным приемником, проводимости фаз которого равны [6]

$$\dot{Y}_a = 1/(\dot{Z}_{лA} + \dot{Z}_a) = 1/(8+j6) = 0,08 - j0,06$$

$$\dot{Y}_b = 1/(\dot{Z}_{лB} + \dot{Z}_b) = 1/(6-j8) = 0,06 + j0,08$$

$$\dot{Y}_c = 1/(\dot{Z}_{лC} + \dot{Z}_c) = 1/10 = 0,1$$

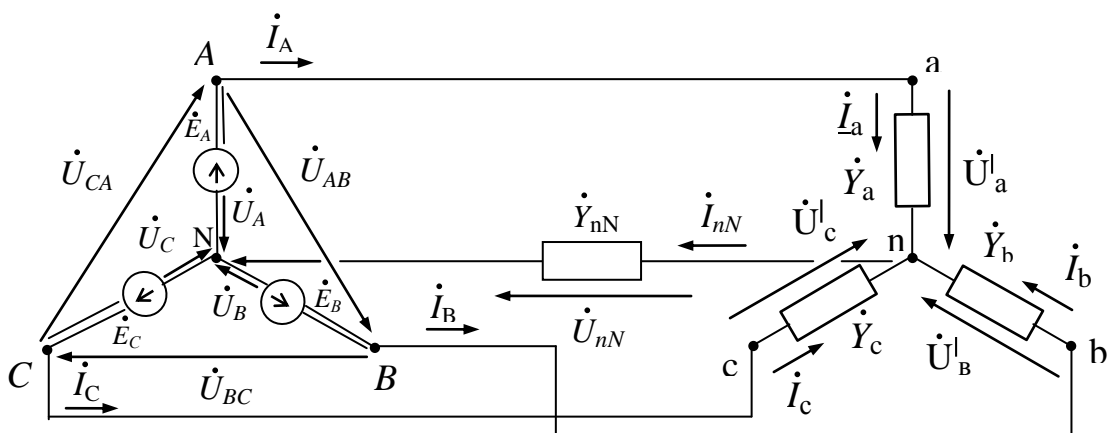


Рис. 33

Нейтральный провод невозможно объединить ни с одной из фаз приемника, поэтому с целью упрощения дальнейших преобразований характеризуем его проводимостью Y_{nN} , т.е.

$$\dot{Y}_{nN} = 1/\dot{Z}_{nN} = 1/(3 + j4) = 0,12 - j0,16 = 0,2 \cdot e^{j53,1^\circ}$$

Учитывая, что

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{a\bar{e}} = 380, \dot{U}_{BC} = \dot{U}_{\bar{e}c} = 380 \cdot e^{-j2\pi/3^\circ} = -190 - j329$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{ca} = 380 \cdot e^{j2\pi/3^\circ} = -190 + j329$$

определим фазные напряжения источника

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{AB} \cdot e^{j30^\circ} \cdot 1/\sqrt{3} = 380 \cdot (0,866 - j0,5) \cdot 1/1,732 = 190 - j109,7$$

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A \cdot e^{-j120^\circ} = U_{AB} \cdot e^{-j30^\circ} \cdot 1/\sqrt{3} \cdot e^{-j120^\circ} = 219,4 \cdot e^{-j150^\circ} = -190 - j109,7$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_A \cdot e^{j120^\circ} = U_{AB} \cdot e^{-j30^\circ} \cdot 1/\sqrt{3} \cdot e^{j120^\circ} = 219,4 \cdot e^{j90^\circ} = j \cdot 219,4$$

Используя известные соотношения расчета звезды с нейтральным проводом определим напряжение между нейтральными точками

$$\begin{aligned} \dot{U}_{nN} &= \frac{\dot{U}_A \cdot \dot{Y}_a + \dot{U}_B \cdot \dot{Y}_\bar{e} + \dot{U}_C \cdot \dot{Y}_c}{\dot{Y}_a + \dot{Y}_\bar{e} + \dot{Y}_c + \dot{Y}_{nN}} = (5,97 - j20,02)/(0,36 - j0,14) = \\ &= 20,89 \cdot e^{-j73,4^\circ} / 0,386 \cdot e^{-j21,3^\circ} = 33,24 - j42,7 = 54,11 \cdot e^{-j52,1^\circ} \end{aligned}$$

Используя уравнения электрического равновесия на основании второго закона Кирхгофа составленные для контуров каждой фазы, представим комплексы напряжений $U'_a, U'_\bar{e}, U'_c$ на эквивалентном приемнике через заданные фазные напряжения источника и напряжение U'_{nN} :

$$\dot{U}'_a = \dot{U}_A - \dot{U}_{nN} = 190 - j109,7 - (33,24 - j42,7) = 156,76 - j67 = 170,5 \cdot e^{-j23,1^\circ}$$

$$\dot{U}'_\bar{e} = \dot{U}_B - \dot{U}_{nN} = -190 - j109,7 - (33,24 - j42,7) = -223,24 - j67 = 233 \cdot e^{-j163,3^\circ}$$

$$\dot{U}'_c = \dot{U}_C - \dot{U}_{nN} = j219,4 - (33,24 - j42,7) = -33,24 + j262,1 = 264,2 \cdot e^{j97,2^\circ}$$

Выразим фазные токи и ток в нейтральном проводе через соответствующие проводимости и напряжения

$$\dot{I}_A = \dot{I}_a = \dot{Y}_a \cdot \dot{U}'_a = (0,08 - j0,06) \cdot (156,76 - j67) = 8,525 - j14,766 = 17,05 \cdot e^{-j60^\circ}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_\bar{e} = \dot{Y}_\bar{e} \cdot \dot{U}'_\bar{e} = (0,06 + j0,08) \cdot (-223,24 - j67) = -8,045 - j21,867 = 23,3 \cdot e^{-j110,2^\circ}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_c = \dot{Y}_c \cdot \dot{U}'_c = 0,1 \cdot (-33,24 + j262,1) = -3,311 + j26,211 = 26,42 \cdot e^{j97,2^\circ}$$

$$\dot{I}_{nN} = \dot{Y}_{nN} \cdot \dot{U}_{nN} = (0,12 - j0,16) \cdot (33,24 - j42,7) = -2,84 - j10,44 = 10,82 \cdot e^{-j105,2^\circ}$$

$$\text{Проверка: } \dot{I}_{nN} = \dot{I}_a + \dot{I}_\bar{e} + \dot{I}_c$$

$$-2,84 - j10,44 = (8,525 - j14,766) + (-8,045 - j21,867) + (-3,311 + j26,211)$$

$$-2,84 - j10,44 \approx -2,831 - j10,422$$

Определяем падения напряжения в проводах линии передачи

$$\begin{aligned}\Delta \dot{U}_{\lambda A} &= \dot{Z}_{\lambda A} \cdot \dot{I}_a = (2+j2) \cdot (8,525-j14,766) = 46,57 - j12,48 = 48,22 \cdot e^{-j15^\circ} \\ \Delta \dot{U}_{\lambda B} &= \dot{Z}_{\lambda B} \cdot \dot{I}_b = (2+j2) \cdot (-8,045-j21,867) = 27,64 - j59,82 = 65,89 \cdot e^{-j65,2^\circ} \\ \Delta \dot{U}_{\lambda C} &= \dot{Z}_{\lambda C} \cdot \dot{I}_c = (2+j2) \cdot (-3,311+j26,211) = -59,04 + j45,79 = 74,72 \cdot e^{j142,2^\circ}\end{aligned}$$

Определяем напряжения на фазах приемника

$$\begin{aligned}\dot{U}_a &= \dot{Z}_a \cdot \dot{I}_a = (6+j4) \cdot (8,525-j14,766) = 110,21 - j54,47 = 122,93 \cdot e^{-j26,3^\circ} \\ \dot{U}_b &= \dot{Z}_b \cdot \dot{I}_b = (4-j10) \cdot (-8,045-j21,867) = -250,84 - j7 = 250,94 \cdot e^{-j178,4^\circ} \\ \dot{U}_c &= \dot{Z}_c \cdot \dot{I}_c = (8-j2) \cdot (-3,311+j26,211) = 25,8 + j216,33 = 217,86 \cdot e^{j83,2^\circ}\end{aligned}$$

Определяем напряжения на нейтральном проводе

$$\dot{U}_{nN} = \dot{Z}_{nN} \cdot \dot{I}_{nN} = (3+j4) \cdot (-2,84-j10,44) = 33,23 - j42,69 = 54,1 \cdot e^{-j52,1^\circ}$$

Определяем фазные коэффициенты мощности нагрузки:

$$\begin{aligned}\varphi_a &= \varphi_{ua} - \varphi_{ia} = -26,3^\circ - (-60^\circ) = 33,7^\circ; \\ \varphi_b &= \varphi_{ub} - \varphi_{ib} = -178,4^\circ - (-110,2^\circ) = -68,2^\circ \\ \varphi_c &= \varphi_{uc} - \varphi_{ic} = 83,2^\circ - 97,2^\circ = -14^\circ\end{aligned}$$

Соответственно, $\cos \varphi_a = 0,83$; $\cos \varphi_b = 0,37$; $\cos \varphi_c = 97$

Определяем разность фаз между током и напряжением в фазах линии передачи

$$\begin{aligned}\varphi_{a\lambda} &= \varphi_{u\lambda A} - \varphi_{i\lambda a} = -15^\circ - (-60^\circ) = 45^\circ; \\ \varphi_{b\lambda} &= \varphi_{u\lambda B} - \varphi_{i\lambda b} = -65,2^\circ - (-110,2^\circ) = 45^\circ \\ \varphi_{c\lambda} &= \varphi_{u\lambda C} - \varphi_{i\lambda c} = 142,2^\circ - 97,2^\circ = 45^\circ\end{aligned}$$

Соответственно, $\cos \varphi_{a\lambda} = \cos \varphi_{b\lambda} = \cos \varphi_{c\lambda} = 0,707$

Определяем разность фаз между током и напряжением в нейтральном проводе

$$\varphi_{nN} = \varphi_{unN} - \varphi_{inN} = -52,1^\circ - (-105,2^\circ) = 53,1^\circ$$

Комплексные мощности фаз нагрузки равны

$$\begin{aligned}\dot{S}_a &= [\dot{U}_a \cdot \dot{I}_a^*] = 122,93 \cdot e^{-j26,3^\circ} \cdot 17,05 \cdot e^{j60^\circ} = 2096 \cdot e^{j33,7^\circ} \\ &= 2096 \cdot (0,83 + j0,555) = 1739,7 + j1163,3\end{aligned}$$

т.к. $\underline{S}_a = P_a + j Q_a$, то $P_a = 1739,7$ Вт; $Q_a = 1163,3$ Вар; $S_a = 2096$ В·А

$$\begin{aligned}\dot{S}_b &= [\dot{U}_b \cdot \dot{I}_b^*] = 250,94 \cdot e^{-j178,4^\circ} \cdot 23,3 \cdot e^{j110,2^\circ} = 5846,9 \cdot e^{-j68,2^\circ} \\ &= 5846,9 \cdot (0,37 - j0,93) = 2163,4 - j5437,6\end{aligned}$$

$P_b = 2163,4$ Вт; $Q_b = 5437,6$ Вар; $S_b = 5846,9$ В·А

$$\begin{aligned}\dot{S}_c &= [\dot{U}_c \cdot \dot{I}_c^*] = 217,86 \cdot e^{j83,2^\circ} \cdot 26,42 \cdot e^{-j97,2^\circ} = 5755,9 \cdot e^{-j14^\circ} \\ &= 5755,9 \cdot (0,97 - j0,24) = 5583,2 - j1381,4\end{aligned}$$

$$P_c = 5583,2 \text{ Вт}; \quad Q_c = 1381,4 \text{ Вар}; \quad S_c = 5755,9 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Комплексные мощности фаз линии передачи равны

$$\begin{aligned}\dot{S}_{aл} &= [\Delta \dot{U}_{лA}^l \cdot \dot{I}_a^*] = 48,22 \cdot e^{-j15^\circ} \cdot 17,05 \cdot e^{j60^\circ} = 822,15 \cdot e^{j45^\circ} \\ &= 822,15 \cdot (0,707 + j0,707) = 581,3 + j581,3\end{aligned}$$

$$P_{aл} = 581,3 \text{ Вт}; \quad Q_{aл} = 581,3 \text{ Вар}; \quad S_{aл} = 822,2 \text{ В} \cdot \text{А}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_{бл} &= [\Delta \dot{U}_{лB}^l \cdot \dot{I}_б^*] = 65,89 \cdot e^{-j65,2^\circ} \cdot 23,3 \cdot e^{j110,2^\circ} = 1535,2 \cdot e^{j45^\circ} \\ &= 1535,2 \cdot (0,707 + j0,707) = 1085,4 + j1085,4\end{aligned}$$

$$P_{бл} = 1085,4 \text{ Вт}; \quad Q_{бл} = 1085,4 \text{ Вар}; \quad S_{бл} = 1535,2 \text{ В} \cdot \text{А}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_{сл} &= [\Delta \dot{U}_{лC}^l \cdot \dot{I}_c^*] = 74,72 \cdot e^{j142,2^\circ} \cdot 26,42 \cdot e^{-j97,2^\circ} = 1974,1 \cdot e^{j45^\circ} \\ &= 1974,1 \cdot (0,707 + j0,707) = 1395,7 + j1395,7\end{aligned}$$

$$P_{сл} = 1395,7 \text{ Вт}; \quad Q_{сл} = 1395,7 \text{ Вар}; \quad S_{сл} = 1974,1 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Комплексные мощности фаз приемника равны:

$$\begin{aligned}\dot{S}'_a &= [\dot{U}'_a \cdot \dot{I}'_a^*] = 170,5 \cdot e^{-j23,1^\circ} \cdot 17,05 \cdot e^{j60^\circ} = 2907,03 \cdot e^{j36,9^\circ} \\ &= 2907,03 \cdot (0,8 + j0,6) = 2325,6 + j1744,2\end{aligned}$$

$$P'_a = 2325,6 \text{ Вт}; \quad Q'_a = 1744,2 \text{ Вар}; \quad S'_a = 2907 \text{ В} \cdot \text{А}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}'_б &= [\dot{U}'_б \cdot \dot{I}'_б^*] = 233 \cdot e^{-j163,3^\circ} \cdot 23,3 \cdot e^{j110,2^\circ} = 5428,9 \cdot e^{-j53,1^\circ} \\ &= 5428,9 \cdot (0,6 - j0,8) = 3257,3 - j4343,1\end{aligned}$$

$$P'_б = 3257,3 \text{ Вт}; \quad Q'_б = 4343,1 \text{ Вар}; \quad S'_б = 5428,9 \text{ В} \cdot \text{А}$$

$$\dot{S}'_c = [\dot{U}'_c \cdot \dot{I}'_c^*] = 264,2 \cdot e^{j97,2^\circ} \cdot 26,42 \cdot e^{-j97,2^\circ} = 6980,2 \cdot e^{j0^\circ} = 6980,2$$

$$P'_c = 6980,2 \text{ Вт}; \quad Q'_c = 0 \text{ Вар}; \quad S'_c = 6980,2 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Проверка

$$\underline{S}'_a = S_a + S_{aл}$$

$$2325,6 + j \cdot 1744,2 = (1739,7 + j \cdot 1163,3) + (581,3 + j \cdot 581,3)$$

$$2325,6 + j \cdot 1744,2 \approx 2321 + j \cdot 1744,6$$

$$\underline{S}'_б = S_б + S_{бл}$$

$$3257,3 - j \cdot 4343,1 = (2163,4 - j \cdot 5437,6) + (1085,4 + j \cdot 1085,4)$$

$$3257,3 - j \cdot 4343,1 \approx 3248,8 - j \cdot 4352,2$$

$$\underline{S}'_c = S_c + S_{сл}$$

$$6980,2 = (5583,2 - j \cdot 1381,4) + (1395,7 + j \cdot 1395,7)$$

$$6980,2 \approx 6978,8 + j \cdot 14,3$$

Комплексная мощность трехфазного потребителя

$$\underline{S}^l = \underline{S}_a^l + \underline{S}_b^l + \underline{S}_c^l = 2325,6 + j1744,2 + 3257,3 - j4343,1 + 6980,2 = 12563,1 - j2598,9$$

Полученный результат показывает:

- активная мощность трехфазного потребителя $P = 12563,1$ Вт
- реактивная мощность имеет емкостной характер и равна $Q = 2598,9$ Вар

Модуль комплексной мощности S определяет полную мощность трехфазного несимметричного потребителя

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{12563,1^2 + 2598,9^2} = 12829 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Векторная диаграмма токов и напряжений для режима а) приведена на рис. 34.

Комплексная мощность нейтрального провода равна

$$\begin{aligned} \dot{S}_{nN} &= [\dot{U}_{nN} \cdot \dot{I}_{nN}^*] = (33,23 - j42,69) \cdot (-2,84 + j10,44) = \\ &= 351,5 + j468,1 = 585,4 \cdot e^{j53,1^\circ} \end{aligned}$$

Комплексные мощности фаз источника равны

$$\begin{aligned} \dot{S}_A &= [\dot{U}_A \cdot \dot{I}_A^*] = 219,4 \cdot e^{j30^\circ} \cdot 17,05 \cdot e^{j60^\circ} = 3740,8 \cdot e^{j30^\circ} \\ &= 3740,8 \cdot (0,83 + j0,555) = 3239,6 + j1870,4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_B &= [\dot{U}_B \cdot \dot{I}_B^*] = 219,4 \cdot e^{j150^\circ} \cdot 23,3 \cdot e^{j110,2^\circ} = 5112 \cdot e^{-j39,8^\circ} \\ &= 5112 \cdot (0,37 - j0,93) = 3927,5 - j3272,3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_C &= [\dot{U}_C \cdot \dot{I}_C^*] = 219,4 \cdot e^{j90^\circ} \cdot 26,42 \cdot e^{j97,2^\circ} = 5796,5 \cdot e^{j7,2^\circ} \\ &= 5755,9 \cdot (0,97 - j0,24) = 5750,8 - j726,5 \end{aligned}$$

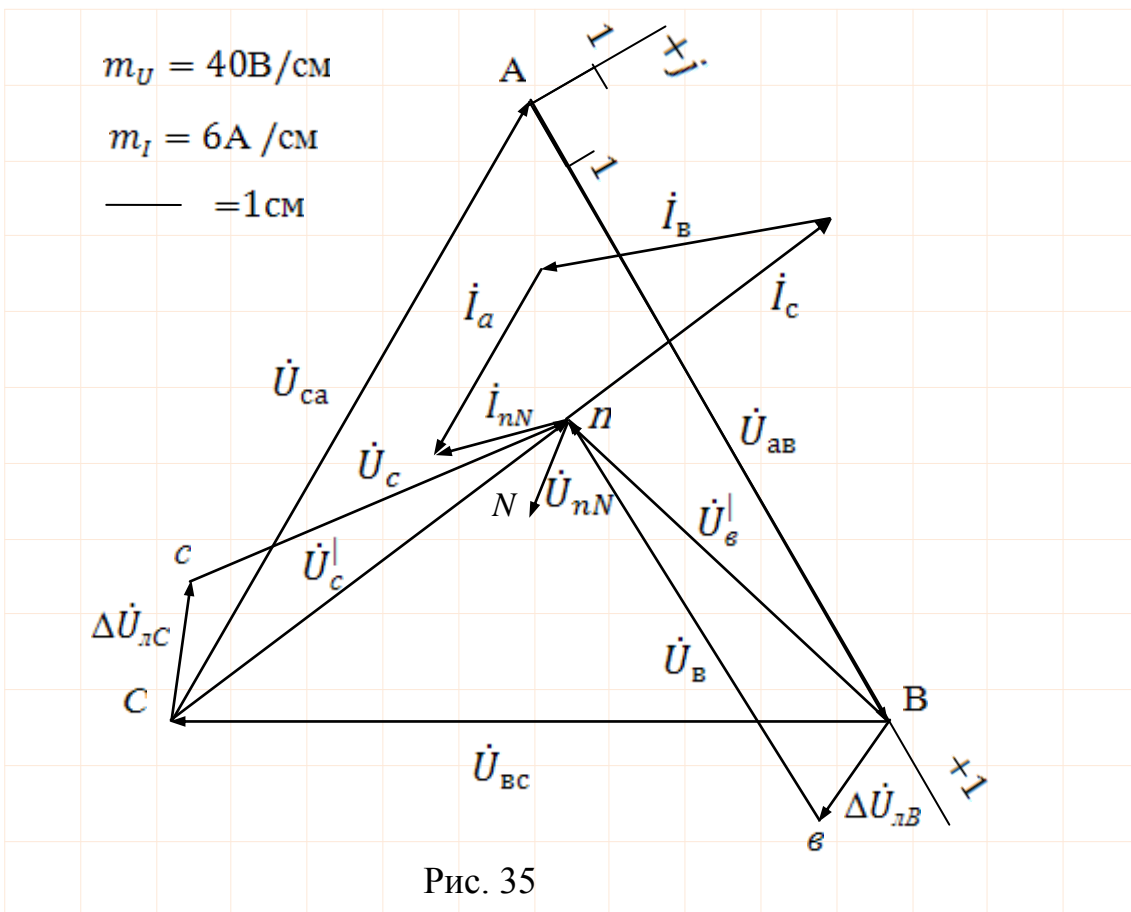
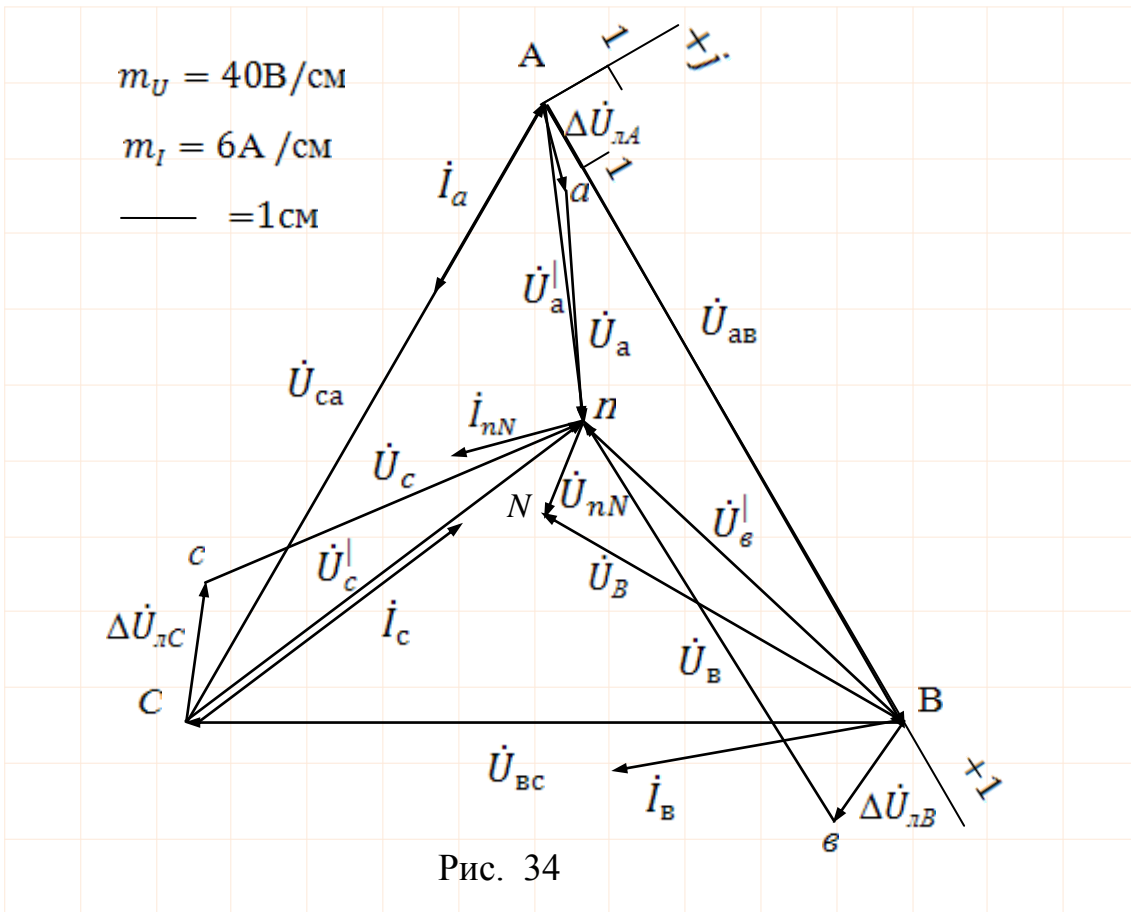
Проверка уравнения баланса полной мощности

$$\begin{aligned} S_A + S_B + S_C &= S_a^l + S_b^l + S_c^l + S_{nN} \\ 3239,6 + j1870,4 + (3927,5 - j3272,3) + (5750,8 - j726,5) &= \\ = 2325,6 + j1744,2 + 3257,3 - j4343,1 + 6980,2 + 351,5 + j468,1 &= \\ 12917,9 - j2128,4 \approx 12914,6 - j2130,8 & \end{aligned}$$

В соответствии с первым законом Кирхгофа для нейтральной точки п приемника имеем

$$\dot{I}_{nN} = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c \quad (2)$$

Применительно к рис. 34 для взаимно ориентированных векторов фазных токов, соответствующие построения удовлетворяющие выражению (2) приведены на рис. 35.



Практическая модель расчета несимметричной нагрузки при соединении звездой (четырёхпроводная система) в среде Matlab-Simulink приведена на рис. 36.

Модель содержит три трехфазных источника синусоидального напряжения: Voltage A – фазы A; Voltage B – фазы B, Voltage C – фазы C. Соединительные линии между трехфазным источником и трехфазной нагрузкой: RL Branch A – линия фазы A; RL Branch B – линия фазы B; RL Branch C – линия фазы C. Соединительная линия в цепи нейтрали: RL Branch N. Трехфазную нагрузку: Load A – фаза A; Load B – фаза B; Load C – фаза C. Вольтметры: Voltage Measurement A – напряжения источника фазы A; Voltage Measurement B – напряжения источника фазы B; Voltage Measurement C – напряжения источника фазы C; Voltage N – напряжения нейтрали; Voltage A1 – напряжения нагрузки фазы A; Voltage B1 – напряжения нагрузки фазы B; Voltage C1 – напряжения нагрузки фазы C. Амперметры: Current Measurement N – ток в нейтрали; Current Measurement A1 – ток нагрузки фазы A; Current Measurement B1 – ток нагрузки фазы B; Current Measurement C1 – ток нагрузки фазы C. Блок вычисления реальной и мнимой составляющих входного сигнала: Complex to Real-Image2 – напряжения источника фазы A; Complex to Real-Image3 – напряжения источника фазы B; Complex to Real-Image4 – напряжения источника фазы C; Complex to Real-Image13 – напряжения нейтрали; Complex to Real-Image1 – напряжения нагрузки фазы A; Complex to Real-Image6 – напряжения нагрузки фазы B; Complex to Real-Image10 – напряжения нагрузки фазы C; Complex to Real-Image14 – тока в цепи нейтрали; Complex to Real-Image5 – тока нагрузки фазы A; Complex to Real-Image7 – тока нагрузки фазы B; Complex to Real-Image11 – тока нагрузки фазы C; Complex to Real-Image15 – мощности нейтрали; Complex to Real-Image8 – мощности нагрузки фазы A; Complex to Real-Image9 – мощности нагрузки фазы B; Complex to Real-Image12 – мощности нагрузки фазы C. Нейтрали: node 1 – источника (N); node 2 – приемника (n). Индикация: Display1÷30.

Текст программы для расчета несимметричной нагрузки при соединении звездой (четырёхпроводная система) приведен в приложении П1.

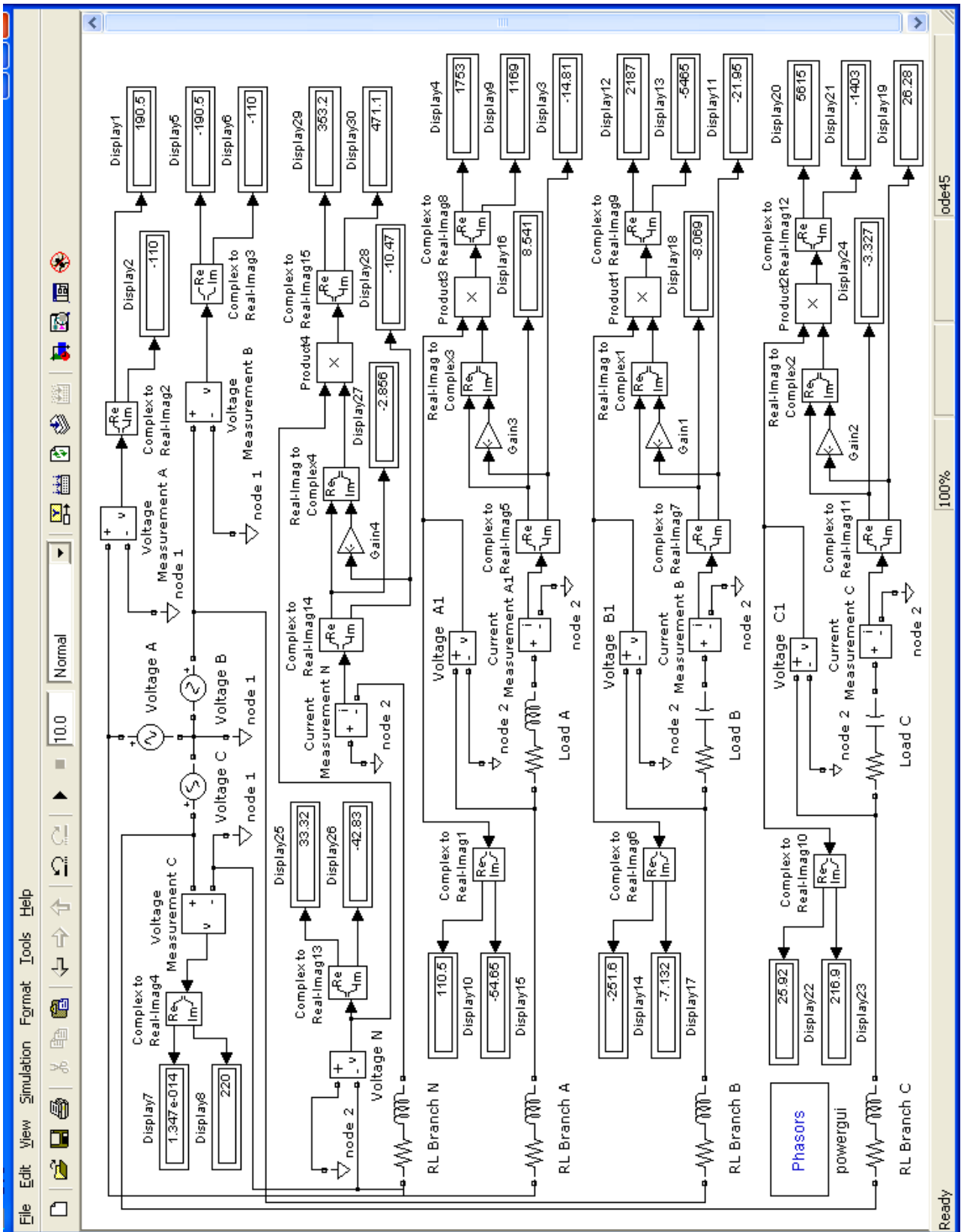


Рис. 36. Модель трехфазной четырехпроводной сети при несимметричной нагрузке.

б) При обрыве линейного провода А-а соответствующая данному режиму расчетная схема приведена на рис. 37.

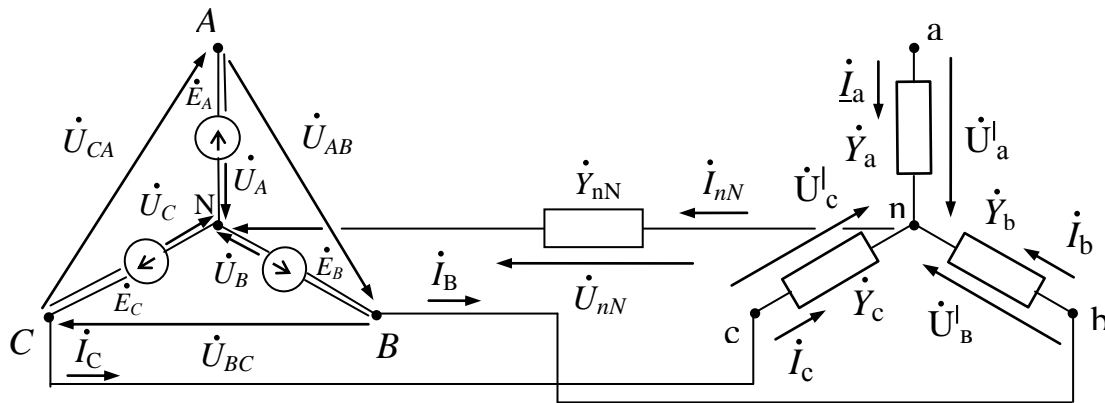


Рис. 37

Обрыв линейного провода эквивалентен увеличению до бесконечности сопротивления этой фазы, для рассматриваемого примера – фазы А. Как следствие, проводимость данной фазы становится равной нулю, т.е.

$$\dot{Y}_a = 1/(\dot{Z}_{\lambda A} + \dot{Z}_a) = 1/\infty = 0$$

$$\dot{Y}_B = 1/(\dot{Z}_{\lambda B} + \dot{Z}_B) = 1/(6-j8) = 0,06+j0,08$$

$$\dot{Y}_C = 1/(\dot{Z}_{\lambda C} + \dot{Z}_C) = 1/10 = 0,1$$

Проводимость нейтрального провода равна

$$\dot{Y}_{nN} = 1/\dot{Z}_{nN} = 1/(3 + j \cdot 4) = 0,12 - j \cdot 0,16 = 0,2 \cdot e^{-j53,1^\circ}$$

Учитывая, что

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{aB} = 380, \dot{U}_{BC} = \dot{U}_{cC} = 380 \cdot e^{-j2\pi/3^\circ} = -190 - j329$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{cA} = 380 \cdot e^{j2\pi/3^\circ} = -190 + j329$$

определим фазные напряжения источника

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{AB} \cdot e^{j30^\circ} \cdot 1/\sqrt{3} = 380 \cdot (0,866 - j \cdot 0,5) \cdot 1/1,732 = 190 - j \cdot 109,7$$

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A \cdot e^{-j120^\circ} = U_{AB} \cdot e^{-j30^\circ} \cdot 1/\sqrt{3} \cdot e^{-j120^\circ} = 219,4 \cdot e^{-j150^\circ} = -190 - j \cdot 109,7$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_A \cdot e^{j120^\circ} = U_{AB} \cdot e^{-j30^\circ} \cdot 1/\sqrt{3} \cdot e^{j120^\circ} = 219,4 \cdot e^{j90^\circ} = j \cdot 219,4$$

Используя известные соотношения расчета звезды с нейтральным проводом определим напряжение между нейтральными точками

$$\begin{aligned} \dot{U}_{nN} &= \frac{\dot{U}_B \cdot \dot{Y}_B + \dot{U}_C \cdot \dot{Y}_C}{\dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_{nN}} = (-2,636 + j \cdot 0,18) / (0,28 - j \cdot 0,08) = \\ &= 2,642 \cdot e^{j176,1^\circ} / 0,291 \cdot e^{-j15,9^\circ} = -8,87 - j \cdot 1,89 = 9,07 \cdot e^{-j168^\circ} \end{aligned}$$

Используя второй закон Кирхгофа по контурам каждой фазы, представим напряжения U'_a , U'_b , U'_c на эквивалентном приемнике через заданные фазные напряжения источника и напряжение U'_{nN} :

$$\dot{U}'_a = \dot{U}_A - \dot{U}'_{nN} = 190 - j \cdot 109,7 - (-8,87 - j \cdot 1,89) = 198,87 - j \cdot 107,81 = 226,2 \cdot e^{-j28,5^\circ}$$

$$\dot{U}'_b = \dot{U}_B - \dot{U}'_{nN} = -190 - j \cdot 109,7 - (-8,87 - j \cdot 1,89) = -181,13 - j \cdot 107,81 = 210,8 \cdot e^{-j149,2^\circ}$$

$$\dot{U}'_c = \dot{U}_C - \dot{U}'_{nN} = j \cdot 219,4 - (-8,87 - j \cdot 1,89) = 8,87 + j \cdot 221,29 = 221,8 \cdot e^{j87,7^\circ}$$

Выразим фазные токи и ток в нейтральном проводе через соответствующие проводимости и напряжения

$$\dot{I}_A = \dot{I}_a = \dot{Y}_a \cdot \dot{U}'_a = 0 \cdot (198,87 - j \cdot 107,81) = 0$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_b = \dot{Y}_b \cdot \dot{U}'_b = (0,06 + j0,08) \cdot (-181,13 - j \cdot 107,81) = -2,24 - j20,96 = 21,08 \cdot e^{-j96,1^\circ}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_c = \dot{Y}_c \cdot \dot{U}'_c = 0,1 \cdot (8,87 + j \cdot 221,29) = 0,89 + j22,162 = 22,18 \cdot e^{j87,7^\circ}$$

$$\dot{I}_{nN} = \dot{Y}_{nN} \cdot \dot{U}'_{nN} = (0,12 - j0,16) \cdot (-8,87 - j \cdot 1,89) = -1,367 + j1,192 = 1,814 \cdot e^{j138,9^\circ}$$

Проверка

$$\dot{I}_{nN} = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c$$

$$-1,367 + j1,192 = 0 + (-2,24 - j20,96) + (0,89 + j22,162)$$

$$-1,367 + j1,192 \approx -1,35 + j1,202$$

Определяем падения напряжения в проводах линии передачи

$$\Delta \dot{U}'_{\lambda A} = \dot{Z}'_{\lambda A} \cdot \dot{I}_a = (2 + j2) \cdot 0 = 0$$

$$\Delta \dot{U}'_{\lambda B} = \dot{Z}'_{\lambda B} \cdot \dot{I}_b = (2 + j2) \cdot (-2,24 - j20,96) = 37,43 - j46,39 = 59,61 \cdot e^{-j51,1^\circ}$$

$$\Delta \dot{U}'_{\lambda C} = \dot{Z}'_{\lambda C} \cdot \dot{I}_c = (2 + j2) \cdot (0,89 + j22,162) = -42,54 + j46,1 = 62,73 \cdot e^{j132,7^\circ}$$

Определяем напряжения на фазах приемника

$$\dot{U}_a = \dot{Z}'_a \cdot \dot{I}_a = (6 + j4) \cdot 0 = 0$$

$$\dot{U}_b = \dot{Z}'_b \cdot \dot{I}_b = (4 - j10) \cdot (-2,24 - j20,96) = -218,6 - j61,43 = 227 \cdot e^{j164,3^\circ}$$

$$\dot{U}_c = \dot{Z}'_c \cdot \dot{I}_c = (8 - j2) \cdot (0,89 + j22,162) = 51,33 + j175,55 = 182,9 \cdot e^{j73,7^\circ}$$

Определяем напряжения на нейтральном проводе

$$\dot{U}'_{nN} = \dot{Z}'_{nN} \cdot \dot{I}'_{nN} = (3 + j4) \cdot (-1,367 + j1,192) = -8,87 - j1,89 = 9,07 \cdot e^{-j168^\circ}$$

Определим напряжение в месте разрыва линейного провода А-а (рис. 37)

$$\dot{U}'_{Aa} = \dot{U}_A - \dot{U}'_a - \dot{U}'_{nN} = 190 - j \cdot 109,7 - (198,87 - j107,81) - (-8,87 - j1,89) = 0$$

Определяем фазные коэффициенты мощности нагрузки:

$$\varphi_B = \varphi_{uB} - \varphi_{iB} = -164,3^\circ - (-96,1^\circ) = -68,2^\circ$$

$$\varphi_C = \varphi_{uC} - \varphi_{iC} = 73,7^\circ - 87,7^\circ = -14^\circ$$

Соответственно, $\cos\varphi_b=0,37$; $\cos\varphi_c=97$

Определяем разность фаз между током и напряжением в фазах линии передачи

$$\varphi_{вЛ} = \varphi_{uЛВ} - \varphi_{iВ} = -51,1^0 - (-96,1^0) = 45^0$$

$$\varphi_{сЛ} = \varphi_{uЛС} - \varphi_{iС} = 132,7^0 - 87,7^0 = 45^0$$

Соответственно, $\cos\varphi_{вЛ} = \cos\varphi_{сЛ} = 0,707$

Определяем разность фаз между током и напряжением в нейтральном проводе

$$\varphi_{нN} = \varphi_{uнN} - \varphi_{iнN} = -168^0 - (138,9^0) = 53,1^0$$

Комплексные мощности фаз нагрузки равны

$$\begin{aligned}\dot{S}_B &= [\dot{U}_B \cdot \dot{I}_B^*] = 227 \cdot e^{-j164,3^0} \cdot 21,08 \cdot e^{j96,1^0} = 4785,2 \cdot e^{-j68,2^0} \\ &= 4785,2 \cdot (0,37 - j0,93) = 1770,5 - j4450,2\end{aligned}$$

$P_B=1770,5$ Вт; $Q_B=4450,2$ Вар; $S_B=4785,2$ В·А

$$\begin{aligned}\dot{S}_C &= [\dot{U}_C \cdot \dot{I}_C^*] = 182,9 \cdot e^{j73,7^0} \cdot 22,18 \cdot e^{-j87,7^0} = 4056,7 \cdot e^{-j14^0} \\ &= 4056,7 \cdot (0,97 - j0,24) = 3935 - j973,6\end{aligned}$$

$P_C=3935$ Вт; $Q_C=973,6$ Вар; $S_C=4056,7$ В·А

Комплексные мощности фаз линии передачи равны

$$\begin{aligned}\dot{S}_{вЛ} &= [\Delta \dot{U}_{ЛВ} \cdot \dot{I}_B^*] = 59,61 \cdot e^{-j51,1^0} \cdot 21,08 \cdot e^{j96,1^0} = 1256,6 \cdot e^{j45^0} \\ &= 1256,6 \cdot (0,707 + j0,707) = 888,4 + j888,4\end{aligned}$$

$P_{вЛ}=888,4$ Вт; $Q_{вЛ}=888,4$ Вар; $S_{вЛ}=1256,6$ В·А

$$\begin{aligned}\dot{S}_{сЛ} &= [\Delta \dot{U}_{ЛС} \cdot \dot{I}_C^*] = 62,73 \cdot e^{j132,7^0} \cdot 22,18 \cdot e^{-j87,7^0} = 1391,4 \cdot e^{j45^0} \\ &= 1391,4 \cdot (0,707 + j0,707) = 983,7 + j983,7\end{aligned}$$

$P_{сЛ}=983,7$ Вт; $Q_{сЛ}=983,7$ Вар; $S_{сЛ}=1391,4$ В·А

Комплексные мощности фаз приемника равны:

$$\begin{aligned}\dot{S}_B^l &= [\dot{U}_B^l \cdot \dot{I}_B^{l*}] = 210,8 \cdot e^{-j149,2^0} \cdot 21,08 \cdot e^{j96,1^0} = 4443,7 \cdot e^{-j53,1^0} \\ &= 4443,7 \cdot (0,6 - j0,8) = 2666,2 - j3555\end{aligned}$$

$P_B^l=2666,2$ Вт; $Q_B^l=3555$ Вар; $S_B^l=4443,7$ В·А

$$\dot{S}_C^l = [\dot{U}_C^l \cdot \dot{I}_C^{l*}] = 221,8 \cdot e^{j87,7^0} \cdot 22,18 \cdot e^{-j87,7^0} = 4919,5 \cdot e^{j0^0} = 4919,5$$

$P_C^l=4919,5$ Вт; $Q_C^l=0$ Вар; $S_C^l=4919,5$ В·А

Проверка

$$\underline{S}_B^l = S_B + S_{вЛ}$$

$$2666,2 - j \cdot 3555 = (1770,5 - j \cdot 4450,6) + (888,4 + j \cdot 888,4)$$

$$2666,2 - j \cdot 3555 \approx 2658,9 - j \cdot 3562,2$$

$$\underline{S}_c^l = S_c + S_{cl}$$

$$4919,5 = (3935 - j \cdot 973,6) + (983,7 + j \cdot 983,7)$$

$$4919,5 \approx 4918,7 + j \cdot 10,1$$

Комплексная мощность трехфазного потребителя

$$\underline{S}^l = \underline{S}_a^l + \underline{S}_b^l + \underline{S}_c^l = 0 + 2666,2 - j \cdot 3555 + 4919,5 = 7585,7 - j \cdot 3555$$

Полученный результат показывает:

– активная мощность трехфазного потребителя $P = 7585,7$ Вт

– реактивная мощность имеет емкостной характер и равна $Q = 3555$ Вар

Модуль комплексной мощности S определяет полную мощность трехфазного несимметричного потребителя

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{7585,7^2 + 3555^2} = 8379 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Векторная диаграмма токов и напряжений для режима б) приведена на рис. 38.

Комплексная мощность нейтрального провода равна

$$\begin{aligned} \dot{S}_{nN} &= [\dot{U}_{nN} \cdot \dot{I}_{nN}^*] = (-8,87 - j1,89) \cdot (-1,367 - j1,192) = \\ &= 9,9 + j13,2 = 16,45 \cdot e^{j53,1^\circ} \end{aligned}$$

Комплексные мощности фаз источника равны

$$\begin{aligned} \dot{S}_B &= [\dot{U}_B \cdot \dot{I}_B^*] = 219,4 \cdot e^{-j150^\circ} \cdot 21,08 \cdot e^{j96,1^\circ} = 4625 \cdot e^{-j53,9^\circ} \\ &= 4625 \cdot (0,59 - j0,808) = 2728,8 - j3737 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_C &= [\dot{U}_C \cdot \dot{I}_C^*] = 219,4 \cdot e^{j90^\circ} \cdot 22,18 \cdot e^{j87,7^\circ} = 4866,3 \cdot e^{j2,3^\circ} \\ &= 4866,3 \cdot (0,999 + j0,04) = 4862,4 + j195,3 \end{aligned}$$

Проверка уравнения баланса полной мощности

$$\underline{S}_A + \underline{S}_B + \underline{S}_C = \underline{S}_a^l + \underline{S}_b^l + \underline{S}_c^l + \underline{S}_{nN}$$

$$\begin{aligned} 0 + (2728,8 - j \cdot 3737) + (4862,4 + j \cdot 195,3) &= 0 + 2666,2 - j \cdot 3555 + 4919,5 + 9,9 + j \cdot 13,2 \\ 7591,2 - j \cdot 3541,7 &\approx 7595,6 - j \cdot 3541,8 \end{aligned}$$

В соответствии с первым законом Кирхгофа для нейтральной точки n приемника имеем

$$\dot{I}_{nN} = \dot{I}_s + \dot{I}_c \quad (3)$$

Применительно к рис. 38 для взаимно ориентированных векторов фазных токов, соответствующие построения удовлетворяющие выражению (3) приведены на рис. 39.

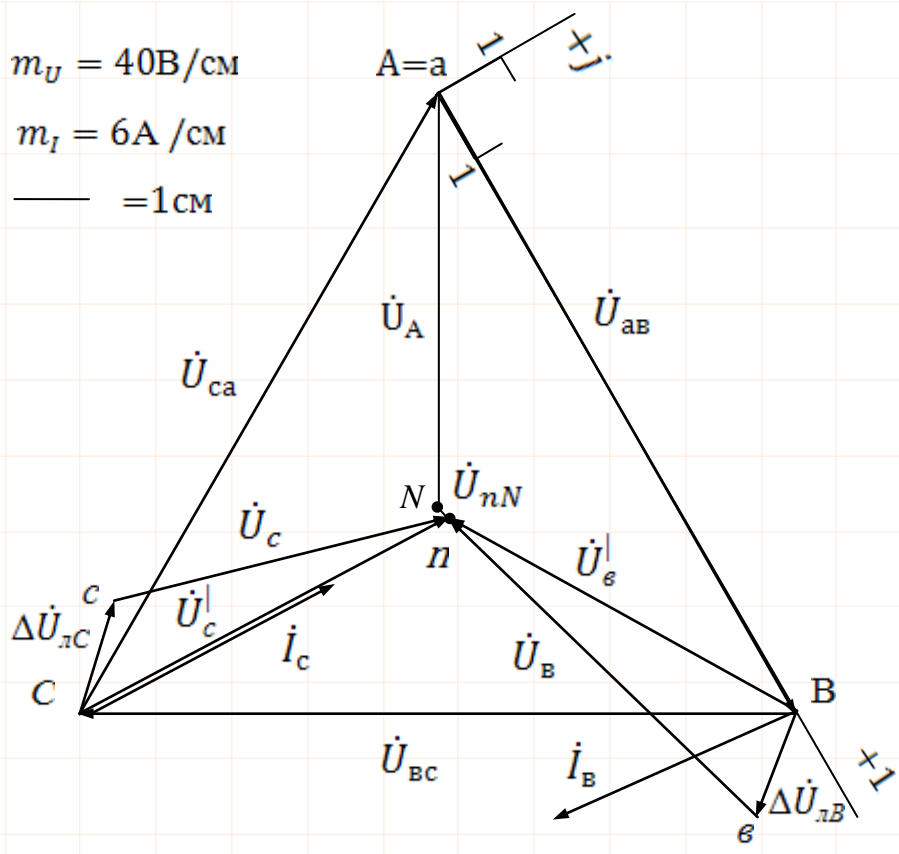


Рис. 38

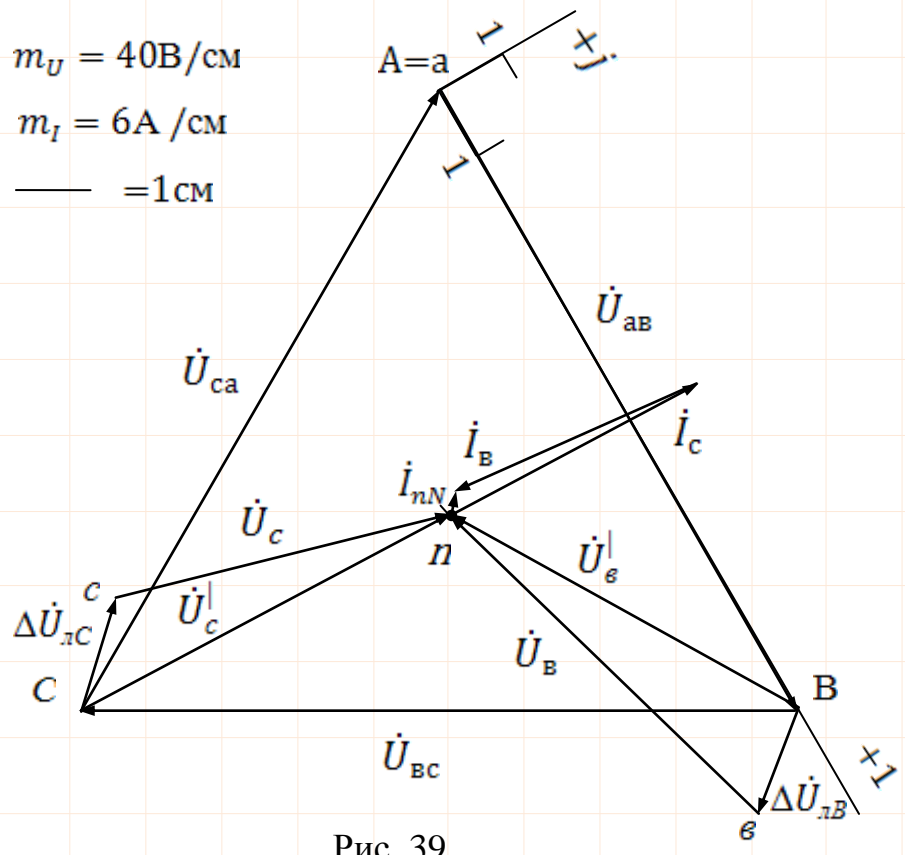


Рис. 39

Практическая модель расчета трехфазной четырехпроводной сети при обрыве линейного провода А-а приведена на рис. 40.

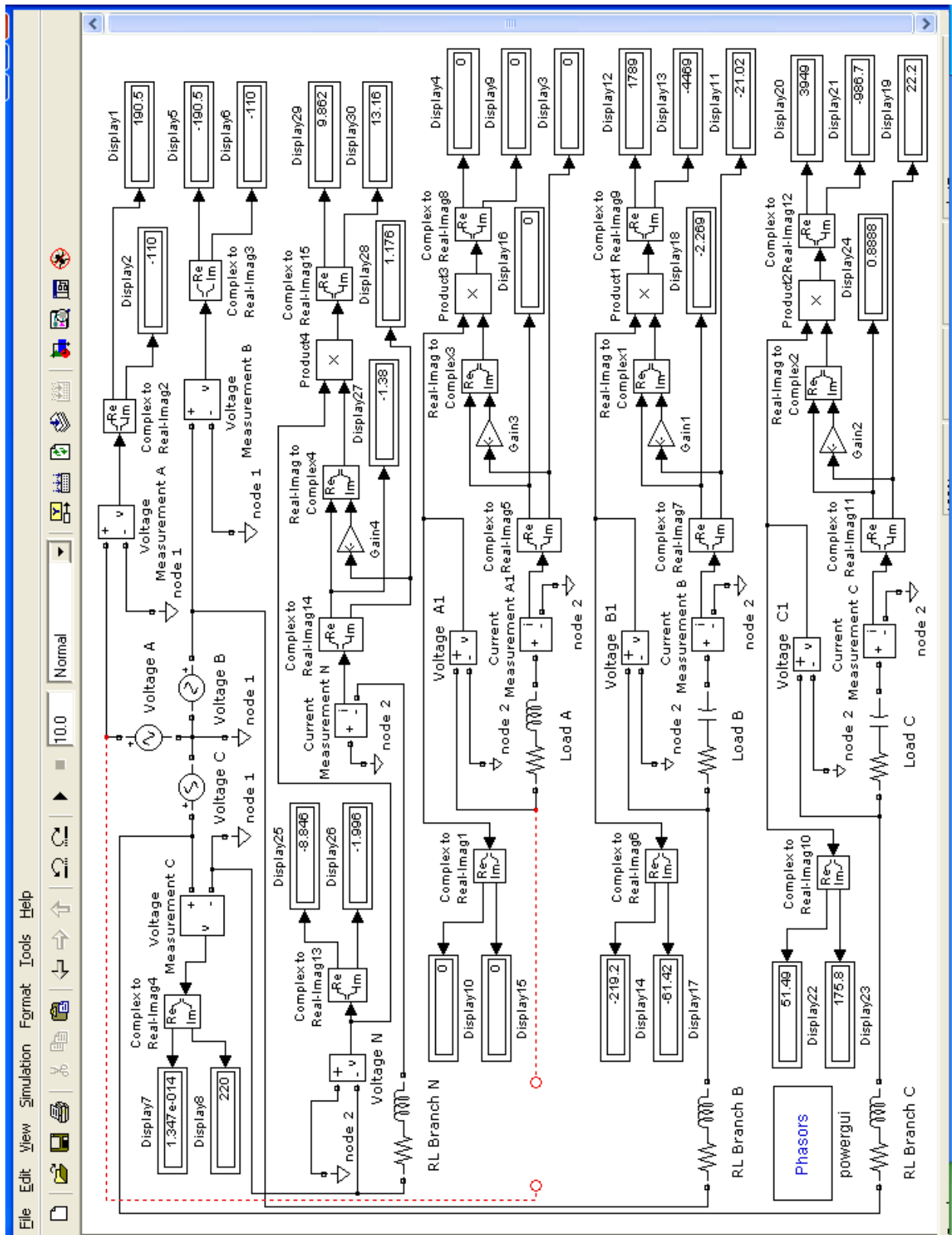


Рис. 40. Модель трехфазной четырехпроводной сети при обрыве линейного провода А-а.

в) При коротком замыкании участка А-п соответствующая данному режиму расчетная схема приведена на рис. 41.

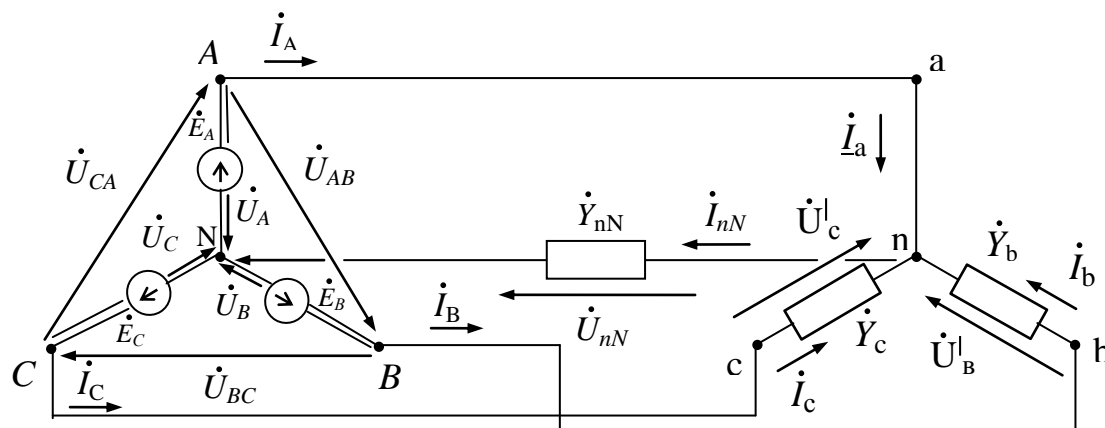


Рис. 41

При коротком замыкании участка А-п сопротивление фазы А можно полагать равным нулю. Как следствие, проводимость данной фазы становится равной бесконечности, т.е.

$$\dot{Y}_a = 1/(\dot{Z}_{\pi A} + \dot{Z}_a) = 1/0 = \infty$$

$$\dot{Y}_b = 1/(\dot{Z}_{\pi B} + \dot{Z}_b) = 1/(6-j8) = 0,06+j0,08$$

$$\dot{Y}_c = 1/(\dot{Z}_{\pi C} + \dot{Z}_c) = 1/10 = 0,1$$

Проводимость нейтрального провода равна

$$\dot{Y}_{nN} = 1/\dot{Z}_{nN} = 1/(3 + j \cdot 4) = 0,12 - j \cdot 0,16 = 0,2 \cdot e^{-j53,1^\circ}$$

Учитывая, что

$$\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{ab} = 380, \dot{U}_{BC} = \dot{U}_{bc} = 380 \cdot e^{-j2\pi/3} = -190 - j329$$

$$\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{ca} = 380 \cdot e^{j2\pi/3} = -190 + j329$$

определим фазные напряжения источника

$$\dot{U}_A = \dot{U}_{AB} \cdot e^{-j30^\circ} \cdot 1/\sqrt{3} = 380 \cdot (0,866 - j0,5) \cdot 1/1,732 = 190 - j109,7$$

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A \cdot e^{-j120^\circ} = U_{AB} \cdot e^{-j30^\circ} \cdot 1/\sqrt{3} \cdot e^{-j120^\circ} = 219,4 \cdot e^{-j150^\circ} = -190 - j109,7$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_A \cdot e^{j120^\circ} = U_{AB} \cdot e^{-j30^\circ} \cdot 1/\sqrt{3} \cdot e^{j120^\circ} = 219,4 \cdot e^{j90^\circ} = j219,4$$

Используя известные соотношения расчета звезды с нейтральным проводом определим напряжение между нейтральными точками при коротком замыкании участка А-а, получим

$$\dot{U}_{nN} = \dot{U}_A$$

Используя второй закон Кирхгофа по контурам каждой фазы, представим напряжения U'_a , U'_b , U'_c на эквивалентном приемнике через заданные фазные напряжения источника и напряжение U'_{nN} :

$$\dot{U}'_a = 0 \quad \dot{U}'_b = \dot{U}_B - \dot{U}_A = -\dot{U}_{AB} = -380$$

$$\dot{U}'_c = \dot{U}_C - \dot{U}_A = \dot{U}_{CA} = -190 + j \cdot 329 = 380 \cdot e^{j120^\circ}$$

Выразим фазные токи и ток в нейтральном проводе через соответствующие проводимости и напряжения

$$\dot{I}_A = \dot{I}_a = \dot{Y}_a \cdot \dot{U}'_a = \dot{U}_{AB} \cdot \dot{Y}_B - \dot{U}_{CA} \cdot \dot{Y}_c + \dot{U}_A \cdot \dot{Y}_{nN} = 380 \cdot (0,06 + j \cdot 0,08) - (-190 + j \cdot 329) \cdot 0,1 + (190 - j \cdot 109,7) \cdot (0,12 - j \cdot 0,16) = 47,1 - j \cdot 46,1 = 65,9 \cdot e^{j44,4^\circ}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_b = \dot{Y}_b \cdot \dot{U}'_b = (0,06 + j \cdot 0,08) \cdot (-380) = -22,8 - j \cdot 30,4 = 38 \cdot e^{j126,9^\circ}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_c = \dot{Y}_c \cdot \dot{U}'_c = 0,1 \cdot (-190 + j \cdot 329) = -19 + j \cdot 32,9 = 38 \cdot e^{j120^\circ}$$

$$\dot{I}_{nN} = \dot{Y}_{nN} \cdot \dot{U}'_{nN} = (0,12 - j \cdot 0,16) \cdot (190 - j \cdot 109,7) = 5,3 - j \cdot 43,6 = 43,9 \cdot e^{j83,1^\circ}$$

$$\text{Проверка: } \dot{I}_{nN} = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c$$

$$5,3 - j \cdot 43,6 = 47,1 - j \cdot 46,1 + (-22,8 - j \cdot 30,4) + (-19 + j \cdot 32,9)$$

$$5,3 - j \cdot 43,6 = 5,3 - j \cdot 43,6$$

Определяем падения напряжения в проводах линии передачи

$$\Delta \dot{U}_{лB} = \dot{Z}_{лB} \cdot \dot{I}_B = (2 + j \cdot 2) \cdot (-22,8 - j \cdot 30,4) = 15,15 - j \cdot 106,4 = 107,5 \cdot e^{j81,9^\circ}$$

$$\Delta \dot{U}_{лC} = \dot{Z}_{лC} \cdot \dot{I}_C = (2 + j \cdot 2) \cdot (-19 + j \cdot 32,9) = -39,8 + j \cdot 44,8 = 107,5 \cdot e^{j165^\circ}$$

Определяем напряжения на фазах приемника

$$\dot{U}_b = \dot{Z}_b \cdot \dot{I}_b = (4 - j \cdot 10) \cdot (-22,8 - j \cdot 30,4) = -395,1 + j \cdot 106,6 = 409,3 \cdot e^{j164,9^\circ}$$

$$\dot{U}_c = \dot{Z}_c \cdot \dot{I}_c = (8 - j \cdot 2) \cdot (-19 + j \cdot 32,9) = -86,4 + j \cdot 301,1 = 313,3 \cdot e^{j106^\circ}$$

Определяем напряжения на нейтральном проводе

$$\dot{U}'_{nN} = \dot{Z}_{nN} \cdot \dot{I}_{nN} = (3 + j \cdot 4) \cdot (5,3 - j \cdot 43,6) = 190 - j \cdot 109,7 = 219,4 \cdot e^{j30^\circ}$$

Определяем фазные коэффициенты мощности нагрузки:

$$\varphi_B = \varphi_{uB} - \varphi_{iB} = 164,9^\circ - (-126,9^\circ) = -68,2^\circ$$

$$\varphi_C = \varphi_{uC} - \varphi_{iC} = 106^\circ - 120^\circ = -14^\circ$$

Соответственно, $\cos \varphi_B = 0,37$; $\cos \varphi_C = 0,97$

Определяем разность фаз между током и напряжением в фазах линии передачи

$$\varphi_{вЛ} = \varphi_{uлB} - \varphi_{iB} = -81,9^\circ - (-126,9^\circ) = 45^\circ$$

$$\varphi_{сЛ} = \varphi_{uлC} - \varphi_{iC} = 165^\circ - 120^\circ = 45^\circ$$

Соответственно, $\cos\varphi_{\text{вЛ}} = \cos\varphi_{\text{сЛ}} = 0,707$

Определяем разность фаз между током и напряжением в нейтральном проводе

$$\varphi_{\text{нN}} = \varphi_{\text{унN}} - \varphi_{\text{инN}} = -30^\circ - (-83,1^\circ) = 53,1^\circ$$

Комплексные мощности фаз нагрузки равны

$$\begin{aligned}\dot{S}_B &= [\dot{U}_B \cdot \dot{I}_B^*] = 409,3 \cdot e^{j164,9^\circ} \cdot 38 \cdot e^{j126,9^\circ} = 15553,4 \cdot e^{-j68,2^\circ} = \\ &= 15553,4 \cdot (0,37 - j0,93) = 5754,8 - j14464,7\end{aligned}$$

$$P_B = 5754,8 \text{ Вт}; \quad Q_B = 14464,7 \text{ Вар}; \quad S_B = 15553,4 \text{ В}\cdot\text{А}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_C &= [\dot{U}_C \cdot \dot{I}_C^*] = 313,3 \cdot e^{j106^\circ} \cdot 38 \cdot e^{-j120^\circ} = 11905,4 \cdot e^{-j14^\circ} = \\ &= 11905,4 \cdot (0,97 - j0,24) = 11548,2 - j2857,3\end{aligned}$$

$$P_C = 11548,2 \text{ Вт}; \quad Q_C = 2857,3 \text{ Вар}; \quad S_C = 11905,4 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Комплексные мощности фаз линии передачи равны

$$\begin{aligned}\dot{S}_{\text{вЛ}} &= [\Delta \dot{U}_{\text{вЛ}} \cdot \dot{I}_{\text{вЛ}}^*] = 107,5 \cdot e^{-j81,9^\circ} \cdot 38 \cdot e^{j126,9^\circ} = 4085 \cdot e^{j45^\circ} \\ &= 4085 \cdot (0,707 + j0,707) = 2888,1 + j \cdot 2888,1\end{aligned}$$

$$P_{\text{вЛ}} = 2888,1 \text{ Вт}; \quad Q_{\text{вЛ}} = 2888,1 \text{ Вар}; \quad S_{\text{вЛ}} = 4085 \text{ В}\cdot\text{А}$$

$$\begin{aligned}\dot{S}_{\text{сЛ}} &= [\Delta \dot{U}_{\text{сЛ}} \cdot \dot{I}_{\text{сЛ}}^*] = 107,5 \cdot e^{j165^\circ} \cdot 38 \cdot e^{-j120^\circ} = 4085 \cdot e^{j45^\circ} \\ &= 4085 \cdot (0,707 + j0,707) = 2888,1 + j \cdot 2888,1\end{aligned}$$

$$P_{\text{сЛ}} = 2888,1 \text{ Вт}; \quad Q_{\text{сЛ}} = 2888,1 \text{ Вар}; \quad S_{\text{сЛ}} = 4085 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Комплексные мощности фаз приемника равны:

$$\begin{aligned}\dot{S}'_B &= [\dot{U}'_B \cdot \dot{I}'_B^*] = -380 \cdot 38 \cdot e^{j126,9^\circ} = 380 \cdot e^{-j180^\circ} \cdot 38 \cdot e^{j126,9^\circ} = 14440 \cdot e^{-j53,1^\circ} \\ &= 14440 \cdot (0,6 - j0,8) = 8664 - j11552\end{aligned}$$

$$P'_B = 8664 \text{ Вт}; \quad Q'_B = 11552 \text{ Вар}; \quad S'_B = 14440 \text{ В}\cdot\text{А}$$

$$\dot{S}'_C = [\dot{U}'_C \cdot \dot{I}'_C^*] = 380 \cdot e^{j120^\circ} \cdot 38 \cdot e^{-j120^\circ} = 14440 \cdot e^{j0^\circ} = 14440$$

$$P'_C = 14440 \text{ Вт}; \quad Q'_C = 0 \text{ Вар}; \quad S'_C = 14440 \text{ В}\cdot\text{А}$$

Проверка:

$$\underline{S}'_B = S_B + S_{\text{вЛ}}$$

$$8664 - j \cdot 11552 = (5754,8 - j \cdot 14464,7) + (2888,1 + j \cdot 2888,1)$$

$$8664 - j \cdot 11552 \approx 8642,9 - j \cdot 11576,6$$

$$\underline{S}'_C = S_C + S_{\text{сЛ}}$$

$$14440 = (11548,2 - j \cdot 2857,3) + (2888,1 + j \cdot 2888,1)$$

$$14440 \approx 14436,3 + j \cdot 30$$

Комплексная мощность трехфазного потребителя

$$\underline{S}^l = \underline{S}_a^l + \underline{S}_b^l + \underline{S}_c^l = 0 + 8664 - j \cdot 11552 + 14440 = 23104 - j11552$$

Полученный результат показывает:

- активная мощность трехфазного потребителя $P = 23104$ Вт
- реактивная мощность имеет емкостной характер и равна $Q = 11552$ Вар

Модуль комплексной мощности S определяет полную мощность трехфазного несимметричного потребителя

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{23104^2 + 11552^2} = 25831 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Векторная диаграмма токов и напряжений для режима в) приведена на рис. 42.

Комплексная мощность нейтрального провода равна

$$\begin{aligned} \dot{S}_{nN} &= [\dot{U}_{nN} \cdot \dot{I}_{nN}^*] = (190 - j109,7) \cdot (5,3 + j43,6) = \\ &= 5783,1 + j7702,3 = 9631,7 \cdot e^{j53,1^\circ} \end{aligned}$$

Комплексные мощности фаз источника равны

$$\begin{aligned} \dot{S}_A &= [\dot{U}_A \cdot \dot{I}_A^*] = 219,4 \cdot e^{j30^\circ} \cdot 65,9 \cdot e^{j44,4^\circ} = 14458,5 \cdot e^{j14,4^\circ} \\ &= 14458,5 \cdot (0,968 + j0,249) = 13995,8 + j3600,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_B &= [\dot{U}_B \cdot \dot{I}_B^*] = 219,4 \cdot e^{j150^\circ} \cdot 38 \cdot e^{j126,9^\circ} = 8337,2 \cdot e^{-j23,1^\circ} = \\ &= 8337,2 \cdot (0,92 - j0,808) = 7668,7 - j3271 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{S}_C &= [\dot{U}_C \cdot \dot{I}_C^*] = 219,4 \cdot e^{j90^\circ} \cdot 38 \cdot e^{j120^\circ} = 8337,2 \cdot e^{-j30^\circ} = \\ &= 8337,2 \cdot (0,866 - j0,5) = 7220 - j4168,6 \end{aligned}$$

Проверка уравнения баланса полной мощности

$$\underline{S}_A + \underline{S}_B + \underline{S}_C = \underline{S}_a^l + \underline{S}_b^l + \underline{S}_c^l + \underline{S}_{nN}$$

$$13995,8 + j \cdot 3600,2 + (7668,7 - j \cdot 3271) + (7220 - j \cdot 4168,6) = 0 + 8664 - j \cdot 11552 +$$

$$+ 14440 + 5783,1 + j \cdot 7702,3$$

$$28884,5 - j \cdot 3839,4 \approx 28887,1 - j \cdot 3849,7$$

В соответствии с первым законом Кирхгофа для нейтральной точки п приемника имеем

$$\dot{I}_{nN} = \dot{I}_a + \dot{I}_b + \dot{I}_c \quad (4)$$

Применительно к рис. 42 для взаимно ориентированных векторов фазных токов, соответствующие построения удовлетворяющие выражению (3) приведены на рис. 43.

$$m_U = 40 \text{ В/см}$$

$$m_I = 15 \text{ А/см}$$

$$\text{---} = 1 \text{ см}$$

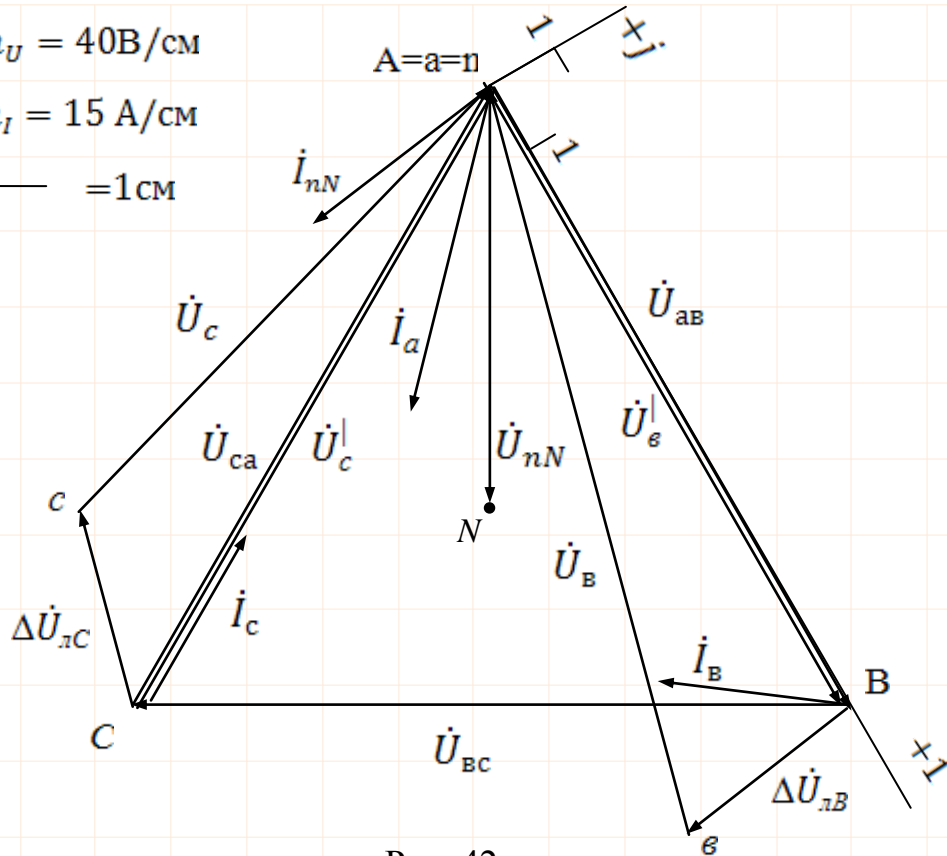


Рис. 42

$$m_U = 40 \text{ В/см}$$

$$m_I = 15 \text{ А/см}$$

$$\text{---} = 1 \text{ см}$$

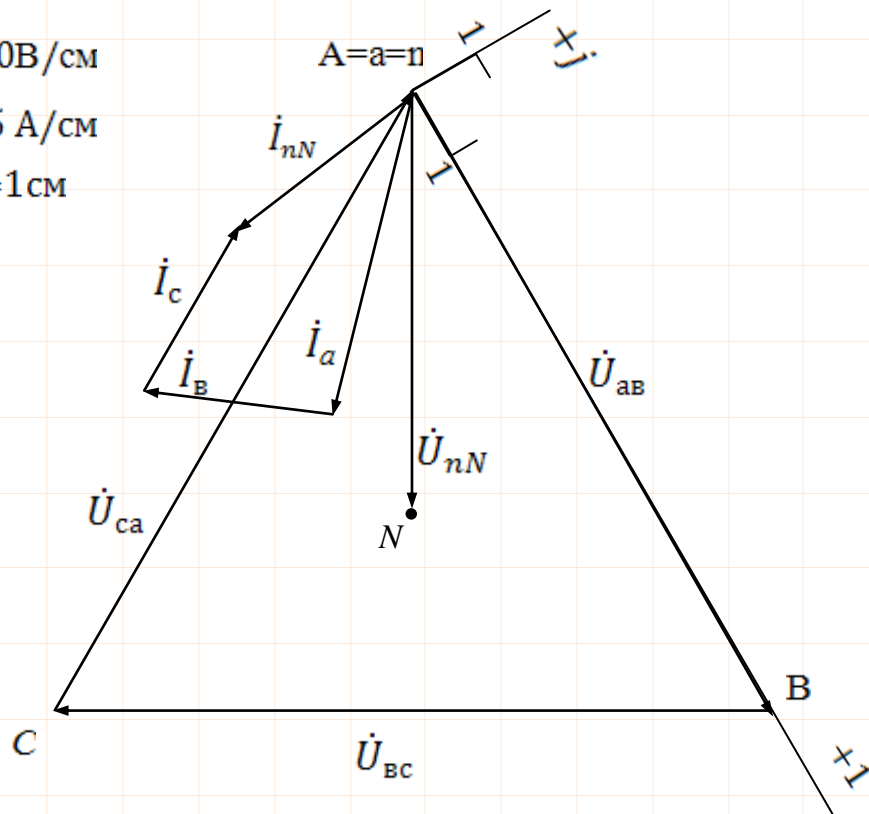


Рис. 43

Практическая модель расчета трехфазной четырехпроводной сети при коротком замыкании участка А-п приведена на рис. 44.

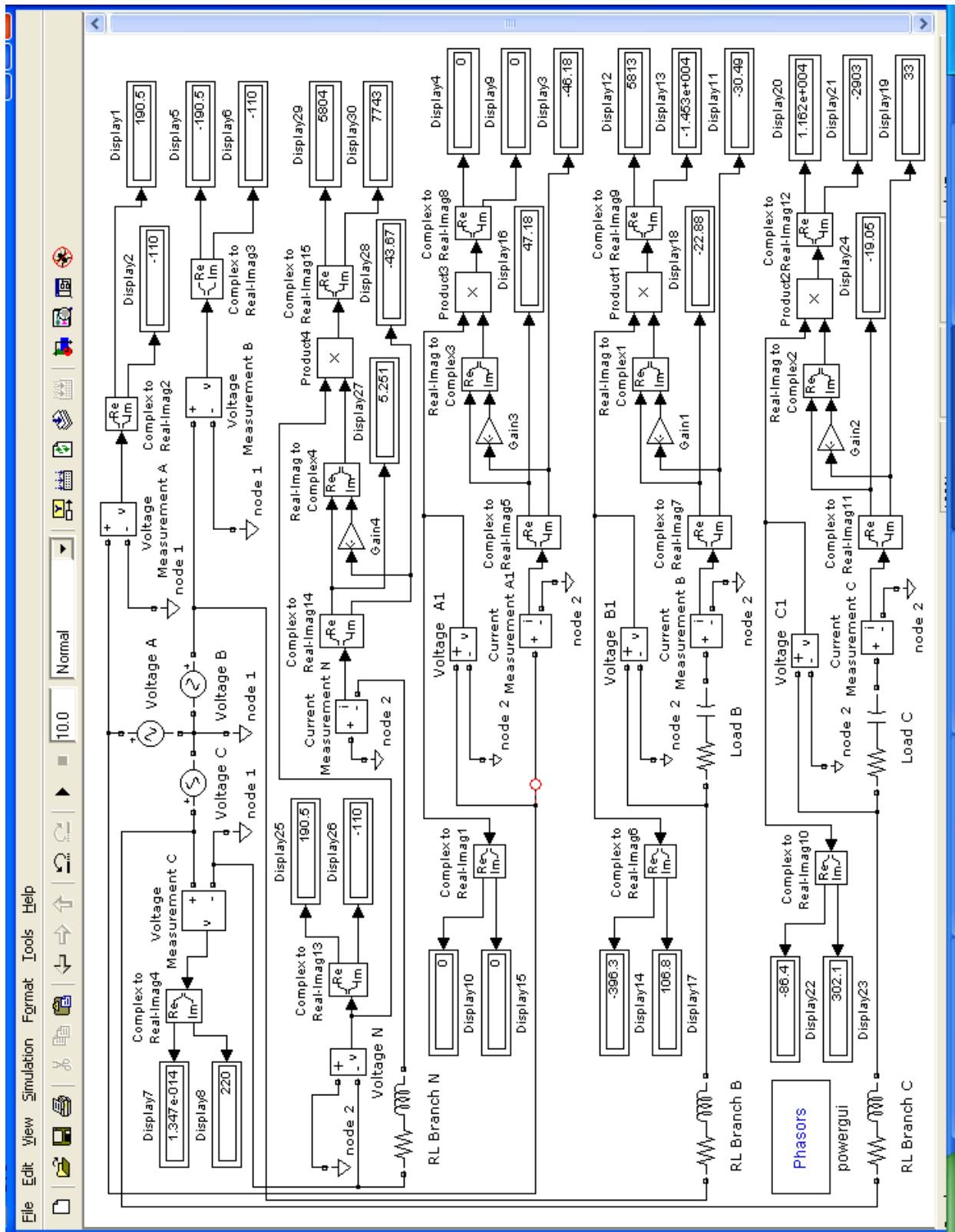
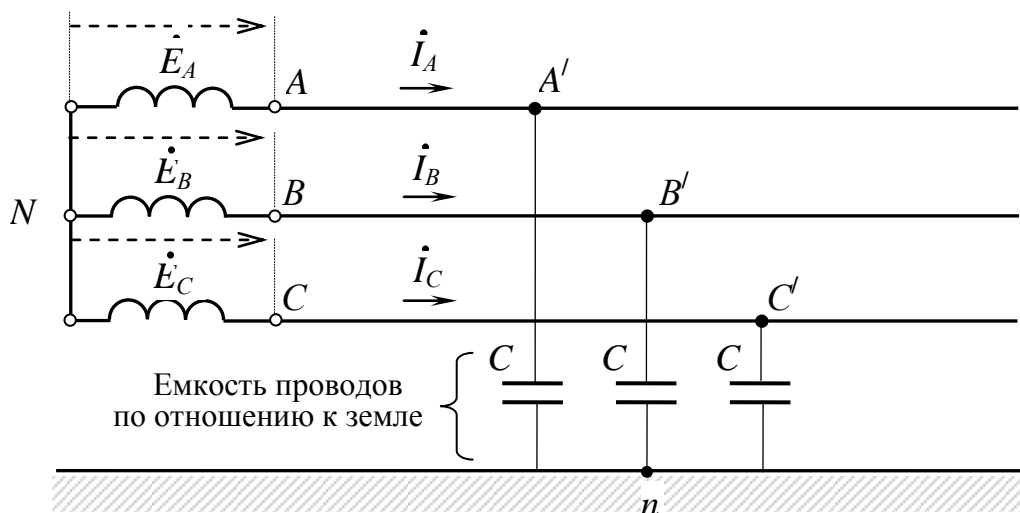


Рис. 44. Модель трехфазной четырехпроводной сети при коротком замыкании участка А-а.

2.5 РАСЧЕТ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Если переходить от рассмотрения трехфазных цепей к расчету трехфазных сетей, то при составлении соответствующих схем замещения необходимо учитывать, что в этом случае линии электропередачи (воздушные и кабельные) являются протяженным токопроводом, создающим электрическое и магнитные поля [4]. При этом электрическое поле линии мало изменяется при изменении условий работы линии в течение суток, а также недели и года из-за ограничений пределов изменения напряжения. Магнитное же поле изменится в широких пределах в соответствии с изменением тока в линии. Это обстоятельство определяет режимные особенности работы электропередач переменного тока и связанные с ним мероприятия по управлению работой электропередач. Другая особенность заключается в том, что если протяженность линии значительна, то фазы напряжения и тока изменяются вдоль линии. Такая зависимость, а именно, соотношение между линейными размерами области, в которой распространяется поле и длиной электромагнитной волны может служить критерием допустимости приближенного рассмотрения переменного электрического поля около проводов линии в отдельные моменты времени как электростатического поля. Действительно, при распространении электромагнитной волны в воздухе со скоростью $V=3 \cdot 10^5$ км/сек и частоте колебаний $f=50$ Гц имеем соотношение $\lambda=V/f=6000$ км, где λ – длина электромагнитной волны. На длине волны фаза колебаний напряженности поля меняется на 2π . В пределах области, линейные размеры которой значительно меньше λ , например, для линий длиной $L \leq 300$ км, можно считать фазу колебаний напряженности поля одинаковой во всех точках области и с большей степенью точности рассматривать поле в каждый момент времени как электростатическое.

Показанная на рис. 45 схема замещения отражает взаимодействие только электрических полей отдельных фаз и поэтому называется «емкостной» схемой замещения линии. При ее исследовании не учитываются продольные активные и индуктивные сопротивления воздушных и кабельных линий (из-за малой длины) которые, тем не менее, могут быть найдены как произведения погонных параметров линии на ее длину.



C – погонная емкость "фаза-земля" кабеля или воздушной линии
(случай симметрии проводимостей сети на землю)

Рис. 45

Здесь же не учитываются продольные активные и индуктивные сопротивления генераторов, трансформаторов (из-за относительно малых падений напряжений в расчетных режимах), а так же могут быть исключены из рассмотрения междуфазные проводимости (линий и нагрузок), которые включены на источники неизменных линейных напряжений U_{AB} , U_{BC} , и U_{AC} (см. рис. 45) и не влияют на напряжения относительно земли. Проводимости можно считать чисто реактивными, вызванными собственными емкостями относительно земли кабелей, воздушных линий и другого оборудования сети.

Рассмотрим ряд важных расчетных режимов в сети с изолированной нейтралью, соотнеся их с условными обозначениями, принятыми на рис. 45.

2.5.1 РЕЖИМ ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛИ СЕТИ

Соответствующая данному режиму расчетная схема при различных в общем случае проводимостях "фаза-земля" приведена на рис. 46.

Для принятых на рис. 46 обозначений система уравнений электрического равновесия примет вид:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{A'/n} + \dot{U}_{nN} + \dot{U}_{NA} &= 0, \quad \dot{U}_{NA} = -\dot{U}_{AN} = -\dot{E}_A, \quad \dot{U}_{A'/n} = \dot{I}_A \cdot \dot{Z}_A, \\ \dot{U}_{B'/n} + \dot{U}_{nN} + \dot{U}_{NB} &= 0, \quad \dot{U}_{NB} = -\dot{U}_{BN} = -\dot{E}_B, \quad \dot{U}_{B'/n} = \dot{I}_B \cdot \dot{Z}_B, \\ \dot{U}_{C'/n} + \dot{U}_{nN} + \dot{U}_{NC} &= 0, \quad \dot{U}_{NC} = -\dot{U}_{CN} = -\dot{E}_C, \quad \dot{U}_{C'/n} = \dot{I}_C \cdot \dot{Z}_C, \\ \dot{U}_{nN} &= -\dot{U}_{Nn} \end{aligned}$$

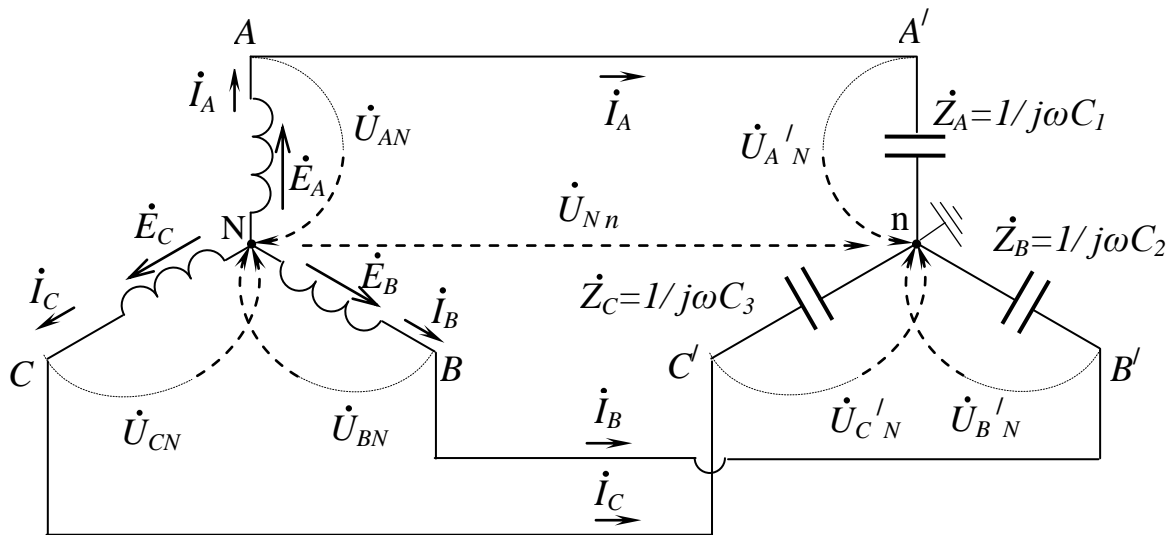


Рис. 46

Соответственно, преобразованная система запишется в виде:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{A'/n} - \dot{U}_{Nn} - \dot{E}_A &= 0 \rightarrow \dot{U}_{A'/n} = \dot{U}_{Nn} + \dot{E}_A \\ \dot{U}_{B'/n} - \dot{U}_{Nn} - \dot{E}_B &= 0 \rightarrow \dot{U}_{B'/n} = \dot{U}_{Nn} + \dot{E}_B \\ \dot{U}_{C'/n} - \dot{U}_{Nn} - \dot{E}_C &= 0 \rightarrow \dot{U}_{C'/n} = \dot{U}_{Nn} + \dot{E}_C \end{aligned}$$

Для изолированной нейтрали по первому закону Кирхгофа

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0 \text{ где } \dot{I}_A = \dot{U}_{A'/n} \cdot \dot{Y}_A \quad \dot{I}_B = \dot{U}_{B'/n} \cdot \dot{Y}_B \quad \dot{I}_C = \dot{U}_{C'/n} \cdot \dot{Y}_C$$

тогда

$$\dot{Y}_A \cdot (\dot{E}_A + \dot{U}_{Nn}) + \dot{Y}_B \cdot (\dot{E}_B + \dot{U}_{Nn}) + \dot{Y}_C \cdot (\dot{E}_C + \dot{U}_{Nn}) = 0$$

В результате, напряжение на нейтрали определится выражением:

$$\dot{U}_{Nn} = - \frac{\dot{E}_A \cdot \dot{Y}_A + \dot{E}_B \cdot \dot{Y}_B + \dot{E}_C \cdot \dot{Y}_C}{\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C}$$

Если $\dot{Y}_A \neq \dot{Y}_B \neq \dot{Y}_C$ то при уравновешенной системе эдс ($\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0$) получаем ненулевое напряжение на нейтрали (смещение нейтрали) $\dot{U}_{Nn} \neq 0$

Как следствие, при смещении нейтрали имеем повышение напряжений линии относительно земли в одной или двух фазах.

Например:

$$|\dot{U}_{A'/n}| < |\dot{U}_{AN}|; \quad |\dot{U}_{B'/n}| > |\dot{U}_{BN}|; \quad |\dot{U}_{C'/n}| > |\dot{U}_{CN}|$$

$$\begin{aligned} \text{Если } \dot{Y}_A = \dot{Y}_B = \dot{Y}_C = j\omega C, \text{ то } \dot{U}_{Nn} &= 0 \quad \dot{U}_{A'/n} = \dot{E}_A = \dot{U}_{AN} \\ \dot{U}_{B'/n} &= \dot{E}_B = \dot{U}_{BN}; \quad \dot{U}_{C'/n} = \dot{E}_C = \dot{U}_{CN} \end{aligned}$$

2.5.2 НЕСИММЕТРИЧНЫЙ РЕЖИМ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ ПРИ ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕЙТРАЛИ

Схема замещения соответствующая данному режиму приведена на рис. 47. Упрощенная расчетная схема для рассматриваемого режима приведена на рис. 48.

В соответствии с первым законом Кирхгофа имеем:

$$\dot{I}_{A'} + \dot{I}_3 + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0 \quad \text{где} \quad \dot{U}_{A'/n} = \dot{U}_{Nn} + \dot{E}_A$$

$$\dot{I}_{A'} = \frac{\dot{U}_{A'/n}}{\dot{Z}_A}; \quad \dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{A'/n}}{R_A}; \quad \dot{Y}_A = \frac{1}{\dot{Z}_A}; \quad g_A = \frac{1}{R_A}; \quad \dot{I}_{B'} = \frac{\dot{U}_{B'/n}}{\dot{Z}_B}; \quad \dot{I}_{C'} = \frac{\dot{U}_{C'/n}}{\dot{Z}_C}.$$

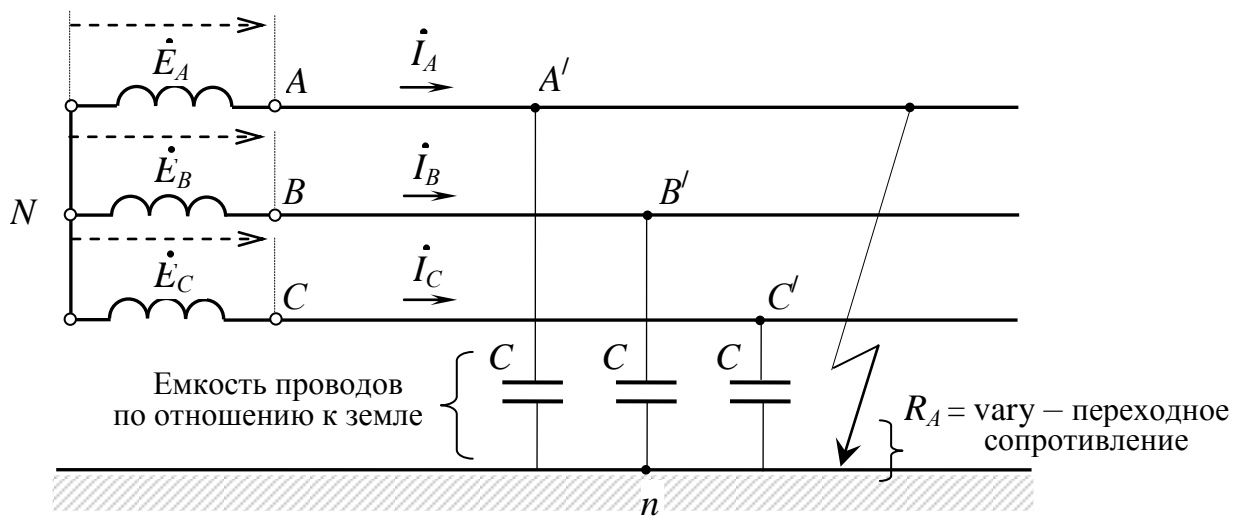


Рис. 47

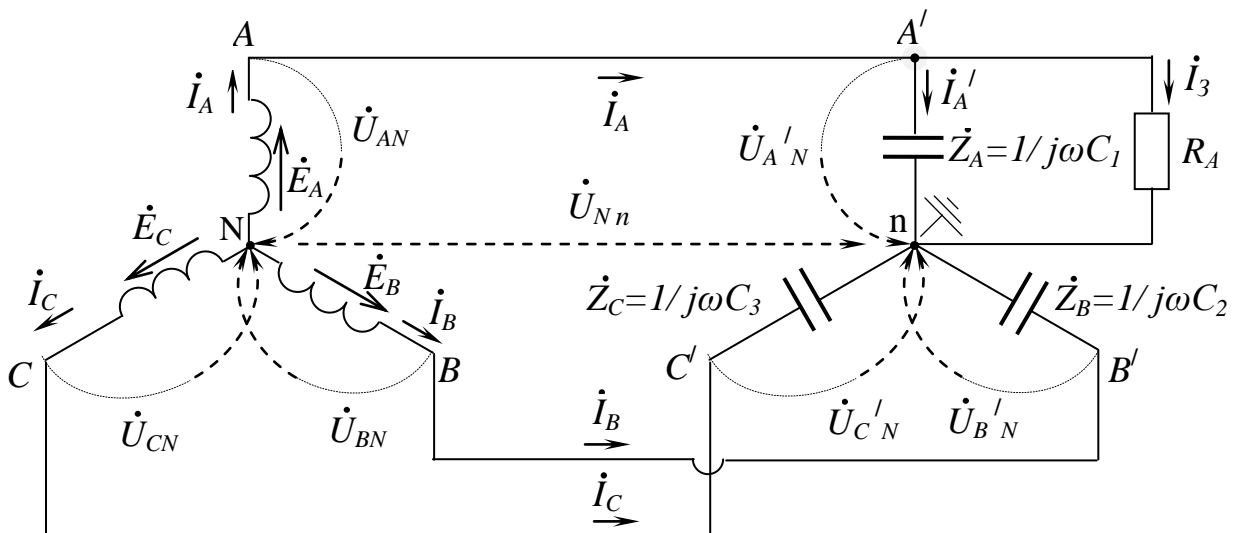


Рис. 48

С учетом приведенных соотношений уравнение по первому закону Кирхгофа для узла (n) примет вид:

$$\begin{aligned} \dot{Y}_B \cdot (\dot{E}_B + \dot{U}_{Nn}) + \dot{Y}_C \cdot (\dot{E}_C + \dot{U}_{Nn}) + (\dot{Y}_A + g_A) \cdot (\dot{E}_A + \dot{U}_{Nn}) &= 0 \\ \dot{Y}_B \cdot \dot{E}_B + \dot{Y}_C \cdot \dot{E}_C + \dot{E}_A \cdot \dot{Y}_A + (\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C) \cdot \dot{U}_{Nn} + g_A \cdot \dot{E}_A + g_A \cdot \dot{U}_{Nn} &= 0 \\ \dot{Y}_B \cdot \dot{E}_B + \dot{Y}_C \cdot \dot{E}_C + \dot{E}_A \cdot \dot{Y}_A + (\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + g_A) \cdot \dot{U}_{Nn} + g_A \cdot \dot{E}_A &= 0 \end{aligned}$$

Пусть $\dot{Y}_A = \dot{Y}_B = \dot{Y}_C = \dot{Y}$, система эдс симметрична, т.е.

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0 \text{ имеем:}$$

$$\dot{Y} \cdot (\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C) + (3 \cdot \dot{Y} + g_A) \cdot \dot{U}_{Nn} + g_A \cdot \dot{E}_A = 0$$

$$(3 \cdot \dot{Y} + g_A) \cdot \dot{U}_{Nn} + g_A \cdot \dot{E}_A = 0$$

Если $g_A = \infty$, т.е. равна нулю величина переходного сопротивления ($R_A = 0$), то

$$\dot{U}_{Nn} = -\frac{\dot{E}_A \cdot g_A}{(3 \cdot \dot{Y} + g_A)} = -\dot{E}_A$$

Уравнение для (\cdot) и по первому закону Кирхгофа примет вид

$$\dot{I}_3 + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 0, \text{ где } \dot{I}_B = \dot{Y} \cdot (\dot{E}_B + \dot{U}_{Nn}), \quad \dot{I}_C = \dot{Y} \cdot (\dot{E}_C + \dot{U}_{Nn}),$$

$$\dot{E}_B + \dot{E}_C = -\dot{E}_A = \dot{U}_{Nn}, \text{ тогда}$$

$$\dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{Y} \cdot (\dot{E}_B + \dot{E}_C + 2 \cdot \dot{U}_{Nn}) = \dot{Y} \cdot (\dot{U}_{Nn} + 2 \cdot \dot{U}_{Nn}) = 3 \cdot \dot{Y} \cdot \dot{U}_{Nn}$$

Окончательно получим:

$$\dot{I}_3 = -(\dot{I}_B + \dot{I}_C) = -3 \cdot \dot{Y} \cdot \dot{U}_{Nn} = -3 \cdot j\omega C \cdot \dot{U}_{Nn}$$

Следовательно, ток замыкания на землю носит емкостной характер и отстает по фазе от напряжения \dot{U}_{Nn} на 90° . Так как $\dot{U}_{Nn} = -\dot{E}_A$, то можно говорить, что ток замыкания на землю, в свою очередь, опережает эдс своей фазы на 90° .

$$\text{В общем случае } |\dot{I}_3| = \sqrt{3} \cdot \omega C \cdot l \cdot U_{\text{НОМ}}$$

где C – погонная емкость "фаза – земля" кабеля или воздушной линии; l – суммарная длина линии; $U_{\text{НОМ}}$ – номинальное линейное напряжение линии.

Напряжения неповрежденных фаз относительно земли равны:

$$\dot{U}_{B/n} = \dot{E}_B + \dot{U}_{Nn} = \dot{E}_B - \dot{E}_A = \dot{E}_{AB} \quad \dot{U}_{C/n} = \dot{E}_C + \dot{U}_{Nn} = \dot{E}_C - \dot{E}_A = \dot{E}_{AC}$$

Таким образом, если при однофазном замыкании на землю величина переходного сопротивления в месте замыкания равна нулю ($R_A = 0$), то напряжение смещения нейтрали по модулю равно фазной эдс ($|\dot{U}_{Nn}| = |\dot{E}_A|$), а напряжение на неповрежденных фазах относительно земли превышает фазную эдс в $\sqrt{3}$ раз. Ток замыкания на землю носит емкостной характер и опережает эдс своей фазы на 90° .

Если $g_A \neq \infty$, т.е. $R_A \neq 0$ то

$$\dot{U}_{Nn} = -\frac{\dot{E}_A \cdot g_A}{(3 \cdot \dot{Y} + g_A)} = -\frac{\dot{E}_A \cdot g_A}{(3 \cdot j\omega C + g_A)}$$

Определим величину \dot{U}_{Nn} графоаналитическим способом используя следующий алгоритм:

1. Зададимся комплексной плоскостью мнимая ось которой совпадает с направлением $\overrightarrow{\dot{U}_{NA}}$ на соответствующей векторной диаграмме (см. рис. 49).

2. Обратим на комплексной плоскости прямую заданную уравнением:

$$g_A + 3 \cdot j\omega C, \text{ где } g_A = \text{var } 3\omega C = \text{const}$$

В качестве центра обращения выберем $(\cdot)N$ векторной диаграммы.

3. Полученную в результате выполнения п.2 окружность умножим на комплексное число: $(-\dot{E}_A \cdot g_A)$. Определим геометрическое место точек вектора $\overrightarrow{\dot{U}_{Nn}}$ на комплексной плоскости.

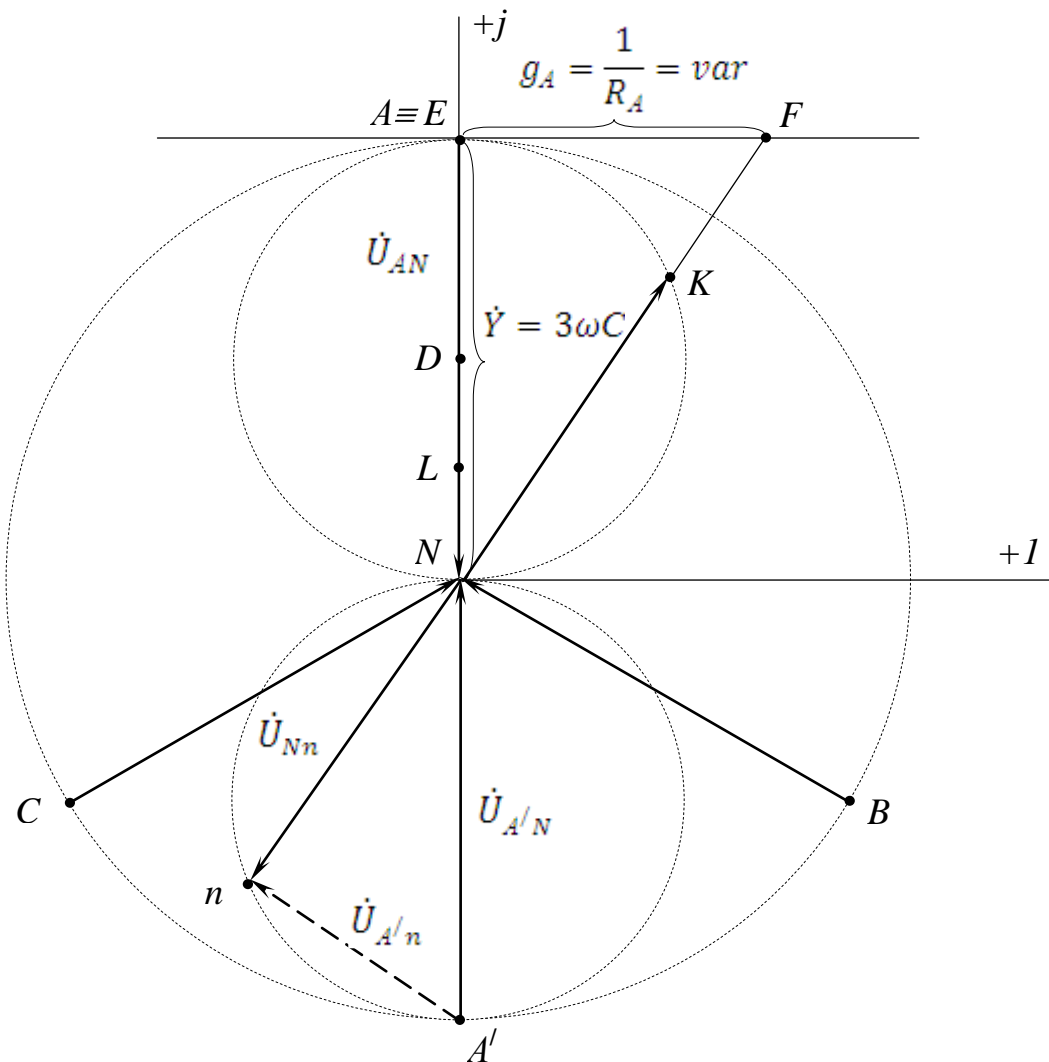


Рис. 49

При выполнении геометрических построений связанных с п.1 необходимо предварительно задаться масштабом напряжений $[m_U] = \dots$ В/см.

Для обращения на комплексной плоскости прямой $g_A + 3 \cdot j\omega C$ зададимся масштабом проводимости $[m_g]$, таким что

$$[m_g] = 3\omega C \cdot \frac{[m_U]}{|\dot{U}_{NA}|}$$

По оси (+j) отложим отрезок $[NE]$ длина которого равна $|NE| = \frac{3\omega C}{[m_g]}$.

С учетом принятого масштаба $[m_g]$ имеем, $|NE| = |NA|$, где $|NA| = \frac{|\dot{U}_{NA}|}{[m_U]}$. Так как по условию $g_A = \frac{1}{R_A} = var$ вещественное число, то для построения кривой определяющей геометрическое место точек g_A на рис. 49, необходимо из точки $(\cdot) E$ перпендикулярно (\perp) отрезку $[NE]$ провести прямую. Пусть $(\cdot) F$ на построенной прямой и связанный с ней отрезок $[AF]$ в масштабе $[m_g]$ определяют произвольно заданное значение g_A такое, что

$$|AF| = \frac{g_A}{[m_g]}$$

Из теории обращения кривых на комплексной плоскости известно, что результатом обращения прямой будет окружность. Для рассматриваемого случая $(\cdot) N$ – центр обращения. Прямая совпадающая с отрезком $[EF]$ – обращаемая прямая. В соответствии с рис. 49 $(\cdot) E$ – обратная точка относительно центра обращения. Точка $(\cdot) L$ – взаимная точка относительно центра обращения. Величина определяемая произведением $|NE| \cdot |NL|$ равна степени обращения ($S=R^2$). Для приведенных на рис. 49 построений имеем:

$$|NE| \cdot |NL| = R^2$$

где $R = |NE|/2$ Тогда $|NE| \cdot |NL| = |NE|^2/4 \Rightarrow |NL| = |NE|/4$

Таким образом, результатом обращения прямой $g_A + 3 \cdot j\omega C$ будет окружность с центром в $(\cdot) D$ и радиусом $R = |ND| = |NE|/2$.

Диаграмму кривой заданную аналитическим выражением $\frac{g_A}{(3 \cdot j\omega C + g_A)}$ можно получить, умножая диаграмму (окружность) $\frac{1}{(3 \cdot j\omega C + g_A)}$ на вещественное число g_A . Для того, чтобы обе диаграммы изображались одной и той же кривой (окружностью), необходимо чтобы для соответствующих масштабов выполнялось равенство

$$\left[m_{(g_A/(3 \cdot j\omega C + g_A))} \right] = g_A \cdot [m_g]$$

где $[m_g] = 3\omega C \cdot [m_U] / |\dot{U}_{NA}|$ масштаб проводимости.

Для произвольно заданного значения g_A пересечение отрезка $[NF]$ с построенной окружностью дает точку $(\cdot) K$, для которой справедливо выражение

$$|NK| = \left| \frac{g_A}{(3 \cdot j\omega C + g_A)} \right|.$$

Чтобы определить геометрическое место точек соответствующее выражению:

$$\dot{U}_{Nn} = -\dot{E}_A \cdot \frac{g_A}{(3 \cdot j\omega C + g_A)}, \text{ необходимо окружность } (NKEN)$$

умножить на комплексное число $(-\dot{E}_A)$

При выполнении построений учтем, что $-\dot{E}_A = E_A \cdot e^{-j180^\circ}$.

Следовательно, на начальном этапе построений исходная диаграмма (окружность) умножается на модуль $|\dot{E}_A|$, а затем вновь полученная окружность поворачивается около точки $(\cdot) N$ на угол 180° . Для того, чтобы радиус окружности $(NKEN)$ равнялся радиусу конечной окружности, необходимо чтобы для соответствующих масштабов выполнялось равенство

$$\begin{aligned} [m_{[\dot{U}_{Nn}]}] &= E_A \cdot [m_{(g_A/(3 \cdot j\omega C + g_A))}] = E_A \cdot g_A \cdot [m_g] = \\ &= E_A \cdot g_A \cdot 3\omega C \cdot \frac{[m_U]}{|\dot{U}_{NA}|} = 3\omega C \cdot g_A \cdot [m_g] \end{aligned}$$

В результате построений точка $(\cdot) K$ отобразится в точку $(\cdot) n$, а точка $(\cdot) A$ в точку $(\cdot) A'$.

Для построений векторной диаграммы токов воспользуемся качественной диаграммой напряжений приведенной на рис. 49, но с тем условием, что для действительной расчетной схемы (см. рис. 48), точки $(\cdot) A$ и $(\cdot) A'$ совпадают. Соответственно совпадают точки $(\cdot) K$ и $(\cdot) n$. Качественно, с учетом взаимной ориентации векторов, отложим вектор тока \dot{I}_3 совпадающий с вектором напряжения $\dot{U}_{A/n}$. Пусть длина $|\dot{I}_3|$ равна 8,7см (рис. 50). Выберем произвольную длину вектора $\dot{I}_{A'}$, например 2см.

С учетом емкостного характера \dot{Z}_A , построим вектор тока $\dot{I}_{A'}$ на векторной диаграмме (рис. 50). Из построений, приведенных на рис. 50 длина вектора напряжений $|\dot{U}_{A/n}| = 3,4$ см. Ему соответствует вектор $\dot{I}_{A'}$ длиной равной 2см. Так как $\dot{Z}_A = \dot{Z}_B = \dot{Z}_C$ то для токов \dot{I}_B и \dot{I}_C справедливы

СООТНОШЕНИЯ

$$\frac{|\dot{U}_{A'/n}|}{|\dot{U}_{C'/n}|} = \frac{|\dot{I}_{A'}|}{|\dot{I}_C|} \text{ или } |\dot{I}_C| = \frac{|\dot{I}_{A'}| \cdot |\dot{U}_{C'/n}|}{|\dot{U}_{A'/n}|} = \frac{2\text{см} \cdot 10,6\text{см}}{3,4\text{см}} = 6,2\text{см},$$

где $|\dot{U}_{C'/n}| = 10,6$ см (рис. 50). Соответственно

$$\frac{|\dot{U}_{A'/n}|}{|\dot{U}_{B'/n}|} = \frac{|\dot{I}_{A'}|}{|\dot{I}_B|} \text{ или } |\dot{I}_B| = \frac{|\dot{I}_{A'}| \cdot |\dot{U}_{B'/n}|}{|\dot{U}_{A'/n}|} = \frac{2\text{см} \cdot 7,4\text{см}}{3,4\text{см}} = 4,4\text{см},$$

где $|\dot{U}_{B'/n}| = 7,4$ см (рис. 50).

С учетом емкостного характера \dot{Z}_B и \dot{Z}_C строим соответствующие вектора для токов \dot{I}_B и \dot{I}_C на диаграмме (рис. 50).

Из приведенных на рис. 50 построений следует, что $\dot{I}_B + \dot{I}_C = -(\dot{I}_{A'} + \dot{I}_3)$, т.е. $\dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}_{A'} + \dot{I}_3 = 0$

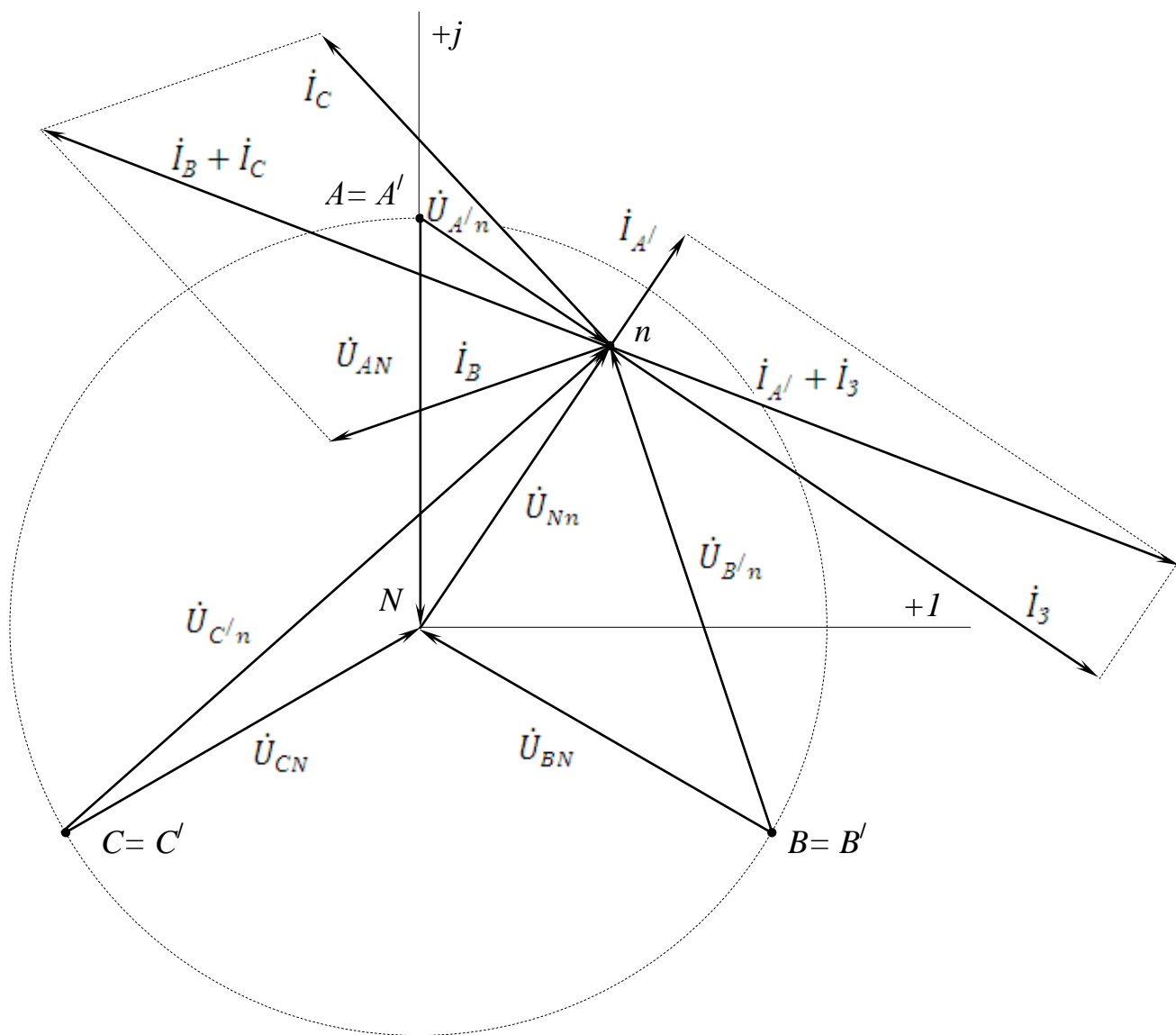


Рис. 50

2.5.3 НЕСИММЕТРИЧНЫЙ РЕЖИМ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ ПРИ НЕЙТРАЛИ СЕТИ, ЗАЗЕМЛЕННОЙ ЧЕРЕЗ ДУГОГАСЯЩИЙ РЕАКТОР

Согласно ПУЭ [1] при емкостных токах замыкания на землю более 30, 20, 15, 10 А соответственно в сетях напряжением 6, 10, 15÷20, 35 кВ должна применяться компенсация тока с помощью заземляющих дугогасящих реакторов. В сетях 6÷35 кВ с ВЛ на железобетонных и металлических опорах должны использоваться дугогасящие реакторы при емкостном токе замыкания на землю более 10 А. Упрощенная схема сети заземленной через дугогасящий реактор при однофазном замыкании на землю представлена на рис. 51.

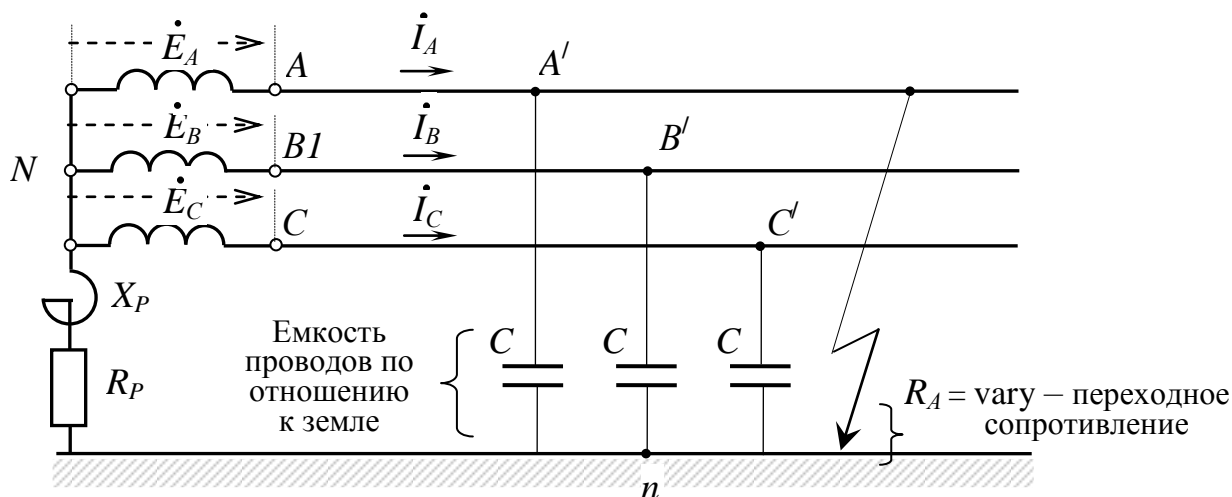


Рис. 51

Схема замещения соответствующая данному режиму приведена на рис. 52.

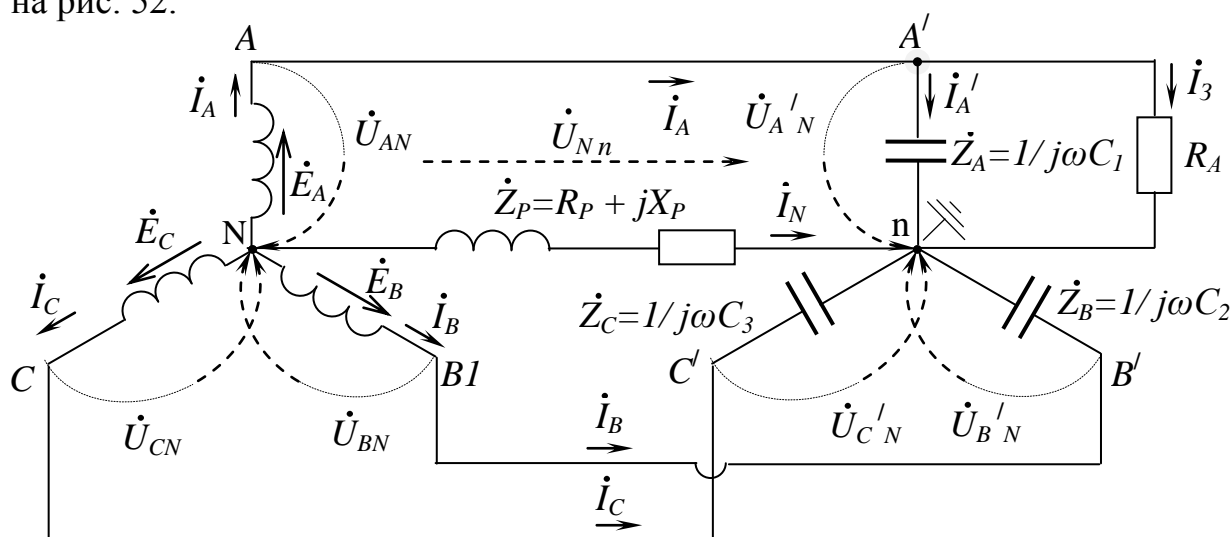


Рис. 52

В соответствии с первым законом Кирхгофа для точки (·) n (рис. 52) имеем

$$\dot{I}_{A'} + \dot{I}_3 + \dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}_N = 0$$

где $\dot{U}_{A'/n} = \dot{U}_{Nn} + \dot{E}_A$ $\dot{U}_{B'/n} = \dot{U}_{Nn} + \dot{E}_B$ $\dot{U}_{C'/n} = \dot{U}_{Nn} + \dot{E}_C$

$$\dot{I}_N = \frac{\dot{U}_{Nn}}{\dot{Z}_P}; \quad \dot{I}_3 = \frac{\dot{U}_{A'/n}}{R_A}; \quad \dot{I}_{A'} = \frac{\dot{U}_{A'/n}}{\dot{Z}_A}; \quad \dot{I}_{B'} = \frac{\dot{U}_{B'/n}}{\dot{Z}_B}; \quad \dot{I}_{C'} = \frac{\dot{U}_{C'/n}}{\dot{Z}_C}.$$

$$\dot{Y}_A = \frac{1}{\dot{Z}_A}; \quad \dot{Y}_B = \frac{1}{\dot{Z}_B}; \quad \dot{Y}_C = \frac{1}{\dot{Z}_C}; \quad \dot{Y}_P = \frac{1}{\dot{Z}_P}; \quad g_A = \frac{1}{R_A}.$$

С учетом приведенных соотношений уравнение Кирхгофа примет вид:

$$\dot{Y}_B \cdot (\dot{E}_B + \dot{U}_{Nn}) + \dot{Y}_C \cdot (\dot{E}_C + \dot{U}_{Nn}) + (\dot{Y}_A + g_A) \cdot (\dot{E}_A + \dot{U}_{Nn}) + \dot{Y}_P \cdot \dot{U}_{Nn} = 0$$

$$\dot{Y}_B \cdot \dot{E}_B + \dot{Y}_C \cdot \dot{E}_C + \dot{E}_A \cdot \dot{Y}_A + (\dot{Y}_A + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_P + g_A) \cdot \dot{U}_{Nn} + g_A \cdot \dot{E}_A = 0$$

Пусть $\dot{Y}_A = \dot{Y}_B = \dot{Y}_C = \dot{Y}$, система эдс симметрична, т.е.

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0, \text{ имеем:}$$

$$\dot{Y} \cdot (\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C) + (3 \cdot \dot{Y} + \dot{Y}_P + g_A) \cdot \dot{U}_{Nn} + g_A \cdot \dot{E}_A = 0$$

$$(3 \cdot \dot{Y} + \dot{Y}_P + g_A) \cdot \dot{U}_{Nn} + g_A \cdot \dot{E}_A = 0$$

Если $g_A = \infty$, т.е. равна нулю величина переходного сопротивления ($R_A = 0$), то

$$\dot{U}_{Nn} = -\frac{\dot{E}_A \cdot g_A}{(3 \cdot \dot{Y} + \dot{Y}_P + g_A)} = -\dot{E}_A$$

Соответственно для тока $\dot{I}_{A'}$ имеем

$$\dot{I}_{A'} = (\dot{E}_A + \dot{U}_{Nn}) \cdot \dot{Y}_A = (\dot{E}_A - \dot{E}_A) \cdot \dot{Y}_A = 0$$

и уравнение для (·) n по первому закону Кирхгофа примет вид

$$\dot{I}_3 + \dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}_N = 0,$$

где $\dot{I}_B = \dot{Y} \cdot (\dot{E}_B + \dot{U}_{Nn}); \dot{I}_C = \dot{Y} \cdot (\dot{E}_C + \dot{U}_{Nn}); \dot{Y} = j\omega C.$

$$\dot{E}_B + \dot{E}_C = -\dot{E}_A = \dot{U}_{Nn}, \text{ тогда}$$

$$\dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{Y} \cdot (\dot{E}_B + \dot{E}_C + 2 \cdot \dot{U}_{Nn}) = \dot{Y} \cdot (\dot{U}_{Nn} + 2 \cdot \dot{U}_{Nn}) = 3 \cdot \dot{Y} \cdot \dot{U}_{Nn}$$

$$\dot{I}_N = \dot{Y}_P \cdot \dot{U}_{Nn}$$

Окончательно получим:

$$\dot{I}_3 = -(\dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}_N) = -(3 \cdot \dot{Y} \cdot \dot{U}_{Nn} + \dot{Y}_P \cdot \dot{U}_{Nn}) = -(3 \cdot \dot{Y} + \dot{Y}_P) \cdot \dot{U}_{Nn}$$

Величина равная X_P/R_P носит название добротности реактора (q_P), т.е. $q_P = X_P/R_P$

Для современных реакторов величина $q_p = 50 \dots 90$. Как следствие, можно считать, что $R_p \ll X_p$

$$\text{Пусть } R_p = 0, \text{ тогда } \dot{Y}_p = \frac{1}{jX_p} = \frac{1}{j\omega L_p}$$

и ток замыкания определится выражением

$$\dot{I}_3 = -(3 \cdot \dot{Y} + \dot{Y}_p) \cdot (-\dot{E}_A) = \dot{E}_A \cdot 3 \cdot j\omega C \cdot (1 - K)$$

где $K = \frac{1}{3 \cdot \omega^2 \cdot C \cdot L_p}$ – коэффициент компенсации емкостного тока.

Как видно из приведенного выражения величина тока замыкания определяется действием э.д.с. \dot{E}_A в цепи, состоящей из параллельно соединенных емкостей всех фаз относительно земли $3C$ и индуктивности дугогасящего реактора L_p . При $K = 1$ и $R_p = 0$ имеем полную компенсацию емкостного тока (резонанс токов); при $K < 1$ – недокомпенсацию (емкостной ток замыкания); при $K > 1$ – перекомпенсацию (индуктивный ток).

Если $g_A \neq \infty$, т.е. величина переходного сопротивления не равна нулю ($R_A \neq 0$), то

$$\dot{U}_{Nn} = -\frac{\dot{E}_A \cdot g_A}{(3 \cdot \dot{Y} + \dot{Y}_p + g_A)} = -\frac{\dot{E}_A \cdot g_A}{(3 \cdot j\omega C - j\omega L_p + g_A)}$$

Определим величину \dot{U}_{Nn} графоаналитическим способом используя следующий алгоритм:

1. Зададимся комплексной плоскостью мнимая ось которой совпадает с направлением $\overrightarrow{\dot{U}_{NA}}$ на соответствующей векторной диаграмме (см. рис. 53).

2. Обратим на комплексной плоскости прямую заданную уравнением:

$$g_A + 3 \cdot j\omega C - j\omega L_p, \text{ где } g_A = \text{var}; \quad 3\omega C = \text{const}; \quad \omega L_p = \text{const}.$$

В качестве центра обращения выберем $(\cdot) N$ векторной диаграммы.

3. Полученную в результате выполнения п.2 окружность умножим на комплексное число: $(-\dot{E}_A \cdot g_A)$. Определим геометрическое место точек вектора $\overrightarrow{\dot{U}_{Nn}}$ на комплексной плоскости.

При выполнении геометрических построений связанных с п.1 необходимо предварительно задаться масштабом напряжений $[m_U] = \dots$ В/см.

Обращение на комплексной плоскости прямой $g_A + 3 \cdot j\omega C - 1/j\omega L_p$ выполним в два этапа.

Этап 1. Зададимся масштабом проводимости $[m_g]$ таким что

$$[m_g] = \left(3\omega C - \frac{1}{\omega L_p}\right) \cdot \frac{[m_U]}{|\dot{U}_{NA}|}$$

По оси (+j) отложим отрезок $[NE]$ длина которого равна

$$|NE| = \frac{(3\omega C - \frac{1}{\omega L_P})}{[m_g]}$$

С учетом принятого масштаба $[m_g]$ имеем, $|NE| = |NA|$, где

$$|NA| = \frac{|\dot{U}_{NA}|}{[m_U]}. \text{ Так как по условию } g_A = \frac{1}{R_A} = var \text{ вещественное число,}$$

то для построения кривой определяющей геометрическое место точек g_A на рис. 53, необходимо из точки $(\cdot) E$ перпендикулярно (\perp) отрезку $[NE]$ провести прямую. Пусть $(\cdot) F$ на построенной прямой и связанный с ней отрезок $[AF]$ в масштабе $[m_g]$ определяют произвольно заданное значение g_A такое, что

$$|AF| = \frac{g_A}{[m_g]}$$

Из теории обращения кривых на комплексной плоскости известно, что результатом обращения прямой будет окружность. Для рассматриваемого случая $(\cdot) N$ – центр обращения. Прямая совпадающая с отрезком $[EF]$ – обращаемая прямая. В соответствии с рис. 53 точка $(\cdot) E$ – обратная точка относительно центра обращения. Точка $(\cdot) L$ – взаимная точка относительно центра обращения. Величина определяемая произведением $|NE| \cdot |NL|$ равна степени обращения ($S=R^2$). Для приведенных на рис. 53 построений имеем:

$$|NE| \cdot |NL| = R^2$$

где $R = |NE|/2$ Тогда $|NE| \cdot |NL| = |NE|^2/4 \Leftrightarrow |NL| = |NE|/4$

Таким образом, результатом обращения прямой $g_A + 3 \cdot j\omega C$ будет окружность $(Nn'E)$ с центром в $(\cdot) D$ и радиусом $R = |ND| = |NE|/2$

Точка $(\cdot) n'$ есть результат пересечения прямой $[NF]$ и окружности с радиусом R .

Этап 2. С учетом выбранного масштаба $[m_g]$ по оси ($-j$) отложим отрезок $[NK]$ длина которого равна

$$|NK| = \frac{|Y_P|}{[m_g]} = \frac{\frac{1}{\omega L_P} \cdot |\dot{U}_{NA}|}{3 \cdot \omega C \cdot [m_U]}$$

Для построений приведенных на рис. 53 имеем

$$|NK| = 3,5 \text{ см}; |NA| = 6 \text{ см.}$$

Следовательно

$$\frac{1}{3 \cdot \omega C} = 0,58.$$

По аналогии с алгоритмом построений приведенном для 1 этапа, из точки (·) К проведем перпендикуляр (\perp) к отрезку $[NK]$. На полученной прямой отложим отрезок $[KB]$ такой, что $|KB| = |EF|$. Обратим прямую

$(g_A - j \cdot \frac{1}{\omega L_P})$ на комплексной плоскости. При обращении учтем, что точка

(·) N – центр обращения. Прямая совпадающая с отрезком $[KB]$ – обращаемая прямая. В соответствии с рис. 53 точка (·) К – обратная точка. Точка (·) S – взаимная точка относительно центра обращения. Величина определяемая произведением $|NS| \cdot |NK|$ равна степени обращения ($S=R^2$). Для приведенных на рис. 53 построений имеем $|NS| \cdot |NK| = R^2$,

$$\text{где } R = |NQ| = \frac{|NK|}{2} = \frac{0,58 \cdot |NA|}{2} = 0,29 \cdot |NA|.$$

Тогда $|NK| = 0,58 \cdot |NA|$; $|NS| \cdot |NK| = |NS| \cdot 0,58 \cdot |NA|$; $R^2 = (0,29)^2 \cdot |NA|^2 = 0,0841 \cdot |NA|^2$, окончательно получим $|NS| \cdot 0,58 \cdot |NA| = 0,0841 \cdot |NA|^2 \Rightarrow$

$$|NS| = \frac{0,0841 \cdot |NA|}{0,58} = 0,145 \cdot |NA| = 0,145 \cdot 6 = 0,87 \approx 0,9 \text{ см}$$

Таким образом результатом обращения прямой $(g_A - j \cdot \frac{1}{\omega L_P})$ будет полуокружность $(Nn''K)$ с центром в точке (·) Q и радиусом $R = |NQ| = 0,29 \cdot |NA| = 0,29 \cdot 6 \approx 1,75 \text{ см}$.

Точка (·) n'' есть результат пересечения прямой $|NB|$ с полуокружностью радиусом $R = 1,75 \text{ см}$.

Геометрическая сумма векторов $\overline{Nn'}$ и $\overline{Nn''}$ дает вектор $\overline{Nn'''} (рис. 53)$. Поворотив данный вектор относительно центра обращения точки (·) N до пересечения с окружностью $(Nn'E)$ можно получить точку (·) n. Длина вектора \dot{U}_{Nn} дает искомое напряжение на нейтрали. Соответственно длина вектора $\dot{U}_{A/n}$ дает напряжение провода фазы А трехфазной линии относительно земли.

Если $|\dot{Y}_P| = |\dot{Y}|$ (см. точку (·) P на рис. 53), то точки (·) n и (·) A/ совпадают. Следовательно включение настроенного реактора таким

образом, что $\frac{1}{\omega L_P} = 3 \cdot \omega C$ снижает напряжение $\dot{U}_{A/n}$ до нуля при любом

конечном значении переходного сопротивления R_A .

Для построения векторной диаграммы токов воспользуемся качественной диаграммой напряжений приведенной на рис. 53. С учетом взаимной ориентации векторов отложим вектор тока \dot{I}_3 совпадающий с вектором напряжения $\dot{U}_{A/n}$. Пусть длина $|\dot{I}_3|$ равна 4,6 см (см. рис. 54). Выберем произвольную длину вектора \dot{I}_A например 2 см.

С учетом емкостного характера \dot{Z}_D построим вектор тока \dot{I}_A на векторной диаграмме (рис. 54).

Из построений приведенных на рис. 54 длина вектора напряжений $\dot{U}_{A/n}$ равна $|\dot{U}_{A/n}| = 2,9$ см. Ему соответствует вектор $\dot{I}_{A'}$ длиной равной 2 см. Так как $\dot{Z}_A = \dot{Z}_B = \dot{Z}_C$ то для токов \dot{I}_B и \dot{I}_C справедливы соотношения

$$\frac{|\dot{U}_{A/n}|}{|\dot{U}_{C/n}|} = \frac{|\dot{I}_{A'}|}{|\dot{I}_C|} \text{ или } |\dot{I}_C| = \frac{|\dot{I}_{A'}| \cdot |\dot{U}_{C/n}|}{|\dot{U}_{A/n}|} = \frac{2 \text{ см} \cdot 10,85 \text{ см}}{2,9 \text{ см}} = 7,5 \text{ см},$$

где $|\dot{U}_{C/n}| = 10,85$ см (рис. 54). Соответственно

$$\frac{|\dot{U}_{A/n}|}{|\dot{U}_{B/n}|} = \frac{|\dot{I}_{A'}|}{|\dot{I}_B|} \text{ или } |\dot{I}_B| = \frac{|\dot{I}_{A'}| \cdot |\dot{U}_{B/n}|}{|\dot{U}_{A/n}|} = \frac{2 \text{ см} \cdot 8,1 \text{ см}}{2,9 \text{ см}} = 5,6 \text{ см},$$

где $|\dot{U}_{B/n}| = 8,1$ см (рис. 54).

С учетом емкостного характера \dot{Z}_B и \dot{Z}_C построим соответствующие вектора для токов \dot{I}_B и \dot{I}_C на диаграмме (рис. 54).

Определим величину тока \dot{I}_N протекающего через дугогасящий реактор. Получим

$$\dot{I}_{A'} = \dot{U}_{A/n} \cdot \dot{Y}, \quad \dot{I}_N = \dot{Y}_P \cdot \dot{U}_{Nn} \text{ тогда } \frac{\dot{I}_N}{\dot{I}_{A'}} = \frac{\dot{U}_{Nn} \cdot \dot{Y}_P}{\dot{U}_{A/n} \cdot \dot{Y}}$$

где $\dot{U}_{Nn} = 5,2$ см (рис. 54), $\frac{\dot{Y}_P}{\dot{Y}} = \frac{1}{\omega C} \cdot \omega L_P = 5,58 \cdot 3 = 1,74$. Соответственно

$$\dot{I}_N = \dot{I}_{A'} \cdot \frac{\dot{U}_{Nn} \cdot \dot{Y}_P}{\dot{U}_{A/n} \cdot \dot{Y}} = 2 \text{ см} \cdot \frac{5,2 \text{ см}}{2,9 \text{ см}} \cdot 1,74 = 6,2 \text{ см}$$

С учетом индуктивного характера $\dot{Z}_P = j\omega L_P$ построим вектор тока \dot{I}_N на диаграмме (рис. 54).

Для построений приведенных рис. 54 справедливо соотношение

$$(\dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}_N) = -(\dot{I}_{A'} + \dot{I}_3) \text{ е. } \dot{I}_{A'} + \dot{I}_3 + \dot{I}_B + \dot{I}_C + \dot{I}_N = 0$$

В целом, включение дугогасящего реактора позволяет уменьшить величину тока замыкания $|\dot{I}_3|$

Действительно

$$\frac{|i_3| \text{ (рис. 54)}}{|i_3| \text{ (рис. 53)}} = \frac{4,6}{8,7} = 0,53$$

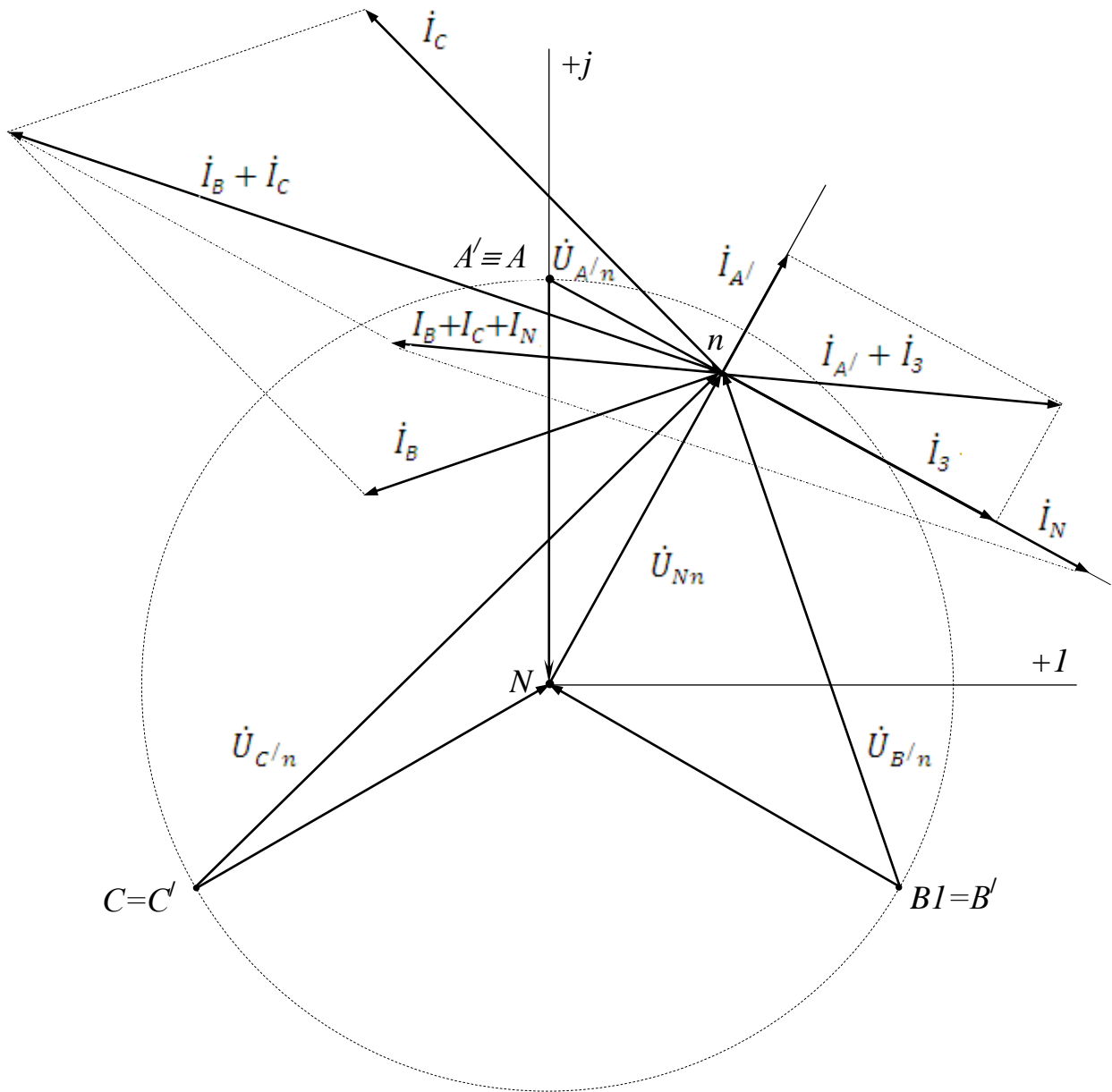


Рис. 54

3. ТЕХНОЛОГИЯ МОНТАЖА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НАПРЯЖЕНИЕМ 0,4 кВ ИЗОЛИРОВАННЫМИ ПРОВОДАМИ МАРКИ СИП

По сравнению с традиционными воздушными линиями электропередачи (ВЛ) линии с применением самонесущих изолированных проводов (ВЛИ) при относительно небольшом повышении затрат имеют ряд конструктивных особенностей – наличие изоляционного покрова на токоведущих проводниках, повышенная механическая прочность, прогрессивная сцепная и ответвительная арматура и др. Эти особенности обуславливают значительное повышение надежности электроснабжения потребителей и резкое снижение эксплуатационных затрат. Что в свою очередь, и определяет высокую экономическую эффективность использования изолированных проводов в распределительных электрических сетях.

Все преимущества ВЛИ можно объединить в три группы.

Первая группа – преимущества, которые сказываются при проектировании и монтаже:

- простота конструктивного исполнения линии;
- простота исполнения нескольких ответвлений от одной опоры;
- простота исполнения многоцепных линий электропередачи, возможность исполнения четырех и более цепных линий;
- простота совместной подвески линий уличного освещения;
- возможность совместной подвески на одной опоре с телефонной линией, а также на опорах ВЛ 6(10) кВ с проводами с другим уровнем напряжения;
- уменьшение безопасных расстояний от зданий и инженерных сооружений;
- возможность применения существующих опор или новых опор меньшей высоты (для неизолированных проводов уровень подвески должен быть не менее 6,0 м, а для изолированного 4,0 м), а также уменьшение безопасных расстояний до зданий и других инженерных сооружений;
- увеличение длины пролетов до 60 м (это преимущество не распространяется на систему СИП с изолированным нулевым несущим проводником);

- эстетичность конструктивного исполнения ВЛИ в условиях жилой застройки при отказе от опор и монтаже линии по фасадам зданий;
- эстетичность исполнения воздушных линий уличного освещения;
- отсутствие необходимости в вырубке просеки перед монтажом;
- возможность монтажа изолированного провода по фасадам зданий;
- простота монтажных работ и, соответственно, уменьшение сроков строительства.

Вторая группа – преимущества эксплуатации и безопасность:

- высокая надежность в обеспечении электрической энергией в связи с низкой удельной поврежденностью;
- отсутствие многочисленных замен поврежденных изоляторов и дефектного провода;
- сокращение объемов и времени аварийно-восстановительных работ;
- резкое снижение (более 80 %) эксплуатационных затрат по сравнению с традиционными ВЛ. Это обуславливается высокой надежностью и бесперебойностью электроснабжения потребителей, а также отсутствием необходимости в расчистке просек в процессе эксплуатации линии;
- практическое исключение коротких междуфазных замыканий и замыканий на землю;
- уменьшение не менее чем на 30% гололедно-ветровых нагрузок на опору;
- высокая механическая прочность проводов и, соответственно, меньшая вероятность их обрыва;
- пожаробезопасность, исключение коротких замыканий при схлестывании проводов или перекрытии их посторонними предметами;
- адаптация к изменению режима и развитию сети;
- уменьшение безопасных расстояний до зданий и инженерных сооружений;
- возможность выполнения работ на ВЛИ под напряжением без отключения потребителей (подключение абонентов, присоединение новых ответвлений);
- значительное уменьшение случаев электротравматизма при ремонте и эксплуатации линии;
- обеспечение безопасности обслуживания и выполнения различных работ вблизи ВЛИ.

Третья группа – преимущества, влияющие на качество электрической энергии, снижение технических и коммерческих потерь в воздушных распределительных сетях напряжением до 1кВ;

– снижение падения напряжения на линии с использованием СИП вследствие малого реактивного сопротивления (0,1Ом/км по сравнению с 0,35Ом/км для голого провода);

– снижение коммерческих потерь электрической энергии. Существенно ограничен несанкционированный отбор электроэнергии, так как изолированные, скрученные между собой жилы исключают самовольное подключение к ВЛИ путем выполнения наброса на провода. Значительное снижение случаев вандализма и воровства. Температура плавления изоляции жил близка к температуре плавления алюминия. СИП не пригодны для вторичной переработки с целью получения цветного металла.

Наиболее эффективно применять СИП при новом строительстве и реконструкции ВЛ-0,4 кВ.

Наибольший эффект от применения защищенных проводов достигается на ВЛ, подверженных большим ветровым и гололедным нагрузкам; где часты схлестывания и пережоги проводов; при осуществлении совместной подвески с проводами ВЛ (ВЛИ) до 1кВ; при выполнении глубокого ввода напряжения 10 кВ в населенной местности; при сокращении ширины просек в лесных массивах, как это трактуют глава 2.5 ПУЭ [1] и другие НТД.

Преимущественное применение изолированной несущей жилы в СИП (более дорогой) рекомендуется только в районах с высокой агрессивностью внешней среды, а также при прохождении ВЛИ по территориям спортивных сооружений, школ, детских учреждений и т.п.

3.1 ВОЗДУШНЫЕ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1кВ

Конструктивно воздушные линии электропередачи напряжением до 1кВ с самонесущими изолированными проводами (ВЛИ) представляют собой воздушные линии электропередачи, выполненные на опорах с применением железобетонных, деревянных или металлических стоек, а также возможно к стенам зданий. К опорам или стенам посредством специальной арматуры подвешены самонесущие изолированные провода (СИП). Крепление СИП к

опорам осуществляется в основном с помощью металлоконструкций (крюков, бандажных лент и др.), поддерживающих и натяжных зажимов. Соединения и ответвления проводов осуществляются с помощью соединительных и ответвительных зажимов.

Конструкция СИП состоит из нулевого и фазных проводников, покрытых изоляционной оболочкой и скрученных в один жгут. Изоляционная оболочка может быть выполнена из светостабилизационного термопластичного или сшитого полиэтилена (XLPE-кабеля). Дополнительно к фазным проводникам в жгут могут быть включены 1–2 изолированных проводника для уличного освещения или контрольные кабели. В настоящее время распространены три основные системы СИП напряжением до 1кВ.

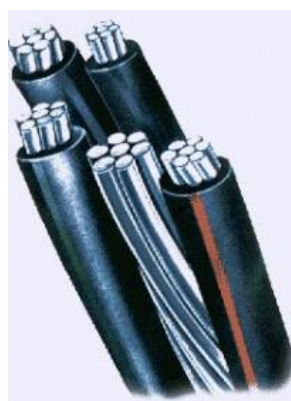


Рис. 55 Первая система самонесущих изолированных проводов напряжением до 1 кВ представляет собой изолированные фазные проводники, скрученные вокруг неизолированного нулевого проводника (жилы), который является несущим элементом конструкции (рис. 55). Подвеска жгута осуществляется за нулевой проводник. Нулевой проводник изготавливается из термоупроченного алюминиевого сплава, фазные проводники – из алюминия. Сечение нулевого несущего проводника, как правило, на одну ступень больше сечения фазных проводников. Например: СИП типа АМКА – Финляндия или СИП 2, отечественный аналог.



Рис. 56 Вторая система самонесущих изолированных проводов напряжением до 1кВ с изолированным нулевым несущим проводником (жилы) отличается от первой наличием изоляционного покрова на нулевом несущем проводнике (рис. 56). Изолированные токопроводящие жилы скручены вокруг нулевой несущей жилы. Скрутка жил имеет правое направление. Например: СИП Торсада – Франция или СИП 2А, отечественный аналог.

Третья система самонесущих изолированных проводов напряжением до 1кВ без несущего элемента (жилы) состоит из проводников одинакового сечения, покрытых изоляционной оболочкой и скрученных между собой. Все проводники, в том числе и нулевой, изготавливается из алюминия.

Подвеска жгута на промежуточных опорах и закрепление на анкерных осуществляется за все проводники одновременно.

В мире на ВЛИ до 1кВ применяются СИП различных конструкций:

– СИП с изолированной нулевой несущей жилой (Франция, Греция, Италия, Испания, Аргентина, Бельгия, Бразилия, Индонезия, Израиль, Малайзия, Монголия, Шри-Ланка, Польша, Португалия, Россия, Казахстан, Грузия, Молдавия, Белоруссия).

– СИП с неизолированной нулевой несущей жилой (Финляндия, Южно-африканская республика, Чехия, Россия).

– СИП без несущей нулевой жилы из сплава (Австрия, Германия, Швеция, Норвегия, Польша, Украина).

Марки проводов, распространенные в настоящее время в России:

– АМКА производства Финляндии, СИП-1, СИП-2 (ТУ 16.К-71-268-98) с неизолированным несущим нулевым проводником;

– АМКА-Т производства Финляндии, TORSADA - Франции, СИП-1А, СИП-2А, СИП-2 (ГОСТ Р 52373-2005) с изолированным несущим нулевым проводником;

– ALUS производства Швеции, EX - Норвегии, AsXS, AsXS_n - Польши, СИП-4, СИП_n-4, СИП_c-4, СИП-2AF без несущего элемента;

– SAX, SAX-W производства Финляндии, СИП-3, ЗАЛП, ЗАЛП-В – защищенные изолированные провода.

3.2 ПРИМЕНЕНИЕ ПРОВОДОВ СИП

Данные по применению проводов СИП приведены в табл. 2.

Таблица 2

Марка провода	Наименование	Преимущественные области применения
СИП-1А	Провод самонесущий с алюминиевыми фазными токопроводящими жилами, с изоляцией из светостабилизированного термопластичного полиэтилена (ПЭ), с нулевой несущей жилой из алюминиевого сплава, изолированной светостабилизированным термопластичным ПЭ.	Для воздушных линий электропередачи и ответвлении к вводам в жилые здания, хозяйственные постройки в районах с умеренным и холодным климатом, в атмосфере воздуха типов II и III по ГОСТ 15150-69.

Продолжение таблицы 2

СИП-2А	То же, с изоляцией из светостабилизированного сшитого ПЭ.	То же.
СИП-2 (ГОСТ Р 52373-2005)	То же, с изоляцией из светостабилизированного сшитого ПЭ.	То же.
АМКА-Т	Провод самонесущий с алюминиевыми фазными токопроводящими жилами, с изоляцией из светостабилизированного термопластичного полиэтилена (ПЭ), с нулевой несущей жилой из алюминиевого сплава, изолированной светостабилизированным термопластичным ПЭ.	Аналогично СИП-2А, СИП-2АФ, а также для сооружений ВЛИ в условиях тропического климата.
ТОРСАДА	То же.	Аналогично СИП-2А, а также для сооружений ВЛИ в условиях тропического климата.
СИП-4	Провод самонесущий без несущего элемента с алюминиевыми токопроводящими жилами, с изоляцией из светостабилизированного термопластичного полиэтилена (ПЭ).	Для воздушных линий электропередачи и ответвлений к вводам в жилые здания, хозяйственные постройки в районах с умеренным и холодным климатом, в атмосфере воздуха типов II и III по ГОСТ 15150-69.
СИПс-4	То же, с изоляцией из светостабилизированного сшитого ПЭ.	То же, а также для прокладки в пожароопасных зонах.
СИПн-4	То же, с изоляцией из полимерной композиции не распространяющей горение.	То же, а также для прокладки в пожароопасных зонах.
СИП-2АФ	Провод самонесущий с алюминиевыми фазными и нулевой жилами изолированными светостабилизированным сильносшитым полиэтиленом без отдельного несущего проводника.	Для воздушных линий электропередачи и ответвлений к вводам в жилые здания, хозяйственные постройки в районах с умеренным и холодным климатом, в атмосфере воздуха типов II и III по ГОСТ 15150-69.
AsXS	Аналогично СИПс-4.	Аналогично СИПс-4.
AsXSн	Аналогично СИПс-4.	Аналогично СИПс-4.

Продолжение таблицы 2

СИП-1	Провод самонесущий с алюминиевыми фазными токопроводящими жилами, с изоляцией из светостабилизированного термопластичного полиэтилена (ПЭ), с нулевой несущей неизолированной жилой из алюминиевого сплава.	Для воздушных линий электропередачи и ответвлении к вводам в жилые здания, хозяйственные постройки в районах с умеренным и холодным климатом, в атмосфере воздуха типов II и III по ГОСТ 15150-69.
СИП-2(ТУ 16.1К-71-268-98)	То же, с изоляцией из светостабилизированного сшитого ПЭ.	То же.
АМКА	Провод самонесущий с алюминиевыми фазными токопроводящими жилами, с изоляцией из светостабилизированного сшитого ПЭ, с нулевой несущей неизолированной жилой из алюминиевого сплава.	Аналогично СИП-2.
СИП-3	Провод из термоупрочненного алюминиевого сплава с изоляцией из атмосферостойкого светостабилизированного полиэтилена.	Для воздушных линий электропередачи 6-20 кВ в районах с умеренным и холодным климатом, в атмосфере воздуха типов II и III по ГОСТ 15150-69.
SAX	Аналогично СИП-3.	То же.
ЗАЛП	Многопроволочная уплотненная токопроводящая жила из алюминиевого сплава с изолирующей защитной оболочкой из сшитого светостабилизированного полиэтилена.	То же.
ЗАЛП-В	То же, с водоблокирующим элементом, препятствующего продольному распространению влаги по токопроводящей жиле	То же.

До введения в действие (с 01.07.2006 г.) ГОСТ Р 52373-2005 «Провода самонесущие изолированные и защищенные для воздушных линий электропередачи» и нового ТУ 16-705.500-2006 в России изготавливались СИП напряжением до 1 кВ по ТУ 16.К-71-268-98 «Провода самонесущие изолированные типа «АВРОРА».

В соответствии с ТУ 16.К-71-268-98 СИП имели следующие обозначения:

СИП-1 – с применением светостабилизированного термопластичного полиэтилена;

СИП-2 – с применением светостабилизированного сшитого полиэтилена;

СИП-4 – так называемые «4-х проводные – СИП» – без отдельно выполненной несущей жилы.

С добавлением буквы «А» к цифрам 1 или 2, обозначали СИП с изолированной несущей нулевой жилой.

В соответствии с новым ГОСТ Р 52373-2005 СИП подразделяются:

а) по назначению:

– самонесущие изолированные провода – для воздушных линий электропередачи на напряжение до 0,6/1кВ включительно;

– защищенные провода – для воздушных линий электропередачи на напряжение 10, 20 и 35кВ;

б) по конструктивному исполнению:

– с неизолированной нулевой несущей жилой СИП-1;

– с изолированной нулевой несущей жилой СИП-2;

– с защитной изоляцией (защищенные провода) СИП-3;

– без нулевой несущей жилы СИП-4.

Особенности конструкции проводов по ГОСТ Р 52373-2005:

– изоляция жил – только из вулканизированного (сшитого) ПЭ;

– несущая жила – только из алюминиевого сплава;

– номинальное сечение токопроводящих жил проводов без нулевой несущей жилы – только 16 или 25мм²;

– сечение вспомогательных жил освещения установлено до 35мм² включительно;

– в состав проводов могут быть включены вспомогательные медные однопроводочные жилы для цепей контроля. Сечение жил: 1,5; 2,5; 4мм²;

– расширен диапазон сечений основных жил 16÷240 мм²;

– расширен диапазон сечений несущих жил и жил защищенных проводов: 16÷240 мм² ;

– для вспомогательных жил освещения предусмотрена маркировка В1, В2, В3;

– провода должны быть стойкими к воздействию температуры окружающей среды от –60°С до +50°С;

– срок службы провода не менее 40 лет.

Марки проводов, их наименование и преимущественная область применения приведены в табл. 3.

Таблица 3

Марка провода	Наименование	Преимущественные области применения
СИП-1	Провод самонесущий с алюминиевыми жилами, с изоляцией из светостабилизированного сшитого полиэтилена (ПЭ), с нулевой несущей неизолированной жилой из алюминиевого сплава.	Для магистралей воздушных линий электропередачи (ВЛ) и линейных ответвлений от ВЛ в атмосфере воздуха типов I и II по ГОСТ 15150-69.
СИП-2	То же, с нулевой несущей жилой из алюминиевого сплава, изолированной светостабилизированным сшитым ПЭ.	Для магистралей ВЛ и линейных ответвлений от ВЛ в атмосфере воздуха типов II и III по ГОСТ 15150-69, в том числе на побережьях морей, соленых озер, в промышленных районах и районах засоленных песков.
СИП-3	Провод самонесущий защищенный с токопроводящей жилой из алюминиевого сплава, с защитной изоляцией из светостабилизированного сшитого ПЭ.	Для ВЛ на номинальное напряжение 10-35 кВ в атмосфере воздуха типов II и III по ГОСТ 15150-69, в том числе на побережьях морей, соленых озер, в промышленных районах и районах засоленных песков.
СИП-4	Провод самонесущий изолированный без несущего элемента, с алюминиевыми токопроводящими жилами, с изоляцией из светостабилизированного сшитого ПЭ.	Для ответвлений от ВЛ к вводу и для прокладки по стенам зданий и инженерных сооружений в атмосфере воздуха типов II и III по ГОСТ 15150-69.

Провода марок СИП-1 и СИП-2 с нулевой несущей жилой сечением 50мм^2 и более могут изготавливаться с 1, 2 или 3 вспомогательными жилами.

Номинальное сечение вспомогательных жил для цепей наружного освещения 16, 25 или 35мм^2 , для цепей контроля – 1,5; 2,5 или 4мм^2 .

Технические и эксплуатационные характеристики проводов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Марка провода	Число и номинальное сечение фазных и нулевой несущей жил, шт. \times мм ²	Расчетный наружный диаметр провода, мм	Токовая нагрузка ⁽¹⁾ , А	Ток короткого замыкания ⁽¹⁾ , кА	Масса ⁽²⁾ , кг/км
СИП-1А, СИП-2А, АМКА-Т, СИП-1, СИП-2, АМКА	1 \times 16 + 1 \times 25	15	75/105	1,0/1,5	159/158
	3 \times 16 + 1 \times 25	22	70/100	1,0/1,5	294/290
	3 \times 25 + 1 \times 35	26	95/130	1,6/2,3	434/429
	3 \times 35 + 1 \times 50	30	115/160	2,3/3,2	600/575
	3 \times 50 + 1 \times 70	35	140/195	3,2/4,6	816/810
	3 \times 70 + 1 \times 95	41	180/240	4,5/6,5	1122/1363
	3 \times 120 + 1 \times 95	46	250/340	5,9/7,2	1620/1580
СИП-1А, СИП-2А, СИП-1, СИП-2, АМКА	4 \times 16 + 1 \times 25	22	70/100	1,0/1,5	362/357
СИП-1А, СИП-2А, СИП-1, СИП-2	4 \times 25 + 1 \times 35	26	95/130	1,6/3,2	535/528
СИП-4, СИПн-4, СИПс-4	2,3,4 \times 16	13	70/100	1,0/1,5	-
	2,3,4 \times 25	15	95/130	1,6/2,3	-
СИП-3	1 \times 50	16	245	4,3	239
	1 \times 70	17	310	6,4	304
	1 \times 95	19	370	8,6	383
	1 \times 120	20	430	11,0	461
	1 \times 150	22	485	13,5	552

Примечание:

⁽¹⁾ – для дробных величин, числовое значение в числителе соответствует маркам провода СИП-1и СИП-1А, соответственно, числовое значение в знаменателе маркам провода СИП-2и СИП-2А;

⁽²⁾ – для дробных величин, числовое значение в числителе соответствует марке провода СИП-1, соответственно, числовое значение в знаменателе марке провода СИП-2.

Примеры записи условного обозначения:

– провода самонесущего изолированного марки СИП-1 с тремя основными жилами номинальным сечением 95мм², на номинальное напряжение 0,6/1кВ:

«Провод СИП-1 3 \times 70+1 \times 95-0,6/1 ТУ 16-705.500-2006-2006»;

– провода самонесущего изолированного марки СИП-2 с тремя основными жилами номинальным сечением 50мм², с изолированной несущей жилой

номинальным сечением 70мм^2 , с двумя вспомогательными жилами номинальным сечением 16мм^2 , на номинальное напряжение 0,6/1кВ:

«Провод СИП-2 $3\times 50+1\times 70+2\times 16-0,6/1$ ТУ 16-705.500-2006-2006»;

– провода защищенного марки СИП-3 с жилой номинальным сечением 120мм^2 , на номинальное напряжение 20кВ:

«Провод СИП-3 $1\times 120-20$ ТУ 16-705.500-2006-2006».

3.3 МОНТАЖ ВЛИ НАПРЯЖЕНИЕМ ДО 1кВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИП

Монтаж СИП рекомендуется производить с соблюдением технологий, приведенных в действующих технических и методических документах используемых при монтаже, с применением специальной линейной арматуры, механизмов, приспособлений и инструмента, при температуре окружающего воздуха не ниже минус 20°C . При этом необходимо соблюдать следующие основные требования:

– тщательно подготовить трассу ВЛИ, выполнить расчистку просеки, удалив деревья или крупные ветви, мешающие установке опор, раскатке и регулировке проводов;

– при сооружении ВЛИ взамен пришедшей в негодность по той же трассе конструкции старой линии должны быть демонтированы до начала установки новых опор;

– принять меры для исключения повреждения изолирующего покрытия проводов при их раскатке и регулировке, исключить касание земли, бетонных и металлических конструкций, крупных ветвей деревьев;

– раскатку проводов производить под тяжением;

– строго соблюдать монтажные усилия и стрелы провеса при регулировке проводов, не допускать перетяжку проводов.

До начала сооружения линии должны быть выполнены следующие работы:

– подготовлена трасса ВЛИ;

– собраны и установлены в проектное положение опоры;

– выполнено устройство защит на переходах через инженерные сооружения;

– на вводах в здания установлена необходимая арматура для анкерного крепления проводов вводов;

– доставлены на трассу барабаны с СИП и механизмы для их раскатки.

Этапы монтажных работ по установке СИП:

1. Установка опор.
2. Монтаж крепежных устройств.
3. Размотка провода.
4. Натяжение самонесущего изолированного провода и его анкерное закрепление.
5. Обустройство линейных ответвлений от магистрали.
6. Защита линии от перенапряжений и коротких замыканий. Заземление.
7. Подключение уличных светильников и трансформаторных вводов.
8. Приемка в эксплуатацию.
9. Техническое обслуживание и эксплуатация.

3.3.1 УСТАНОВКА ОПОР

Линии с СИП позволяют использовать разнообразные опоры, в том числе и существующие. Опоры устанавливаются согласно проекту и могут быть выполнены на основе стоек: железобетонных, деревянных или металлических.

В зависимости от назначения, опоры делятся на промежуточные, анкерные, угловые, концевые и специальные.

Промежуточные опоры устанавливают на прямых участках трассы воздушной линии. Они воспринимают вертикальные нагрузки от массы провода, арматуры, а также горизонтальные нагрузки от давления ветра на провода и опору. Имеют легкую конструкцию. В аварийном режиме при обрыве проводов воспринимают нагрузку от тяжения оставшихся проводов и подвергаются кручению и изгибу.

Анкерные опоры устанавливают на прямых участках трассы для перехода ВЛИ через инженерные сооружения или естественные преграды. Опоры воспринимают продольную нагрузку от разности тяжения проводов в смежных анкерных пролетах. Конструкция требует быть жесткой и прочной.

Угловые опоры устанавливаются на углах поворота трассы ВЛИ и воспринимают равнодействующую силу тяжения проводов смежных

пролетов, направленную по биссектрисе внутреннего угла поворота линии. Бывают промежуточными или анкерными:

- угловые промежуточные опоры устанавливаются при небольших углах поворота трассы, с небольшими нагрузками;
- угловые анкерные опоры устанавливаются при больших углах поворота трассы.

Концевые опоры являются разновидностью анкерных и устанавливаются в начале и конце линии. Воспринимают нагрузку от одностороннего тяжения проводов.

Специальные опоры:

- транспозиционные – для изменения порядка расположения проводов на опорах,
- ответвительные – для устройства ответвлений от магистральной линии,
- перекрестные – для скрещивания линий,
- противоветровые – для усиления устойчивости анкерных участков, опоры больших пролетов, и др.

При установке опор следует учитывать, что расстояния по горизонтали от подземных частей опор или заземлителей опор до подземных кабелей, трубопроводов и наземных колонок различного назначения должны быть не менее:

- водо-, паро- и теплопроводы, распределительные газопроводы, канализационные трубы – 1 м;
- пожарные гидранты, колодцы, люки канализации, водоразборные колонки – 2 м;
- кабели (кроме кабелей связи, сигнализации и проводного вещания) – 1 м;
- то же, но при прокладке в изоляционной трубе – 0,5 м.

3.3.2 МОНТАЖ КРЕПЕЖНЫХ УСТРОЙСТВ

Монтаж СИП к опорам электропередач предусматривает специальную арматуру, стойкую к ультрафиолетовому излучению и факторам внешней среды. В зависимости от назначения, арматуру разделяют на арматуру для натяжки, поддержания провода, элементы крепления к опорам или стенам зданий, арматуру для электрического соединения проводов и вспомогательное оборудование. Монтаж крепежных устройств включает в себя закрепление на опорах, на фасадах зданий и сооружений металлических

кронштейнов или крюков, используемых для фиксации изолированных зажимов, которые удерживают СИП.

Типы кронштейнов для каждого места закрепления комплектуются в строгом соответствии с проектом на ВЛИ и учетом технических характеристик устанавливаемых кронштейнов на выдерживаемую механическую нагрузку.

Закрепление кронштейнов на опорах, не имеющих технологических отверстий и на деревянных опорах, осуществляется с помощью стальной ленты из нержавеющей стали, на фасадах зданий – с помощью анкерных болтов либо шурупов.

Расположение крепежных элементов должно учитывать, какая арматура на них будет крепиться и ее количество. Необходимо обязательно учесть минимальные расстояния будущей изолированной линии до других объектов, линий, располагающихся совместно и по пересечению.

При совместной подвеске:

- провода воздушной линии высшего напряжения должны располагаться на опорах выше линии низшего напряжения;

- изолированные провода наружного освещения, прокладываемые на опорах ВЛИ, могут размещаться выше или ниже СИП, могут быть скрученными в жгут с СИП;

- изолированные провода наружного освещения на опорах неизолированной ВЛИ должны располагаться над PEN(PE) неизолированным проводником;

- расстояние по вертикали между изолированными и неизолированными проводами ВЛИ разных фаз на опоре при ответвлении от ВЛИ и при пересечении разных ВЛИ на общей опоре должно быть не менее 10 см;

- наименьшие расстояния от СИП до поверхности земли или воды, а также до различных сооружений при прохождении над ними воздушной линии определяется при высшей температуре воздуха без учета нагрева проводов электрическим током;

- расстояние по вертикали от проводов изолированной ВЛИ до поверхности земли в населенной и ненаселенной местности до земли и проезжей части улиц должно быть не менее 5 м. В труднодоступной местности – 2,5 м, в недоступной (скалы, утесы, склоны гор) – 1 м.

Расстояние по вертикали между проводами пересекающихся линий должно быть не менее 0,1 м на опоре и 1 м в пролете.

На опорах, где предполагается присоединение ответвлений к ВЛИ необходимо учесть следующие допуски:

- расстояние по вертикали между изолированными и неизолированными проводами ВЛИ разных фаз на опоре при ответвлении от ВЛИ и при пересечении разных ВЛИ на общей опоре должно быть не менее 10 см;

- расстояния от проводов ВЛ до любых элементов опоры должно быть не менее 5 см;

- при пересечении непроезжей части улиц ответвлениями от ВЛИ к вводам в здания расстояния от СИП до тротуаров пешеходных дорожек должно быть не менее 3,5 м;

- расстояние по вертикали от проводов изолированной ВЛИ до поверхности земли в населенной и ненаселенной местности до земли и проезжей части улиц должно быть не менее 5 м;

- расстояние от СИП и изолированных проводов до поверхности земли на ответвлениях к вводу должно быть не менее 2,5 м;

- расстояние по горизонтали от СИП при наибольшем их отклонении до элементов зданий и сооружений должно быть не менее 1 м до балконов, террас и окон и 0,2 м до глухих стен зданий, сооружений.

3.3.3 РАЗМОТКА ПРОВОДА

Размотка жгута СИП осуществляется непосредственно с барабана (рис. 57, поз. 1), закрепленного на раскаточной тележке, с помощью механической лебедки (рис. 57, поз. 7), установленной с противоположного от барабана конца линии, с использованием раскаточных роликов (рис. 57, поз. 4), закрепленных на опорах монтируемого участка.

Для свободного прохождения жгута СИП через ролики применяются:

- вспомогательный трос, как правило, из синтетического волокна, называемый тросом-лидером, который при размотке СИП наматывается на вал механической лебедки (рис. 4); трос-лидер диаметром 10 мм и длиной 30÷50 м предназначен для раскатки СИП вручную; трос диаметром 12 мм и длиной 300 м и более, предназначен для раскатки с применением механизмов.

- комплект "вертлюг-монтажные чулки" (рис. 57, поз. 6) для протяжки СИП

через ролики, обеспечивает удержание конца жгута СИП в сжатом состоянии и не позволяет жгуту перекручиваться при его протяжке.

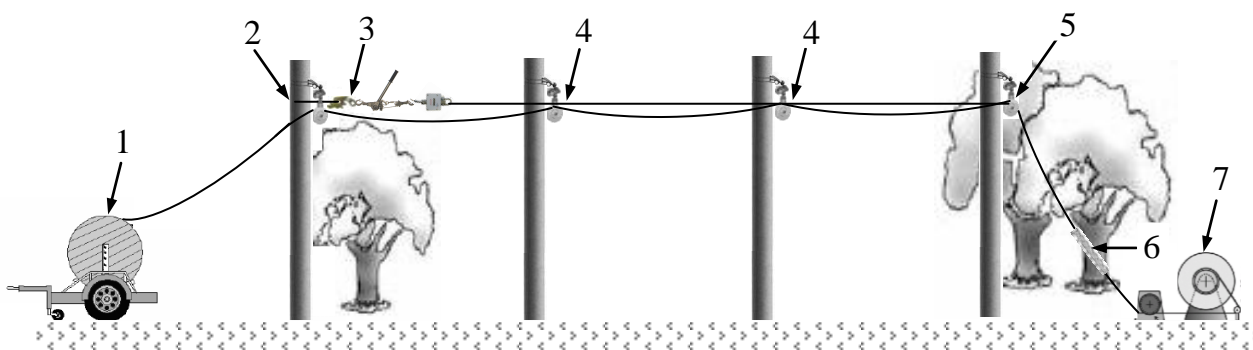


Рис. 57. 1 – раскаточная тележка; 2 – начальная опора; 3 – комплект инструментов для натяжения; 4 – промежуточная опора; 5 – конечная опора; 6 – комплект "вертлюг-монтажные чулки"; 7 – механическая лебедка.

3.3.3.1 ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ РАЗМОТКИ

А) Раскаточная тележка или прицеп для барабана с СИП.

Раскаточная тележка (рис. 57, поз. 1) – передвижная платформа, установленная на небольшом автомобильном прицепе, имеющая специальное устройство для фиксации вала и его торможения, в котором закрепляется вращающийся барабан с самонесущим проводом.

Б) Раскаточный ролик.

Ролики раскаточные (рис. 58) предназначены для раскатки СИП на прямых участках линии как при малых углах до 30° – РМ-1(РТ2), так и при больших углах до 90° – РМ-2(РТ5).



РМ – Ролик монтажный для раскатки проводов СИП.

Наименование – РМ-1. Аналог – РТ-2. Применяется для раскатки СИП и оптоволоконного кабеля по опорам.

Пластиковый диск из термо-ударостойкого полимера.

Отбортовка по внешнему диаметру пластикового диска

Рис. 58 обеспечивает защиту от сползания провода при раскатке.

С наружной стороны к диску при помощи болтового соединения прикреплены два стальных подвеса, обеспечивающих надежное крепление ролик анна опоре.

Монтаж на линиях с углами до 30° . Максимальная нагрузка 20кН.

Максимальный диаметр кабеля 50мм.

Состав комплекта и количество раскаточных роликов типа RT2 и RT5 зависят от числа промежуточных, анкерных, угловых анкерных и других



сложных опор в анкерном пролёте. Ролики крепятся на опорах таким образом, чтобы ось жгута СИП была на уровне лодочки поддерживающего зажима. Это делается для снижения усилий на зажимы при перекладке и во избежание неправильной регулировки зажимов на угловых промежуточных опорах. Ролики RT2 крепятся (рис. 59) за кронштейн (КА-1500) предназначенный для крепления анкерных зажимов, при этом значительно сокращается время раскатки СИП. Ролики RT2 применяются, в основном, на промежуточных опорах.

Ролики для раскатки RT5, крепятся прямо на стойках опорах при помощи устройства крепления с ремнём. Ролики RT5 применяются, главным образом, на анкерных и других сложных опорах.



КА – кронштейн для крепления анкерных зажимов. Наименование – КА-1500 (рис. 60). Аналог – СА1500. Предназначен для крепления анкерных зажимов к опорам ВЛИ или фасадам зданий.

Рис. 60 Кронштейн представляет собой моноблок из коррозионностойкого алюминиевого сплава.

Крепление осуществляется двумя болтами диаметром 14 или 16мм, либо с помощью двух бандажей из нержавеющей ленты 20×0,7мм.

Конфигурация кронштейна обеспечивает удобное перемещение по опоре, позволяет закрепить монтажный ролик для раскатки СИП.

Обеспечивает крепление одного или двух анкерных зажимов.

Рассчитан на механические усилия, создаваемые при раскатке.

С) Комплект "вертлюг-монтажные чулки".

Вертлюг монтажный типа ВМ-15 – стыковочный элемент, устанавливаемый с помощью чулок между разматываемым СИП и вспомогательным тросом и предотвращающий раскручивание жгута СИП при раскатке.

Вертлюг крепится за грузовые кольца монтажных чулок между скруткой СИП и тросом-лидером.



ВМ – вертлюг монтажный.

Наименование – ВМ-15 (рис. 61). Аналог – EMD15.

Предназначен для предотвращения образования петель и раскручивания СИП при раскатке.

Рис. 61

Плавное вращение благодаря подшипнику.

Диаметр троса-лидера до 12мм.

Рабочая нагрузка: 15кН.

Разрушающая нагрузка: 60кН.

Чулки монтажные предназначены для захвата несущей нейтрали или скрутки СИП и соединения их с тросом-лидером при раскатке СИП в анкерном пролете.

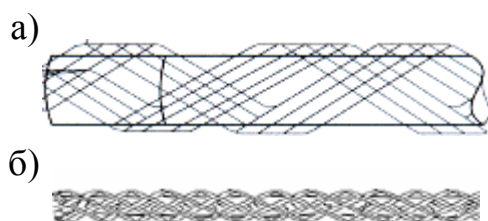


Рис. 62

Защитный чулок типа TCSB38 (рис. 62, а), TCSB50 предназначен для захвата и протягивания конца жгута СИП.

Защитный чулок типа TCSB15(рис. 62, б), предназначен для защиты несущей нулевой жилы, а чулок типа TCSB20(CN1700) – для защиты трос-лидера.

Комплект "вертлюг-монтажные чулки" (рис. 63) типа ЕТС для захвата и протягивания СИП с изолированной несущей нейтралью имеет различные модификации в зависимости от диаметра основных жил СИП (табл. 5):



рис. 63

Таблица 5

Обозначение	Сечение проводов, мм ²	Компоненты
ЕТС70	< 3×70	2× TCSB15 + TCSB38 + EMD15
ЕТС150	3×70 ÷ 3×150	2× TCSB15 + TCSB50 + EMD15
ЕТС185	3×150 ÷ 3×185	2× TCSB20 + TCSB50 + EMD15

Д) Трос вспомогательный.

Вспомогательным тросом может служить любой достаточно прочный трос с сечением не менее 11мм^2 , выдерживающий силу растяжения не менее 400 кгс. Конструкция троса и материал, из которого он сделан, должны обеспечивать удобное оперирование с ним. Он не должен запутываться при его размотке с барабана лебедки, а также при случайном его освобождении.

Для раскатки СИП могут применяться стальные и пластиковые тросы, например, компании Lancier Cable.

Е) Механическая лебедка.

Механическая лебедка используется для раскатки проводов СИП путем наматывания на ее рабочий барабан вспомогательного троса, соединенного с СИП посредством комплекта "вертлюг-монтажные чулки". Эта лебедка при натяжении и раскатке провода обеспечивает постоянное натяжение вспомогательного троса во время всей процедуры раскатки. Возможно использование лебедок различных модификаций и закрепляемых, к примеру, на опорах, на автомобильных прицепах, в кузове грузового автомобиля.

Важно, чтобы механическая лебедка обеспечивала достаточную силу натяжения, гарантирующую размотку провода без провисания. Так для провода $3\times 35+50+16$ достаточна сила натяжения 300 кгс, в то время как для $3\times 120+95$ – уже 400 кгс.

3.3.3.2 ПОРЯДОК РАЗМОТКИ СИП

Размотка СИП (рис. 57) выполняется в следующей последовательности:

- с одного конца монтируемого участка устанавливается барабан с СИП на раскаточной тележке,
- с другого конца участка устанавливается механическая лебедка со вспомогательным тросом,
- закрепляются на опорах раскаточные ролики, начиная с опоры со стороны лебедки, одновременно в них заправляется вспомогательный трос, разматываемый с барабана лебедки,
- после подтягивания троса к барабану с СИП на конце троса закрепляется монтажный чулок для троса из комплекта "вертлюг-монтажные чулки",
- на конце жгута СИП закрепляется монтажный чулок для защиты СИП из комплекта "вертлюг-монтажные чулки",

– с помощью механической лебедки жгут СИП протягивается через все ролики и размотка прекращается, когда жгут пройдет последний ролик и немного опустится в сторону лебедки.

3.3.3.3 ПРАВИЛА РАЗМОТКИ СИП

При размотке провода необходимо придерживаться общепринятых правил и рекомендаций:

1. Применение раскаточных роликов обязательно, поскольку, имея рабочие поверхности, покрытые пластиком, они предотвращают повреждение изоляции раскатываемых проводов.

2. Недопустима размотка СИП на земной поверхности, поскольку это может привести к повреждению и загрязнению изоляции проводов. В случае последнего при монтаже прокалывающих зажимов электрическое сопротивление контакта между зубьями зажима и проводниками СИП будет больше расчетного, а это приведет к дополнительным электрическим потерям и к преждевременному выходу из строя ВЛИ.

3. Обязательное применение вертлюга при размотке СИП предотвращает самопроизвольное раскручивание проводов в жгуте.

Если для размотки не применять вертлюг, то в отдельных местах между проводниками могут появиться заметные просветы, в которых при не расчетных механических воздействиях на ВЛИ (сильный ветер, падение дерева и т. д.) возникает опасность обрыва отдельного провода.

4. Обязательно применять монтажный чулок для жгута СИП, поскольку это ускоряет процесс раскатки и предохраняет изоляцию СИП от механических повреждений за счет равномерного распределения механической нагрузки вдоль жгута СИП при его размотке.

3.3.4 НАТЯЖЕНИЕ СИП И ЕГО АНКЕРНОЕ КРЕПЛЕНИЕ

После размотки жгута самонесущего провода на роликах, закрепленных на опорах, необходимо на конечной опоре (рис. 64) закрепить несущий провод анкерным зажимом типа ЗАН. При этом механическая лебедка через комплект "вертлюг-монтажные чулки" (рис. 63) должна удерживать линию в натянутом положении.

Далее с помощью комплекта инструментов для натяжения: ручной лебедки ЛР-15, закрепленной на ближней опоре (рис. 65), и натяжного

устройства МЗ-22 – линия натягивается до требуемого проектной документацией значения силы натяжения, что контролируется с помощью динамометра ЭДР-20.

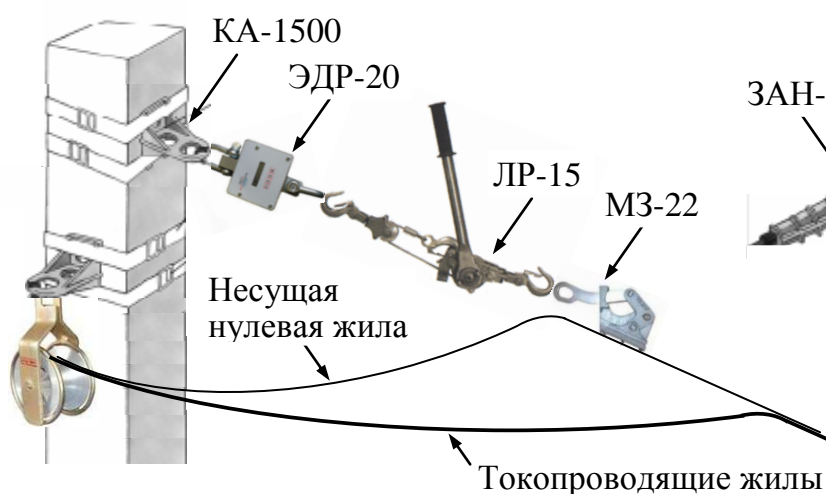


рис. 65

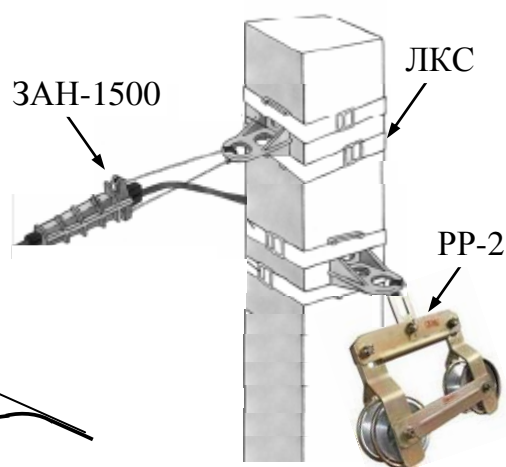


рис. 64



Рис. 66

ЗАН – зажим анкерный для изолированной несущей нейтрали (рис. 66).

Наименование – ЗАН-1500. Аналог – РА 1500. Предназначен для крепления СИП с изолированной несущей нейтралью к кронштейнам и крюкам опор линии ВЛИ. Зажим представляет собой литой корпус из коррозионностойкого алюминиевого сплава, тросика из нержавеющей стали и полимерных клиньев.

Саморегулируемые клинья из полимера, стойкого к ультрафиолетовому излучению и погодно-климатическим условиям, зажимают провода нейтрали без повреждения изоляции.

Гибкий тросик с изолированным погодостойким седлом позволяет монтировать до трех зажимов на кронштейне. Зажим не имеет выпадающих деталей.



Рис. 67

ЛР – ручная лебедка (рис. 67).

Наименование – ЛР-15. Применяется для создания усилий при монтаже провода СИП. Лебедка имеет храповый механизм с переключателем, обеспечивающий как пошаговое натяжение, так и отдачу.

Работа лебедки возможна в двух режимах – с блоком и без блока.



Рис. 68

МЗ – монтажный зажим (лягушка) для СИП (рис. 68).
Наименование – МЗ-22. Применяется при регулировке стрелы провеса на линиях СИП путем захвата за несущую жилу.

Рычажное устройство преобразует усилие тяги в усилие захвата.

Тяговые зажимы при работе не повреждают изоляцию провода СИП.

Диаметр зажимаемой жилы: 4 ÷ 22мм. Рабочая нагрузка: 15кН.



Рис. 69

ЭДР – динамометр электронный (рис. 69).

Наименование – ЭДР-20. Предназначен для измерения усилия в проводе СИП при его раскатке и креплении на опорах ВЛИ. Состоит из силового блока с терминалом. Позволяет предотвратить нарушение габаритов СИП, возникновение недопустимых нагрузок и воздействий на опоры ВЛИ.

Силовой блок включается в разрыв силовой схемы и преобразует создаваемое усилие в электрический сигнал с последующей индикацией на терминале. Диапазон измерения силы натяжения: 0,1 ÷ 20кН.



Рис. 70

ЛКС – лента крепежная из нержавеющей стали (рис. 70).

Наименование – ЛКС-2007. Аналог – F2007. Предназначена для крепления анкерных кронштейнов, крюков на опорах линий электропередач.

Лента изготовлена из нержавеющей стали, устойчива к коррозии, воздействию экстремальных температур, влажности и радиации. Выдерживает значительные механические нагрузки.

Натянутая ручной лебедкой линия на ближней (начальной) опоре закрепляется с помощью анкерного зажима ЗАН (рис. 71).

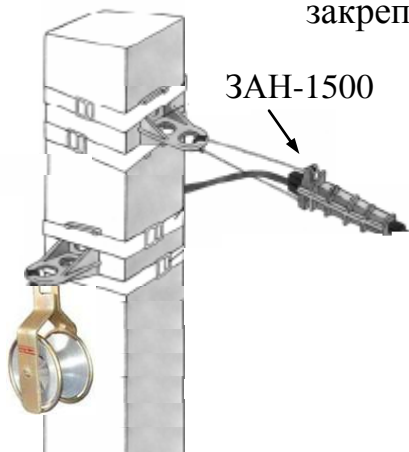


рис.71

СИП на конечной опоре освобождается из монтажного чулка, и, если это необходимо, концы проводников как фазных, так и нейтрального изолируются с помощью наконечников или колпачков (концевых кап) типа КИ (эластомерные) либо 102L (термоусаживаемые). На ближайшей опоре оставляется заданный запас провода СИП, остальной провод отрезается с помощью секторных ножниц, например типа НСТ-38.

3.3.4.1 ЗАМЕНА РОЛИКОВ НА ПОМЕЖУТОЧНЫЕ ЗАЖИМЫ

После выполнения натяжения СИП и закрепления его анкерными зажимами, на концевых опорах необходимо заменить ролики на промежуточные зажимы на опорах промежуточных и, при необходимости, на угловых.

Для закрепления нейтрали на прямолинейных участках и участках с небольшими изгибами ВЛИ (угол изгиба менее 30° при изгибе в сторону опоры и менее 50° в сторону, противоположную от опоры) используются те зажимы, которые были смонтированы на этапе монтажа крепежных элементов. Ими могут быть, в зависимости от сечения СИП, зажимы типа КПП, представляющие собой узел в сборе с кронштейном промежуточным.



КПП – комплект промежуточной подвески (рис. 72).

Наименование – КПП-1500. Аналог – ES1500E. Предназначен для поддерживающего крепления изолированной несущей нейтрали СИП на промежуточных опорах.

Комплект представляет собой полимерный зажим, выполненный из изолирующего материала, стойкого к погоднo-климатическим условиям, и металлический кронштейн в сборе.

Нейтраль фиксируется регулируемым зажимом. Подвижное соединение позволяет зажиму двигаться в продольном направлении. Стопорные пальцы на крепежном кольце кронштейна ограничивают поперечное смещение зажима при боковых нагрузках.

Для закрепления нейтрали СИП в промежуточном зажиме ES 1500 необходимо предварительно раскрыть фиксатор зажима и в открывшееся ложе зажима вставить нейтральный провод (рис. 73, а). Затем этот провод



Рис. 73

прижимается к ложу зажима фиксатором, который дожимается до упора (рис. 73, б).

Крепление подвески КПП-1500 к опоре осуществляется болтом диаметром 16 мм или с помощью ленты из нержавеющей стали 20×0,7 мм.

При значительных углах изгиба ВЛИ (при углах изгиба больших, чем указано выше) и на угловых опорах необходимо использовать зажимы анкерные типа ЗАН (РА1000, РА1500, РА2000).

Закрепление нейтрали СИП в анкерном зажиме на промежуточной опоре выполняется по аналогии с предыдущим этапом, где выполнялось анкерное закрепление.

Анкерный зажим РА1500 посредством стального канатика крепится к анкерному кронштейну СА1500, а затем натянутый нейтральный провод заклинивается двумя клиньями анкерного зажима (рис. 74).

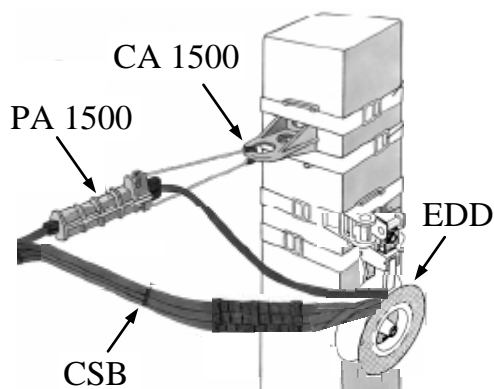


Рис. 74

С обеих сторон от зажимов (как промежуточного, так и анкерного) на расстоянии 20...30 см от них жгут СИП необходимо стянуть кабельными ремешками типа CSB, что в дальнейшем предотвратит смещение проводников СИП друг относительно друга под воздействием внешних факторов (ветровой нагрузки и пр.).

После того как нейтральный провод будет снят с ролика и закреплен в зажиме, монтажный ролик типа EDD (RT2, RT5) можно снять с опоры.

3.3.5 ОБУСТРОЙСТВО ЛИНЕЙНЫХ ОТВЕТВЛЕНИЙ ОТ МАГИСТРАЛИ

Ответвления от магистрали ВЛИ в виде линейного ответвления или ответвления от ВЛИ к вводу осуществляются в следующей последовательности:

1. Размотка СИП для ответвительной линии.
2. Закрепление проводов в начале ответвительной линии.
3. Натяжение ответвительной линии и закрепление ее конца.
4. Закрепление ответвительной линии на опорах.
5. Подключение ответвительной линии к потребителю.
6. Подключение ответвительной линии к магистральной ВЛИ.

1. Размотка СИП для ответвительной линии выполняется по аналогии с размоткой магистральной ВЛИ. Отличительные особенности может иметь случай, когда ответвление выполняется для подключения потребителя или абонента. В этом случае для линии используется система СИП без несущего провода, состоящая из 2-х или из 4-х изолированных проводов. Провод такой системы обычно легче, чем магистральный СИП.

2. Закрепление проводов в начале ответвительной линии осуществляется с помощью комплекта анкерного крепления: зажима и кронштейна.

Для СИП ответвительной линии, имеющей несущий изолированный нейтральный провод, используется комплект анкерной подвески типа ЕА (ЕА1000, ЕА1500, ЕА2000). Анкерный зажим из комплекта ЕА посредством стального канатика крепится к анкерному кронштейну КА-1500 (СА1500), а затем натянутый нейтральный провод заклинивается двумя клиньями анкерного зажима.

Для СИП без несущего провода, состоящего из 2-х или из 4-х изолированных проводов, необходимо применять анкерные зажимы для проводов абонентов типа ЗАБу 4×10÷35 – производитель ИЭК (HEL 5505 – производитель Тусо (Тайко)), ЗАБ 16÷25 – ИЭК (РА25×100 – Тусо). По аналогии с зажимом РА1500 анкерные зажимы для проводов абонентов крепятся к анкерному кронштейну СА1500, предварительно закрепленному на ответвительной опоре, с помощью металлической дужки (проволочной у РА25×100 и пластинчатой у HEL 5505).



Рис. 75

ЗАБу – зажим анкерно-поддерживающий (рис. 75).

Наименование – ЗАБу 4×10÷35. Аналог – HEL 5505.

Зажим анкерный (натяжной) HEL 5505 предназначен

для концевого или промежуточного крепления 2-х или 4-х проводов абонентов сечением 10÷35 мм².

Зажим изготовлен из стали горячего цинкования и погодо-ультрафиолетостойкого термопластика, усиленного стекловолоконной структурой.

При повороте щек, фиксирующих провод, на 90°, может также применяться как поддерживающий зажим на промежуточных опорах.

Крышка корпуса обеспечивает равномерное распределение механической нагрузки на изоляцию провода.



Рис. 76 предназначен для концевое крепление проводов ответвления сечением $6 \div 25 \text{ мм}^2$ от магистрали к вводам.

ЗАБ – зажим анкерный для проводов ввода (рис. 76).
 Наименование – ЗАБ 16÷25. Аналог – РА25×100.
 Зажим клиновой анкерный (натяжной) РА25×100

Зажим изготовлен из термопластика, усиленного стекловолоконной структурой. Предельная нагрузка зажима увеличена с 220 кг до 350 кг, что позволяет выполнять пролеты ВЛИ длиной до 40м.

При закреплении двух проводов в зажиме, предназначенном для четырех жил, необходимо обязательно заклинить второй клин в корпусе.

3. Натяжение ответвительной линии и закрепление ее конца выполняются по аналогии с магистралью. Отличие может составлять случай, когда конец ответвительной линии закрепляется на стене или фасаде здания.

В последнем случае вместе с зажимами HEL 5505 , РА 25×100 можно использовать настенный кронштейн типа КНВ-1 при отклонении спуска линии от вертикали до 60° . При больших углах отклонения рекомендуется использовать анкерный кронштейн СА 1500.

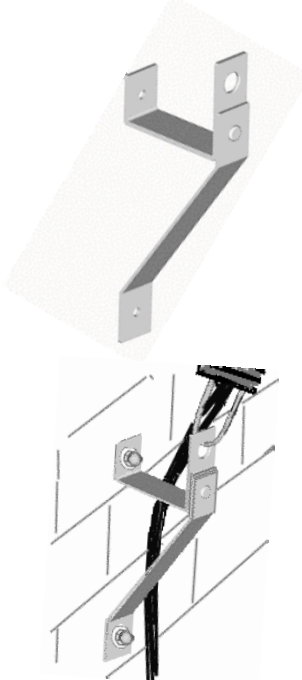


Рис. 77

КНВ – кронштейн настенный. Наименование – КНВ-1.
 Кронштейн настенный для вводов КНВ-1 предназначен для крепления анкерных зажимов на фасадах зданий для воздушных линий из СИП (ВЛИ), подходящих к зданиям:
 – для организации вводов ВЛИ в подстанции,
 – для осуществления переходов от ВЛИ к линиям, проложенным вдоль фасадов зданий.

Кронштейн КНВ-1 имеет 2 отверстия (рис. 77), через которые с помощью шурупов он крепится к стене здания, а также 1 отверстие, в которое вставляется гибкий канатик от анкерного зажима.

Детали кронштейна изготовлены из стали и защищены от коррозии методом горячего цинкования.

Кронштейн на фасаде здания крепится с помощью шурупов или дюбелей, а уже к нему прикрепляется через дужку или петлю анкерный зажим с проводом.

4. Закрепление ответвительной линии на промежуточных опорах при использовании СИП с изолированной нейтралью производится с помощью промежуточных зажимов типа ES 1500 или анкерных зажимов EA 1500 в случае, если имеется значительный изгиб линии.

Для закрепления СИП самонесущей системы (2 или 4 провода) используются промежуточные поддерживающие крепления типа RA 25 или зажимы типа DUL.



Рис. 78

RA – поддерживающий зажим (срывное звено) (рис. 78).

Наименование – RA25. Аналог – RA25×100.

Используется для подведения магистральных линий к абоненту, когда воздушные линии меняют свое направление и уровень при укладке, а также при отклонении электромагистрали под небольшим углом.

Зажим состоит из корпуса зажима, подвешивающего плеча и седла.

Корпус зажима изготовлен из алюминиевого листового элемента с поверхностной полимерной изоляцией.

Поставляется с седлом из силумина. Крепится на крюк или кронштейн с крючком типа CS 1500.

5. Подключение ответвительной линии к потребителю.

Такого рода подключение выполняется с помощью герметичных изолированных наконечников, опрессовываемых ручным прессом.

Предварительно провод ответвительной линии прокладывается до места подключения и после тщательного расчета остающихся концов лишний провод отрезается с помощью ручных секторных ножниц, например типа KR240.

В зависимости от материала контактных клемм в шкафу потребителя (медные или алюминиевые) используются наконечники соответственно СРТА или СРТАУ (рис. 79).

Типоразмер наконечника выбирается в строгом соответствии с сечением монтируемого провода. Так, например, для медных клемм в шкафу потребителя и для СИП с сечением жилы 16 мм² необходимо выбрать наконечник типа СРТАУ 16 D16 .



Рис. 79

НИАМ – наконечники изолированные алюмомедные. Наименование – НИАМ 16÷95. Аналог – СРТА(U). Предназначены для герметического оконцевания опрессовкой проводов СИП, с последующим подключением их к медным шинам или клеммам электрооборудования.

Трубчатая часть наконечников выполнена из алюминия. Лопатка с крепежным отверстием выполнена из электротехнической меди. Медная и алюминиевая части соединены между собой методом фрикционной сварки.

Алюминиевая часть наконечника заполнена контактной пастой.

Изолирующий корпус выполнен из полимера, стойкого к ультрафиолетовому излучению и погоднo-климатическим условиям.

На корпусе выполнена разметка под опрессовку, определяющая число и порядок проведения обжатий, сечение опрессуемых проводов, размер используемой матрицы и длину зачистки провода.



Рис. 80

С концов монтируемого провода срезается изоляция длиной, достаточной для обеспечения герметичности заделки провода в наконечнике после опрессовки (рис. 80).



Рис. 81

Оголенный конец каждого из проводников СИП вставляется в свой наконечник и с помощью ручного гидравлического пресса, например типа SIMABLOC 55 (рис. 81), или ручного пресса типа SIMECA и шестигранных матриц типа 4E140-E83, 4E173, 5E21 запрессовывается внутри наконечника.

Наконечники закрепляются на клеммах шкафа с помощью гаек с шайбами.

6. Подключение ответвительной линии к магистральной ВЛИ.

Подключение к магистрали ВЛИ линейного ответвления и ответвления к вводу осуществляется с помощью изолированных соединителей (их еще называют ответвительными зажимами) с прокалыванием изоляции.

Изолированные ответвительные зажимы для СИП с прокалыванием изоляции, предназначенные для:

- соединения проводов магистрали или нескольких магистралей;
- выполнения ответвлений от магистрали;
- подключения уличного освещения к магистрали;
- соединения СИП с голыми проводами;
- соединения СИП с кабелем.

По конструктивному исполнению ответвительные прокалывающие зажимы для СИП производителей (Niled, Sicame, TYCO – Франция и ENSTO – Финляндия) имеют следующие основные части:

- корпус из двух половинок, выполненный из полимерного материала;
- металлические пластины с контактными площадками, вставленные в половинки корпуса зажима;
- болт с гайкой, стягивающий половинки корпуса зажима и изолированный от металлических пластин;
- элементы, защищающие от влаги открытые участки металлических пластин и проводов внутри зажима.

Весь номенклатурный ряд прокалывающих зажимов указанных производителей условно делится на следующие группы:

- для соединения проводов магистрали;
- для подключения ответвлений к магистрали;
- для подключения уличного освещения;
- для отдельного подключения проводов (через переходный зажим);
- для временных соединений;
- прокалывающие сдвоенные зажимы;
- герметичные изолированные соосные соединители.

С точки зрения испытанием напряжением зажимы с проколом изоляции делятся на два различных типа:

- а) Зажимы, испытываемые напряжением 4кВ в воздухе.

Прокалывающие пластины таких зажимов иногда покрывают смазкой для защиты контакта от коррозии или проникновения влаги. Однако такие зажимы не пройдут испытание напряжением под водой, как это требуется согласно ГОСТ на СИП.





В настоящее время для новых линий СИП рекомендуется использование более совершенных зажимов, испытываемых напряжением 6кВ под водой.

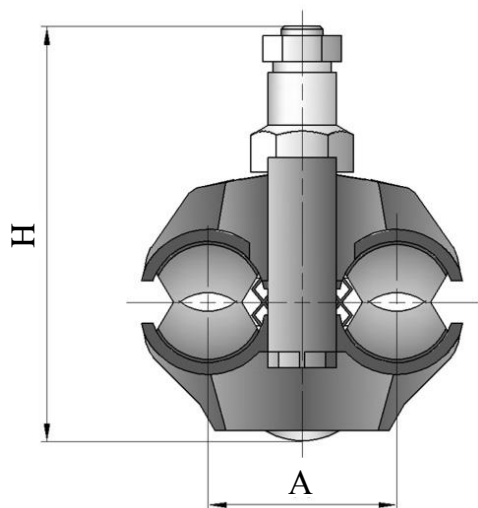
б) Зажимы, испытываемые напряжением 6кВ под водой (герметичные).

Контактные пластины таких зажимов помещены в резиновые уплотнители, заполненные смазкой. При затягивании болтов зубцы контактных пластин прокалывают изоляцию и создают надежный контакт. Болты затягиваются до срыва головок. Нет необходимости снимать изоляцию. Благодаря такой конструкции обеспечивается надежная герметичность контактного соединения.

Среди производителей герметичных, прокалывающих изоляцию зажимов предназначенных для подключения проводов абонентов и освещения от магистральной ВЛИ (основной линии), можно выделить зажимы типа EP, P2× – производитель ТУСО. Указанные типы зажимов (табл. 6) имеют отечественные аналоги – зажимы серии ЗПО (рис. 82) (зажимы прокалывающие), выпускаемые в городе Калуга.

Таблица 6

Изображение	Наименование	Сечение жил магистральной / сечение жил ответвления, мм ²	Аналог	A, мм	B, мм	H, мм	S ₁ , мм	S ₂ , мм
	EP35-13	2,5-35/1,5-6	—	-	-	-	-	-
	EP95-13	16-95/1,5-10	ЗПО 1,5-10 (рис. 29)	25	26	55	10	13
	P2R-95	16-95/4-35	ЗПО 4-35	30	47	75	10	13
	P2R-150	50-150/6-35	ЗПО 6-35	30	45	80	13	17



Габариты зажимов типа ЗПО:
Изготавливаются в соответствии с
ТУ 3449-037-97284872-2010.

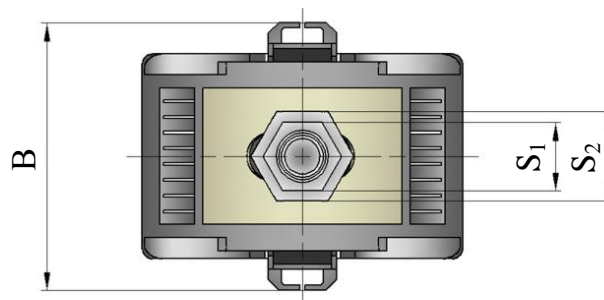


Рис. 82. Габаритные и присоединительные размеры зажима ЗПО 1,5-10.

Герметичная оболочка (рис. 83) зажима выполнена из термопластичного полимера (полиамида), усиленного стекловолокном (50% -ным включением), и заполнена смазкой для исключения коррозии.

Конструкция герметичной оболочки исключает возможность поворота верхней половины зажима.

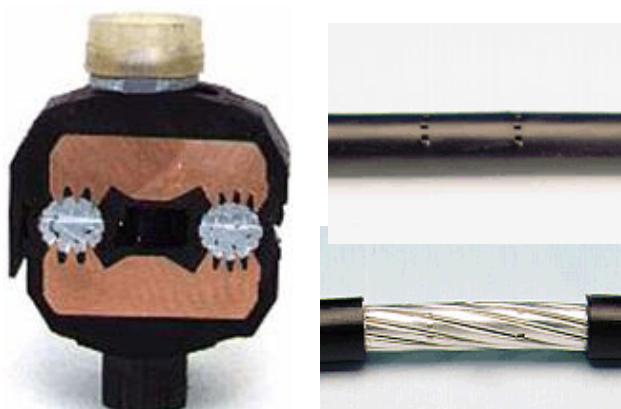


Рис. 83. Устройство прокалывающего зажима ЗПО 1,5-10.

В нижней половине корпуса зажима установлен болт (рис. 83), имеющий скругленную шляпку, что исключает повреждение соседних проводников

при монтаже или эксплуатации и обеспечивает неизменное усилие затяжки в любых климатических и агрессивных условиях.

Соединение жил в зажиме осуществляется за счет прокалывания



зубцами контактных пластин изоляции проводников и дальнейшего внедрения этих зубцов в скрутку проводников (рис. 84). Зубцы прижимают провода под действием силы сжатия, создаваемой вращением срывной головки затяжного болта.

Рис. 84

Отличительными особенностями герметичных, прокалывающих изоляцию зажимов являются:

- нет необходимости обесточивать магистраль при выполнении электромонтером работ по подключению ответвления к магистрали, т.к. затяжной болт соединителя изолирован от контактных пластин зажима;

- нет необходимости зачищать изоляцию на подключаемом проводе и на проводе магистрали, т.к. на этих проводах, вставленных в зажим, изоляция прокалывается зубцами контактных пластин зажима во время затяжки болта;

- электрический контакт в месте соединения двух проводов получается надежным, т.к. при затяжке болта зубцы контактных пластин проникают на определенную глубину в тело многожильного проводника и за счет большого контактного давления обеспечивают высокую нагрузочную способность контакта;

- затяжку болта зажима можно вести обычным ключом, не опасаясь повреждения жилы СИП от больших усилий, т.к. усилие затяжки ограничивается прочностью срывной головки на затяжном болте, которая срывается при определенном усилии, достаточном для надежного проникновения зубцов контактных пластин в тело проводника;

- нет необходимости надевать на смонтированный зажим дополнительный герметизирующий кожух, т.к. корпус зажима выполнен из жесткого изоляционного материала со встроенным резиновым уплотнителем, заполненным смазкой.

Перед проведением монтажа ответвительных зажимов необходимо сверить на соответствие сечения соединяемых проводов с характеристиками подготовленных к монтажу зажимов.

Правильный выбор ответвительного зажима – это один из факторов, влияющих на качество соединения проводов.

Для гарантированного качества соединения проводников необходимо использовать все технические решения, заложенные в конструкцию ответвительных зажимов фирмы производителя.

В частности:

- оголенный конец провода ответвления тщательно изолируется с помощью колпачка, который предварительно вставляется в проушину снизу (их две – по одной с каждого края ложа для ответвления);

- вращать зажимной болт только за срывную головку, которая благодаря специальному цилиндру гарантированно обеспечит необходимое критическое усилие вращения, при котором головка сорвется.

Подключение выполняется по очереди для каждого проводника линии ответвления.

Проводник магистрали выделяется из жгута ВЛИ и вставляется в соответствующий просвет ответвительного зажима, в другой просвет вставляется проводник ответвления до полного упора его в колпачке.

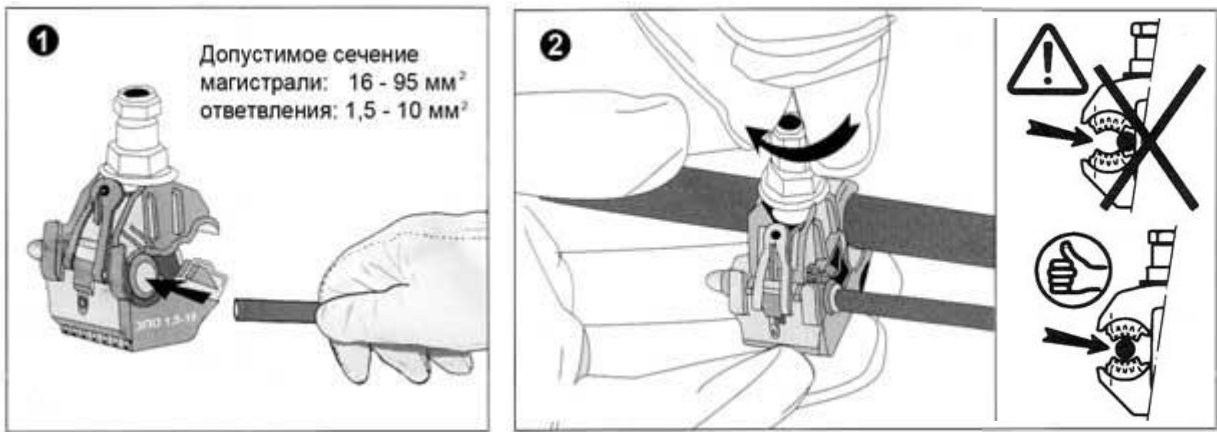
Далее проводники закрепляются в зажиме путем вращения срывной головки крепежного болта с помощью ключа на 8,10 или 13мм.

Усилие вращения должно быть равномерным без прослаблений и толчков, это обеспечит качественное соединение зубцов контактных пластин зажима с соединяемыми проводниками, начиная с момента срыва головки на длительный период эксплуатации.

После первого зажима с шагом 15...20 см на магистрали закрепляются остальные ответвительные зажимы.

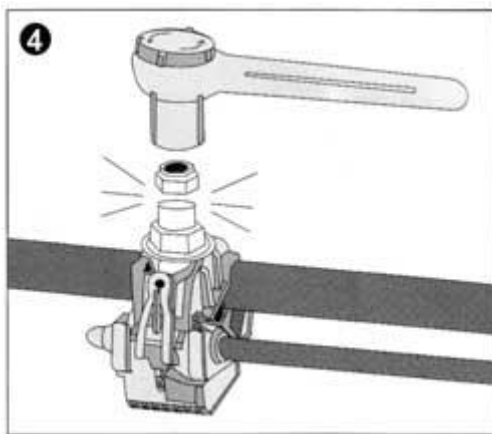
С внешних сторон от крайних зажимов на расстоянии от них 10...15 см провода магистрали стягиваются и фиксируются с помощью кабельных ремешков типа CSB либо CSL.

Инструкция по монтажу зажима ЗПО 1,5-10 приведена на рис. 85.

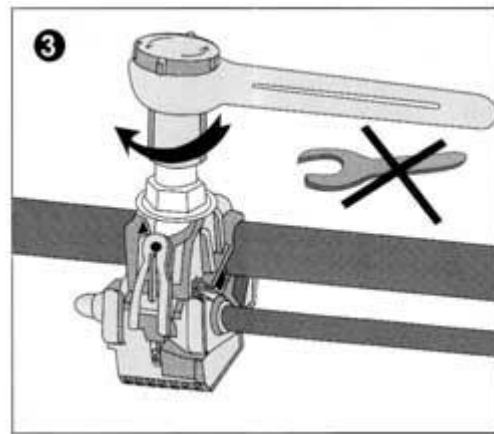


Перед монтажом рекомендуется немного раскрутить болт для избежания повреждения изоляции кабеля.

Провод ответвления вставляется в гнездо с колпачком, провод абонента – в свободное. Затянуть болт рукой для закрепления проводов.



Болт затягивается накидным ключом на 10. При затяжке нижнюю часть зажима необходимо придерживать свободной рукой.



Затягивание происходит до срыва головки, который происходит при достижении необходимого усилия.

Рис. 85. Инструкция по монтажу зажима ЗПО 1,5-10.

3.3.6 ЗАЩИТА ЛИНИИ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ И КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ. ЗАЗЕМЛЕНИЕ.

Защиту ВЛИ от перенапряжений необходимо выполнять во всех случаях, предусмотренных в ПУЭ.

Особого внимания требуют участки ВЛИ:

- проходящие по открытой местности;
- в зонах со среднегодовой продолжительностью гроз 40 часов и более;
- в населенной местности и в местах скопления людей;

- подключаемые к трансформаторным подстанциям;
- стыкующиеся с подземными кабелями или с кабельными вставками;
- заканчивающихся вводом в здание с дорогостоящим электрооборудованием.

Для защиты от перенапряжений, вызванных грозовыми разрядами, при монтаже ВЛИ необходимо использовать:

- заземляющие устройства, состоящие из заземлителя, размещенного в земле, и заземляющих проводников (спусков) для деревянных опор или заземляющих выпусков арматуры железобетонных стоек;
- аппараты защиты от перенапряжений: разрядники и ограничители перенапряжений (ОПН).

Заземляющие устройства, выполняемые согласно требованиям [1], необходимо применять, кроме указанного выше, также для:

- повторного заземления несущего нулевого провода;
- заземления электрооборудования, установленного на опорах ВЛИ;
- для заземления разрядников и ОПН.

В качестве заземляющих проводников на опорах ВЛИ следует применять оцинкованную круглую сталь диаметром не менее 6мм. Допускается применять неоцинкованную круглую сталь диаметром не менее 6мм, имеющую антикоррозионное покрытие.

Разрядники и ОПН, устанавливаемые на опорах ВЛИ для защиты кабельных вставок от грозовых перенапряжений, должны быть присоединены к заземлителю отдельным спуском.

Ограничители перенапряжений являются более современными защитными аппаратами от перенапряжений по сравнению с разрядниками. Кроме того, пока только отдельные типы ОПН приспособлены для применения в полностью изолированной ВЛИ. К ним относятся специально спроектированные для ВЛИ ОПН типа LVA-280А и LVA-440А, а также их аналоги LVA-280В и LVA-440В. Данный тип ОПН защищает ВЛИ и подключенное оборудование не только от грозовых разрядов, но также и от других перегрузок, в том числе от коммутационных.

Достоинства ОПН типа LVA, реализуемые на этапе монтажа ВЛИ:

- ОПН имеет линейный вывод (рис. 86) (подключается к проводу ВЛИ) в виде изолированного адаптера, совместимого со всеми типами ответвительных прокалывающих зажимов;

– вывод заземления ОПН (подключается к заземляющему проводнику) имеет удобную барашковую гайку с зажимом (рис. 86);



Особенности конструкции ОПН LVA:
 -металлоксидные ОПН без искровых промежутков с номинальным током разряда 10 кА и длительно-допустимым напряжением 280 В и 440 В.
 - Высокое быстродействие на крутой фронт: надежно справляются с токовым импульсом 65 кА, 4/10 мкс.
 - Испытаны на герметичность напряжением 6 кВ в течение 30 мин. под водой.

Рис. 86. Металлоксидный ОПН LVA и набор крепежной арматуры

– наличие у линейного вывода нескольких вариантов крепежной арматуры, необходимых для различных случаев применения:

для ОПН LVA серии "А":

LVA-280A (LVA-440A) – A,B,C,D или F + К или L (рис. 87).

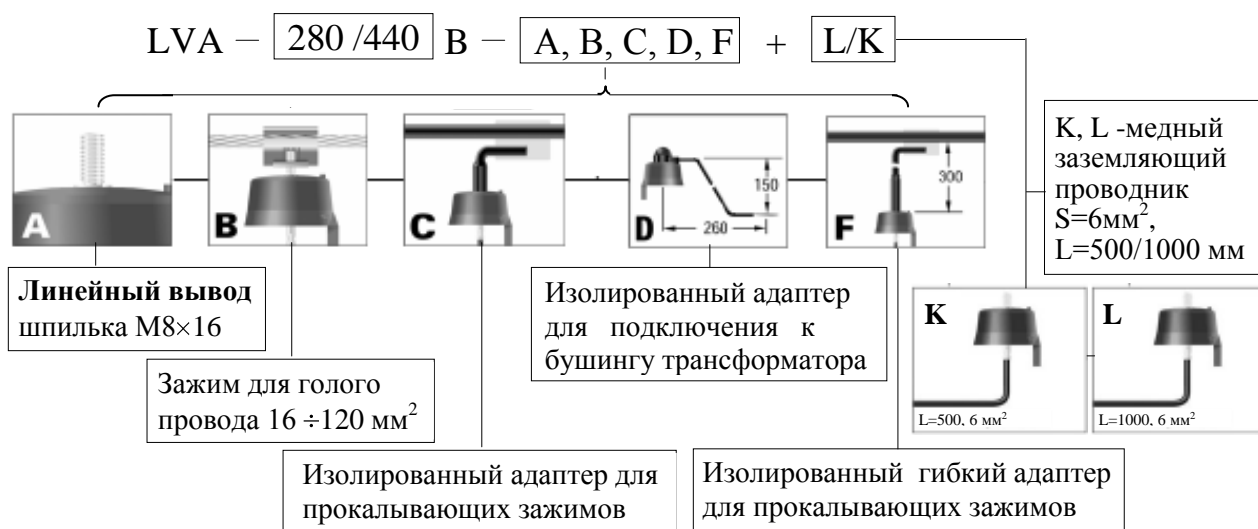


Рис. 87. Варианты крепежной арматуры для ОПН LVA серии "А".

для варианта AS (стандартный вариант): линейный вывод – болт М8х17 , вывод заземления – барашковая гайка с зажимом и у вывода заземления – К или L.

для ОПН LVA серии "В":

в стандартном варианте AL (LVA-280В-AL) есть линейный вывод – это болт-шпилька М8х16, а вывод заземления – это медный изолированный проводник 6 мм² длиной 1000 мм, который будет таким же и для остальных вариантов крепежа этой серии.

Другие варианты линейного вывода для этой серии "В" будут такими же, как и в серии "А": В,С,Д,Ф, т.е. LVA-280В-BL, LVA-280В-CL, LVA-280В-DL, LVA-280В-FL.

Кроме указанных выше достоинств ОПН типа LVA, связанных с эксплуатацией ВЛИ, можно отметить:

- при перегрузке встроенный разъединитель отключает ОПН от сети, например, при близком ударе молнии. Заземляющий проводник остается подключенным, а легко видимая цветная круглая табличка выпадает из ОПН и остается висеть на нем;

- твердый влагостойкий полимерный корпус ОПН обеспечивает надежную работу при любых погодных условиях и загрязнении;

- все металлические части сделаны из нержавеющей стали.

Монтаж ОПН типа LVA состоит из закрепления линейного вывода ОПН с помощью прокалывающего зажима на проводе ВЛИ и подключения к выводу заземления заземляющего проводника, соединенного с заземляющим спуском.

Менее приспособлены для ВЛИ ОПН отечественного производства типа ОПН-П1-0,38УХЛ1, у которого оба вывода не изолированы, поэтому после подключения к нему проводников требуется неизолированные выводы этого ОПН заизолировать специальной термоусаживаемой лентой.

Согласно [2] в начале и в конце каждой магистрали ВЛИ должны быть установлены на проводах зажимы для присоединения приборов контроля напряжения и переносного защитного заземления.

Наличие на проводах ВЛИ в начале и в конце ее специальных зажимов позволяет подключать в этих местах приборы для измерения напряжения, а также переносное защитное заземление для выполнения ремонтных и регламентных работ на ВЛИ.

В качестве такого зажима рекомендуется использовать изолированный адаптер типа РМСС, представляющий собой бронзовый штекер (разъем), помещенный в пластиковый цилиндрический корпус с изолирующей и герметизирующей заглушкой и имеющий изолированный медный вывод для установки адаптера в ответственный прокалывающий зажим.

Адаптер РМСС оптимально спроектирован для применения на ВЛИ напряжением до 1кВ, удобен при монтаже и надежен при эксплуатации.

Наличие на корпусе адаптера пронумерованных флажков позволяет легко идентифицировать фазу, к которой подключен адаптер.



Рис. 88

АДЗ – адаптеры для закороток и заземления (рис. 88).

Наименование – АДЗ-25. Аналог – РМСС.

Предназначены для монтажа временного защитного заземления при выполнении работ на линии СИП, находящейся под напряжением. Рассчитан для токов короткого замыкания 4кА/1с и рабочего тока 200А.

Применяется с любым зажимом с прокалыванием изоляции для ответвления 25 мм² (диаметр изолированного проводника 9 мм).

Контактная часть изготовлена из бронзы: диаметр 11 мм (рис. 89), длина 35 мм, отверстие 4мм (рис. 89).

Монтаж осуществляется при помощи прокалывающих зажимов типа ЗПО со стороны ответвления. Втычной контакт имеет отверстие для проверки отсутствия напряжения.

Присоединение к системе заземления выполняется при помощи оборудования для закороток и заземления. Легкая идентификация фаз с помощью обламываемых флажков (рис. 89).

Герметичный изоляционный корпус выполнен из эластомера, стойкого к ультрафиолетовому излучению и погоднo-климатическим условиям. Контактная часть изготовлена из бронзы.

Устанавливаются на токопроводящих и нулевых жилах на весь срок службы линии.

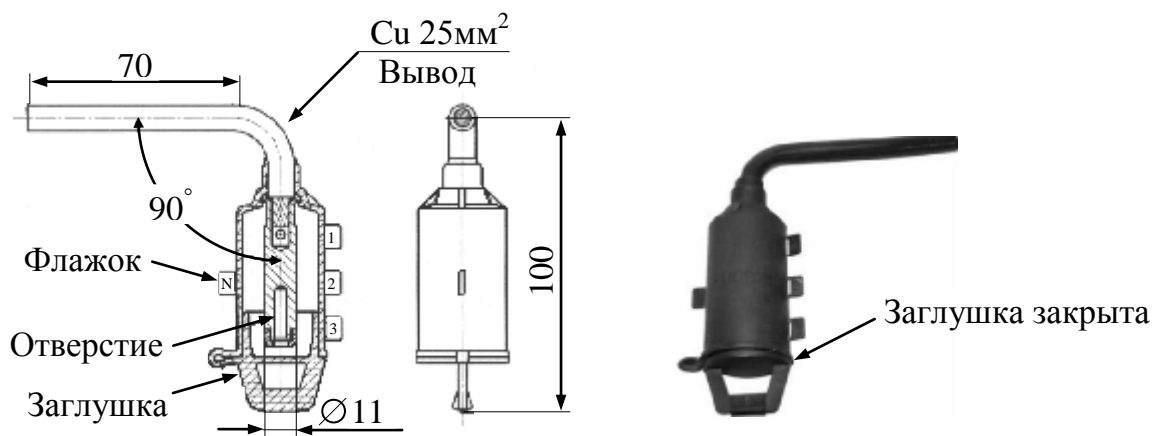


Рис. 89

Для подключения адаптеров РМСС к проводам ВЛИ необходимо взять соответствующее число адаптеров, допустим 4, и такое же число

ответвительных прокалывающих зажимов для провода 25 мм², например зажим типа P2X-95 (рис. 90). Каждый адаптер с помощью прокалывающего



Рис. 90

зажима подключается к соответствующему проводу ВЛИ. Конец вывода адаптера, закрепленного в зажиме, герметизируется с помощью колпачка. На адаптере оставляется только тот флажок, который соответствует номеру фазы или нейтрали ("1", "2", "3" или "N"), а остальные флажки отрываются.

В дальнейшем для оперирования с адаптером достаточно снять с него заглушку и вставить в его разъем контактные шпильки из наборов для закороток и заземления или штыревой разъем измерительного прибора.

Для проведения регламентных и ремонтных работ на ВЛИ рекомендуется применять набор закороток (перемычек) типа МТ-206 и



Рис. 91

УКЗ – устройство для закороток (рис. 91).

Наименование – УКЗ-6. Аналог – МТ-206.

Состоит из гибкого медного изолированного провода, 5-ти модулей для соединения с адаптерами для закороток и модулем для соединения с проводом заземления.

Для подключения к ВЛИ временного защитного заземления необходимо вставить в разъемы адаптеров АДЗ контактные модули и через модуль провода заземления соединить со струбциной заземляющего стержня.

Толщина силиконовой оболочки провода в 1,6 раза больше толщины изоляции на стандартном проводе марки ПВ6-3.



Рис. 92

НПЗ – набор для заземления (рис. 92).

Наименование – НПЗ-16. Аналог – МТ-245.

Применяется для обеспечения безопасности монтажников при проведении ремонтных работ на линиях СИП.

Состоит из провода заземления, модуля для соединения с устройством для закороток и струбцины для присоединения к стержню заземления.

Провод заземления защищен силиконовой оболочкой и позволяет производить работу при низких температурах.

Толщина силиконовой оболочки провода заземления в 1,6 раза больше толщины изоляции на стандартном проводе марки ПВ6-3.

Как правило, переносное защитное заземление состоит из провода заземления типа МТ-245 (заземляющий проводник) и заземляющего прутка типа РТ-INOX-160/АА-1М.

Технологически процедура подключения устройств заземления к изолированным проводам выглядит следующим образом (рис. 93):

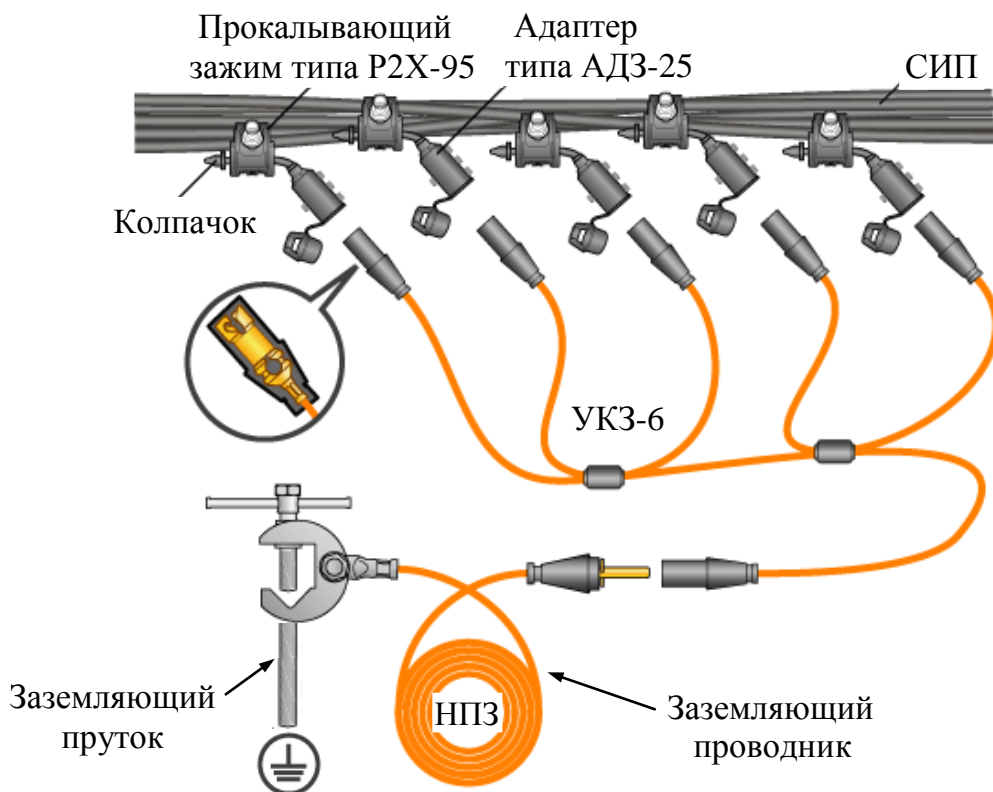


Рис. 93. Подключение набора временного заземления и устройства для закороток к проводам СИП

Для подключения к ВЛИ временного защитного заземления необходимо взять соответствующее число адаптеров АДЗ-25 и такое же число зажимов ЗПО типа Р2Х-95 (рис. 94), по средством которых осуществляется непосредственное подключение адаптера к определенному проводу ВЛИ. Далее контактные шпильки набора закороток УКЗ-6 (максимальное количество – 7 штук) необходимо вставить в разъемы адаптеров АДЗ-25 и байонетным разъемом этот набор соединить с проводом заземления МТ-245, который с помощью своего зажима должен быть закреплен на заземляющем прутке, предварительно заглубленном в земле (рис. 93).



Рис. 94

Для подключения к ВЛИ временного защитного заземления необходимо взять соответствующее число адаптеров АДЗ-25 и такое же число зажимов ЗПО типа Р2Х-95 (рис. 94), по средством которых осуществляется непосредственное подключение адаптера к определенному проводу ВЛИ. Далее контактные шпильки набора закороток УКЗ-6 (максимальное количество – 7 штук) необходимо вставить в разъемы адаптеров АДЗ-25 и байонетным разъемом этот набор соединить с проводом заземления МТ-245, который с помощью своего зажима должен быть закреплен на заземляющем прутке, предварительно заглубленном в земле (рис. 93).

Защиту ВЛИ от коротких замыканий и от перегрузок по мощности необходимо выполнять по аналогии с защитой ВЛ с неизолированными проводами, выполняемой с учетом требований ПУЭ.

Основным элементом защиты ВЛИ от коротких замыканий является проходной предохранитель для абонентских ответвлений типа ССFBD.

Проходные предохранители монтируются на опорах, на которых к магистрали ВЛИ подключаются линейные ответвления, при этом выполняется защита:

- магистрали ВЛИ и всех ответвлений от короткого замыкания и от перегрузки по мощности, возникших в одном из линейных ответвлений (секционирование);
- ответвления от короткого замыкания и от перегрузки по мощности, возникших в ВЛ с неизолированными проводами, подключенной к ответвлению;
- временных подключений к ВЛИ.

Проходной предохранитель типа ССFBD (предохранительная вставка для абонентских ответвлений) (рис. 95) представляет собой разборную конструкцию, состоящую из корпуса из двух частей и плавкой вставки, которая вставляется в корпус предохранителя. Вставки устанавливаются на ответвительные абонентские линии от 4 А до 125 А, причем для нагрузок до 60 А разъединение можно производить под напряжением. Герметизирующая заглушка позволяет защитить отключенную линию со стороны сети.

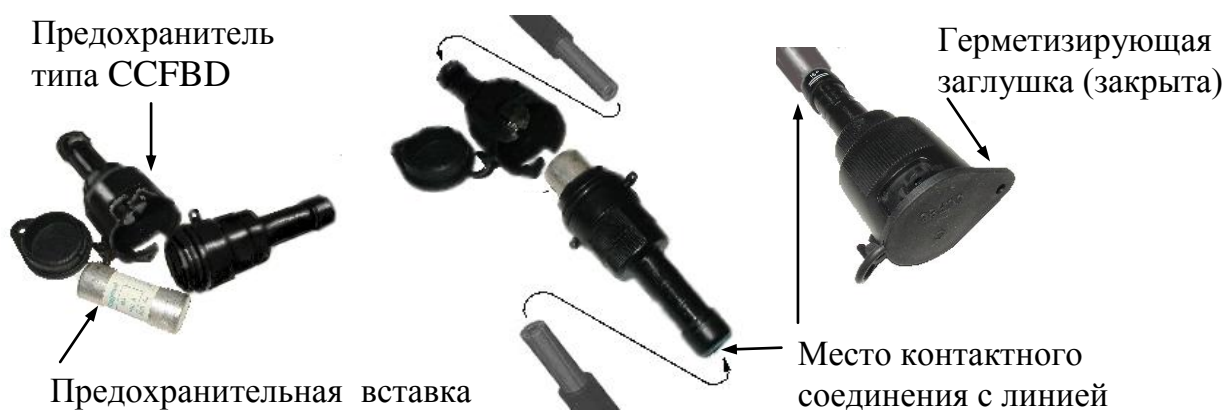


Рис. 95. Устройство и способ подключения к абонентской линии предохранителя типа ССFBD

Корпус предохранителя изготовлен из погодо- и ультрафиолетостойкого полимера. На корпусе имеются петли для пломбирования подключенного предохранителя, что позволяет регистрировать факты несанкционированной

расстыковки предохранителя и замены плавкой вставки на большую мощность. Корпус легко собирается и герметизируется при сборке.

Предохранитель применяется для провода сечением 16 мм² – модификация ССFBD 16-16, и 25 мм² – модификация ССFBD 25-25. Контактное соединение предохранителя с концами провода СИП выполняется опрессовкой с обеих сторон с помощью ручного пресса SIMPI, SIMESA или SIMABLOC с одной матрицей E140.

Проходной предохранитель монтируется в разрыв СИП без несущего провода, состоящего из 2-х или из 4-х изолированных проводов, между ответвительным прокалывающим зажимом и анкерным зажимом для проводов абонентов, например, типа HEL-5505 , PA25×100.

3.3.7 ПОДКЛЮЧЕНИЕ УЛИЧНЫХ СВЕТИЛЬНИКОВ

Линии распределительной сети наружного освещения (НО), как правило, имеют протяженность не более 600м в городе и не более 1000м в сельской местности, при этом расстояния между соседними светильниками в городах составляют 30÷40 м, в сельских населенных пунктах – 40÷70 м.

Особенностью сетей НО является наличие на одной распределительной линии большого числа светильников – однофазных потребителей электроэнергии и обеспечение возможности пофазного отключения потребителей. В соответствии с ([1], п. 6.3.37) такие распределительные линии НО, в которых используются светильники с газоразрядными источниками света и индивидуальной компенсацией реактивной мощности, необходимо выполнять с равными сечениями токопроводящих жил и нулевого рабочего проводников.

В четырехпроводных сетях НО используются, как правило, СИП-2 сечением 3×16+35 мм², 3×35+35 мм² и 3×50+54,6 мм². Использование СИП-2 сечением 3×16+35 мм² для питания малой суммарной нагрузки нецелесообразно с экономической точки зрения, а сечений 3×70+54,6 мм² – требует дополнительного расчетного обоснования. СИП с нулевой несущей жилой сечением 70 мм² в сетях НО применяются, преимущественно, в сельской местности на протяженных линиях или в линиях с большой линейной плотностью установки светильников (например, в линиях питания опор с многосветильниковыми световыми установками).

Сети НО городов выполняются 3-фазными с глухо заземленной нейтралью, в них применяются 4 и 5-проводные линии. Пятипроводные линии, в которых реализуется система заземления TN-S, рекомендуется применять на улицах с интенсивным пешеходным движением и на территориях детских учреждений, т.е. в местах, где требуется повышенная электробезопасность сети.

Необходимость применения комбинированных кабельно-воздушных линий требует решения задачи обеспечения высокой надежности кабельно-воздушных соединений.

Такой переход с участка распределительной линии, выполненного кабелем в земле, на участок, выполненный с применением СИП-2, монтируется в цоколе опоры НО или в приставном кабельном ящике, а подъем наверх выполняется СИП-2 в теле опоры с выходом их на внешнюю сторону опоры через специальные отверстия. Отверстия не должны иметь заусенец и острых кромок, а в лучшем случае должны оборудоваться резиновыми или пластмассовыми втулками.

Электрическое соединение кабеля и СИП выполняется с применением штатного комплекта арматуры.

В месте соединения кабеля с СИП рекомендуется производить зануление брони кабеля и опоры (или приставного кабельного ящика) при помощи ответвительного зажима Р71.

Применение СИП с неизолированной нулевой несущей жилой СИП-1 в условиях большого города не рекомендуется из-за высокой химической агрессивности внешней среды, вызывающей интенсивную коррозию неизолированной жилы.

Распределительные линии НО дворовых территорий, как правило, имеют небольшую протяженность (до 300м) и питают ограниченное число маломощных светильников. Для таких линий в ряде случаев оправдано использование проводов СИП-4 из несущих изолированных токопроводящих жил и нулевой рабочей жилы с сечением 16 и 25 мм². Ответвления от распределительных линий к светильникам выполняется по 3-проводной схеме. В цепи питания каждого светильника необходима установка предохранителя или автомата индивидуальной защиты. Следует также предусматривать защитное заземление каждой опоры и кронштейна для крепления светильника.

В качестве зарядных проводов светильников рекомендуется применять провода марки ПВС3×2,5. Провода с сечением жил 1,5 мм² применять нежелательно из-за недостаточной механической прочности. Для ответвления используются прокалывающие зажимы Р616, Р21 фирмы НИЛЕД.

В настоящее время в России для уличного освещения или ввода в дом применяются медные многопроволочные провода сечением 1,5÷2,5 мм² и алюминиевые однопроволочные провода сечением 1,5÷2,5 мм², поэтому для России НИЛЕД разработал новую конструкцию контактных пластин для зажимов Р616. Новые контактные пластины обеспечивают надежный контакт с проводами малых сечений (1,5÷2,5 мм²) отечественного производства.

Зажимы испытаны на монтаж и эксплуатацию при низких температурах (монтаж – до минус 20°С, эксплуатация – до минус 60°С) с отечественными и зарубежными СИП, а также с отечественными проводами, применяемыми для ввода в дом и для уличного освещения.

К линиям распределительных сетей НО, выполненных с применением СИП, возможно подключение иллюминационных и рекламных установок. Для такого подключения требуется наличие соответствующего резерва пропускной способности линии. На улицах и магистралях с большим числом иллюминационных и световых рекламных установок, подключаемых к сети НО, следует предусматривать отдельную линию питания. СИП могут применяться для питания светильников, подвешиваемых на тросовых растяжках.

В каждой линии с применением СИП должна быть предусмотрена возможность подключения переносного защитного заземления. Для такого подключения на линии СИП устанавливается арматура: зажимы для замера напряжения и наложения заземления типа РС481 (устанавливаются на каждую жилу) для сечений СИП от 16÷150 мм² и комплект переносного защитного заземления МаТ и М6D. Также данные зажимы и комплект защитного заземления используются при проведении измерений сопротивления петли "фаза-ноль".

Для защиты сети от КЗ в светильниках необходимо устанавливать в цепь фазного зарядного провода каждого светильника ограничитель мощности (ОМ).

По аналогии с ВЛ с неизолированными проводами уличные светильники, монтируемые на ВЛИ, могут крепиться на опоре сверху на дополнительной выступающей штанге и сбоку с помощью болтового соединения или монтажной ленты из нержавеющей стали.

Монтаж уличного светильника начинается с закрепления его на опоре. Светильник, имеющий две прорези для ленты, крепится сбоку на опоре с помощью ленты монтажной типа ЛМ20 (или F2007) и скрепы монтажной СМ20 (рис. 96) или А200 двумя узлами крепления методом, аналогичным с закреплением кронштейнов для СИП.



СМ – скрепа из нержавеющей стали (рис. 96).

Наименование – СМ-20. Аналог – А2000.

Предназначена для фиксации бандажа из стальной

ленты при монтаже СИП на опорах. Скрепа изготовлена из нержавеющей стали, устойчива к коррозии, воздействию экстремальных температур, влажности и радиации.

Выдерживает значительные механические нагрузки.

После затягивания бандажа из стальной ленты усы скрепы необходимо загнуть внутрь при помощи молотка.

Ленточный узел крепления кронштейна для СИП к опоре выполняется из ленты монтажной типа ЛМ20 (или F2007), изготовленной из нержавеющей стали, концы которой закрепляются с помощью скрепы монтажной типа СМ20 (или А200) с применением специального инструмента – клещей натяжных (или просто машинки для затяжки ленты) типа ИН20 (или CVF).

Клещи натяжные (рис. 97) снабжены фиксатором ленты, маховиком на корпусе, вращение которого и создает нужное натяжение ленты и ножом для обрезки лишней оставшейся ленты. Качественное натяжение ленты возможно только с использованием этого инструмента, создающего натяжение не менее 2 кН.

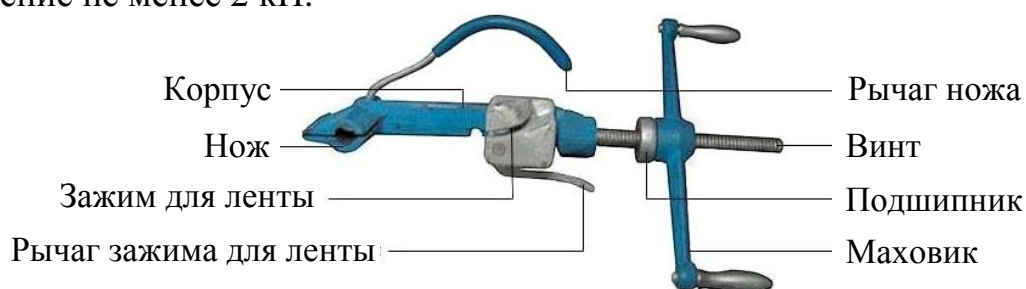


Рис. 97

Для крепления анкерного кронштейна к железобетонной или деревянной опоре используется: анкерный кронштейн СА1500, нержавеющая монтажная лента типа ЛМ20 (F2007), монтажная скрепа для ленты СМ20 (по одной на каждый отрезок ленты) и, собственно, сам инструмент – натяжные клещи. Последовательность крепления следующая (рис. 98):

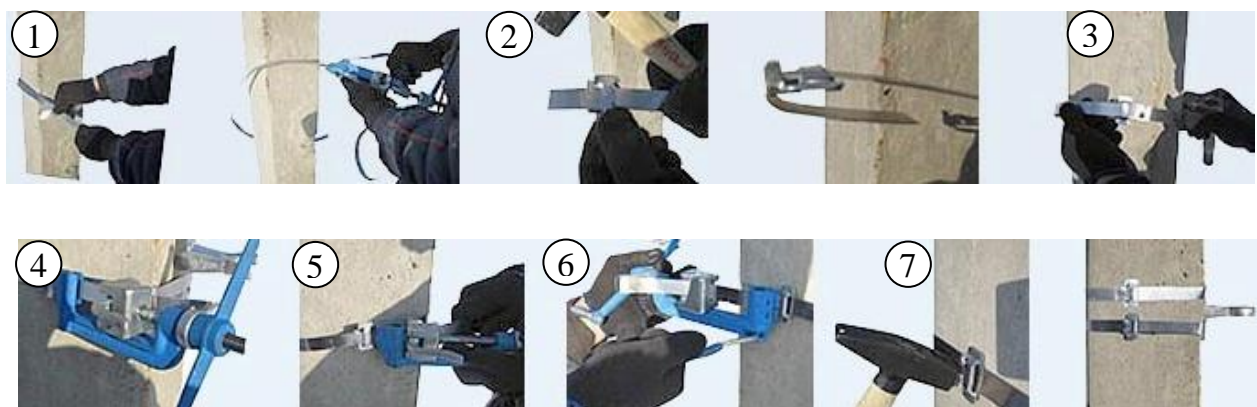


Рис. 98. Последовательность крепления анкерного кронштейна к опоре

1. Прежде всего, необходимо отмерить нужную длину ленты (можно просто обернуть ее вокруг опоры) и отрезать, используя нож натяжных клещей.

2. Далее, продев один конец монтажной ленты через монтажную скрепу со стороны зубчиков на 3-5 см, загнуть под дужку скрепы.

3. Обернутый вокруг опоры второй конец монтажной ленты следует завести под дужку скрепы таким образом, чтобы он оказался сверху продетого ранее первого конца монтажной ленты.

4. Получившуюся на опоре петлю из ленты нужно подтянуть вручную и вложить ее свободный конец в пазы зажима-фиксатора и ножа клещей, предварительно отведя их рычаги.

5. Вращением маховика вокруг опоры затянуть ленту, обеспечив ее нужное натяжение и надежное крепление кронштейна на опоре.

6. Загнуть ленту, отведя в сторону скрепы инструмент, предварительно немного (пол-оборота маховика против часовой стрелки будет вполне достаточно) ослабив ленту, и отрезать при помощи ножа натяжителя (для этого нужно отвести до упора его рычаг от корпуса).

7. Последнее – фиксирование конца монтажной ленты. Загнув усики скрепы, забить их молотком, надежно зафиксировав, таким образом, ленточный узел крепления кронштейна.

Существует еще один, более рациональный, способ монтажа ленточного узла крепления, в котором лента предварительно не отрезается, но дает экономию до 3см ленты на одном хомуте. Эта экономия может оказаться существенной, особенно при больших объемах работы. Так, при монтаже узлов с общим расходом ленты в 1000 м можно сэкономить 30 м дорогостоящей ленты из нержавеющей стали.

Для зануления корпуса светильника выполняется отдельный заземляющий спуск из стальной оцинкованной проволоки диаметром не менее 6мм, который для железобетонной опоры также можно закрепить с помощью ленты и скрепы. Для деревянных опор такой вид закрепления спуска на опоре не приемлем, поскольку в этом случае дерево внутри ленточного кольца постепенно выгорает.

Для защиты ВЛИ от коротких замыканий, возникающих в светильнике, в корпусе светильника монтируется проходной предохранитель типа В6770 (V01 или ПП-1), который подключается в разрыв фазного провода.

Предохранители ПП-1 в настоящее время не производятся. До 2008 года их производил Московский завод ОАО "Электропривод", но из-за низкого спроса на них было принято решение производство их приостановить.

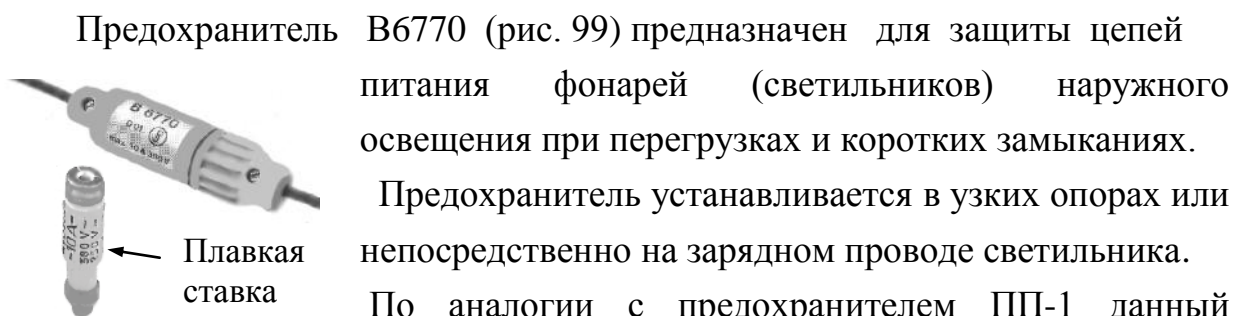


Рис. 99

Предохранитель В6770 (рис. 99) предназначен для защиты цепей питания фонарей (светильников) наружного освещения при перегрузках и коротких замыканиях.

Предохранитель устанавливается в узких опорах или непосредственно на зарядном проводе светильника.

По аналогии с предохранителем ПП-1 данный предохранитель состоит из пластикового корпуса

в виде двух половинок, имеющих резьбу для герметичного соединения этих частей корпуса, а также плавкую вставку, размещаемую внутри корпуса предохранителя.

В предохранителе В6770, по сравнению с ПП-1, иной способ подключения проводов для питания светильника: провода со снятой на концах изоляцией вставляются до упора в отверстия, расположенные на торцах половинок корпуса предохранителя, и фиксируются в них винтами.

Максимальное сечение провода, подключаемого к предохранителю В6770, составляет 4 мм².

Предохранитель В6770 поставляется в комплекте с плавкой вставкой типа D01 (E14). В зависимости от тока, на который рассчитана плавкая вставка, приняты обозначения модификации предохранителя: GURO-B 6770-2A, GURO-B 6770-4A, GURO-B 6770-6A, GURO-B 6770-10A.

Предохранитель VO1 (рис. 100) имеют корпус, состоящий из двух половинок, изготовленных из прочного атмосферостойчивого пластика, и плавкую вставку. Половинки корпуса соединяются друг с другом резьбовым соединением. На одной из половинок корпуса имеется резиновое уплотнительное кольцо, обеспечивающее герметичность корпуса и предохраняющее его



Рис. 100 от проникновения влаги.

Этот предохранитель отличается наличием короткого бокового алюминиевого штыря (неизолированного) на одной из половинок корпуса, предназначенного для подключения предохранителя к питающей линии через ответвительный прокалывающий зажим. В другой половинке имеется отверстие, закрываемое резиновой пробкой, через которое провод, идущий к светильнику, заводится в корпус и зажимается в контактном цилиндре с помощью винта.

Основные характеристики предохранителей приведены в табл. 7.

Таблица 7

Характеристика	ПП-1	В6770	VO1
Длина корпуса, мм	86	68	88
Диаметр корпуса, мм	28	18	25
Масса, г	55	30	34
Тип плавкой вставки	ВТФ-6(10) УХЛЗ	GURO-F-D1-06	D01-6
Номинальный ток, А	6,3 или 10	2, 4, 6, 10	2, 4, 6, 10, 16
Принцип подключения проводов	В корпус вмонтированы 2 провода длиной по 23см	Концы 2-х проводов вставляются в корпус и фиксируются винтами	1 провод вставляется в корпус и фиксируется винтом, контактный штырь вставляется в прокалывающий зажим
Сечение провода для подключения (наибольшее), мм ²	3,2	4	19

С помощью ответвительных прокалывающих зажимов присоединяются:

- нулевой провод светильника к несущему нулевому проводу магистрали ВЛИ (зажим типа P2R-95);
- фазный провод светильника (от предохранителя ПП-1) к проводу уличного освещения ВЛИ (если таковой есть) или к фазному проводу ВЛИ (зажим типа P2R-95);
- провод от корпуса светильника к заземляющему спуску (прокалывающий переходной зажим типа RDP25/CN – аналог ЗПП 16-35).

Подключение проводов от светильника к проводам СИП выполняется по аналогии с монтажом ответвлений, описанным в разделе о подключении ответвлений к магистрали ВЛИ.

До настоящего времени не был решен вопрос о подвеске СИП, предусмотренной ([1], п. 6.3.35), в существующих, специфичных только для установок НО систем центрального «тросового» размещения светильников, широко используемых в районах старой, сложившейся застройки городов, на улицах и городах с высокорослыми развесистыми деревьями и др.

Для этой цели фирмой НИЛЕД разработана линейная арматура для крепления СИП к тросовым оттяжкам: комплект промежуточной подвески CS2, состоящий из накладного типа подвески на трос с поддерживающим зажимом PS1500+LM-E; анкерный центральный подвес-планка CS1, для крепления одного или двух анкерных зажимов.

Перечень линейной арматуры на 1 км линии наружного освещения с СИП-2 (3×50+54,6 мм²) приведен в табл. 8.

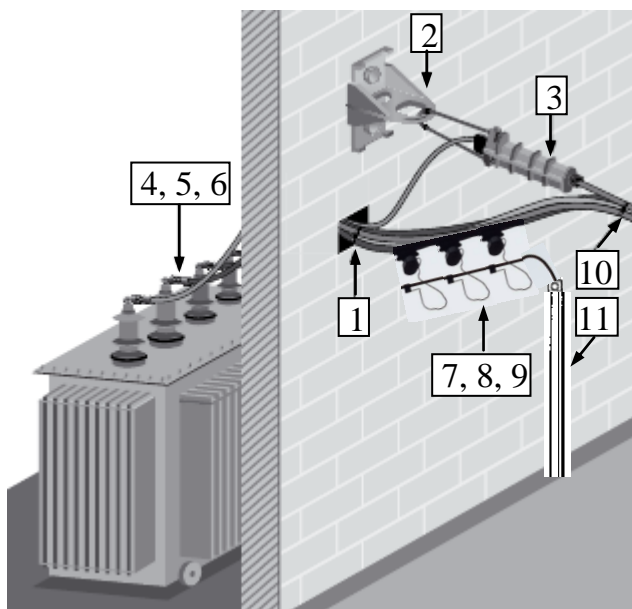
Таблица 8

№ п/п	Наименование НИЛЕД	Кол-во на 1 км
1	Анкерный зажим PA1500 или PAC1500	12
2	Кронштейн для анкерного зажима CS10.3	12
3	Комплект промежуточной подвески ES1500E	18
4	Зажим сетевой P70 для ответвления магистральных СИП	8
5	Зажим ответвительный P72 для наложения повторного заземления	8
6	Зажим ответвительный для уличного освещения P21 или P616	75
7	Ремешок E778	75
8	Лента бандажная F207	60м

9	Скрепа NC20 для фиксации ленты на анкерных и промежуточных опорах	60
10	Зажим прессуемый MJPT35 для токопроводящих жил сечение 35мм ²	3
11	Зажим прессуемый MJPT54,6N для нулевой жилы сечение 54,6мм ²	1
12	Колпачки герметичные CE25-150 сечение 25÷150мм ²	4
13	Изолированный наконечник CPTAUR54,6 жилы сечением 54,6мм ²	1
14	Изолированный наконечник CPTAUR 35 для токопроводящих жил сечением 35мм ²	3
15	Зажим РС481 для замера напряжения и наложения защитного заземления	8

Для выполнения трансформаторных вводов окончание ВЛИ закрепляется на фасаде трансформаторной подстанции комплектом анкерного крепления и заводится через кабельный проход в стене внутрь здания (рис. 101). У проводов оставляются концы нужной длины, на которые одеваются изолированные наконечники типа CPTAU или CPTA и запрессовываются ручным прессом с матрицей. Сама операция аналогична подключению ответвительной линии к потребителю (см. раздел 3.3.5).

Наконечники (рис. 101, поз. 4, 5, 6) закрепляются болтовым



соединением на клеммах трансформатора.

Для защиты трансформатора от перенапряжений со стороны ВЛИ к каждому фазному проводу ВЛИ перед стеной здания подключается ограничитель перенапряжения типа LVA (рис. 101, поз. 7, 8, 9) с помощью ответвительных зажимов по аналогии с процедурой, описанной в разделе о защите ВЛИ от перенапряжений. Заземляющие выводы ОПН подключаются к

Рис. 101
 заземляющему спуску (рис. 101, поз.11). Герметизацию кабельного прохода (рис. 101, поз. 1) можно выполнить с помощью надувного уплотнителя

типа RDSS, разработанного фирмой "Райхем".

Уплотнитель типа RDSS состоит из надувной камеры (рис. 102, а), изготовленной из гибкого металлизированного ламината. На обеих сторонах камеры нанесен слой герметика. Камера оборачивается вокруг кабеля и легко вставляется в отверстие кабельного ввода (рис. 102, а). Затем, по мере надувания камеры с помощью специального устройства, герметик под давлением уплотняет места примыкания камеры с кабелем и стенкой прохода. После достижения заданного давления (рис. 102, б) выдергивается трубка для надувания камеры, автоматически запирается гелевый клапан системы герметизации и на долгое время надежно поддерживается давление внутри камеры. Полная установка камеры занимает несколько минут, даже в стесненных условиях.



Рис. 102. Установка кабельного прохода с помощью надувного уплотнителя типа RDSS

Уплотнители принимают форму трубы, в которую вставляются, и не зависят от ее овальности. Каждый типоразмер уплотнителя охватывает большой диапазон диаметров кабеля и кабельных каналов. Гибкость и универсальность оборачиваемой камеры позволяет применять ее не только при прокладке новых кабельных линий СИП, но также и для уже проложенных линий. Камеры могут быстро и легко удалены из канала или трубы посредством их сдувания. Это позволяет в любое время производить ремонтные работы, добавлять или убирать кабели. Уплотнители во время работы и демонтажа не разрушают каналы, и поэтому они снова могут быть легко загерметизированы.

Уплотнитель можно установить с помощью любого устройства для надувания, которое может обеспечить давление $3,0 + 0,2$ бар.

Инструмент, рекомендуемый фирмой "Райхем":

1. Устройство для надувания – RDSS-IT-16.
2. Газовые баллончики – E7512-0160.

3.3.8 ПРИЕМКА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ

Приемка воздушных линий с изолированными проводами в эксплуатацию производится в соответствии с требованиями правил приемки в эксплуатацию законченных строительством объектов распределительных сетей напряжением 0,38 – 20 кВ. Каждая воздушная линия с изолированными проводами, вводимая в эксплуатацию, должна быть подвергнута приемосдаточным испытаниям в соответствии с требованиями ПУЭ.

В объем испытаний входят:

1. Выборочная (2 ÷ 15 % общего количества) проверка качества контактной и соединительной арматуры на соединениях и ответвлениях фазных проводов и проводов уличного освещения ВЛИ. Проверку качества всех соединений несущей жилы СИП следует производить путем внешнего осмотра и измерения электрического сопротивления контакта.

Спрессованные соединения нулевой несущей жилы СИП бракуются в тех случаях, если: геометрические размеры (длина и диаметр опрессованной части) не соответствуют требованиям инструкции по монтажу соединительных зажимов; кривизна спрессованного зажима превышает 3% его длины; на поверхности соединительного зажима имеются трещины и следы механических повреждений. Если электрическое сопротивление на участке соединения более чем на 20% отличается от сопротивления на целом участке жилы той же длины, контакт также бракуется.

2. Контроль маркировки жил в соединительных и ответвительных зажимах.

3. Измерение сопротивления изоляции жил самонесущего изолированного провода. Проводится мегомметром на 1000 В между фазными проводами, фазными проводами и проводами уличного освещения, нулевым проводом и всеми проводами. Величина сопротивления должна быть не менее 0,5 МОм.

4. Испытание изоляции линии повышенным напряжением. Проводится мегомметром на 2500 В в объеме, указанном выше п. 3, при этом величина сопротивления изоляции не нормируется. ВЛИ считается выдержавшей испытания, если не произошло пробоя изоляции. После проведения испытаний для снятия зарядного тока все провода ВЛИ должны кратковременно заземляться.

5. Проверка заземляющих устройств включает:

– осмотр элементов заземляющих устройств в доступных пределах, при этом обращают внимание на сечение проводников, качество сварки и болтовых соединений; контроль наличия цепи между заземлителями и заземляемыми элементами; измерение сопротивлений заземлителей;

– измерение общего сопротивления всех заземлителей нулевого рабочего провода ВЛИ; измерение тока однофазного короткого замыкания на нулевой провод или полного сопротивления петли «фаза-нуль» с последующим вычислением тока однофазного замыкания.

6. Проверка стрел провеса самонесущего изолированного провода (СИП) и габаритов. Если при приемке ВЛИ в эксплуатацию будет установлено нарушение требований при ее строительстве и монтаже, то данная линия не должна приниматься в эксплуатацию.

В перечень документации, представляемой при приемке ВЛИ в эксплуатацию и передаваемой заказчику подрядной организацией, входят: проект линии, скорректированный и согласованный с заказчиком (исполнительная схема сети); исполнительный чертеж трассы, выполненный в масштабе 1:500; материалы по согласованию трассы ВЛИ; протокол заводских испытаний (сертификат) на СИП; акты о состоянии СИП на барабанах; сертификаты на линейную арматуру и опоры; акты освидетельствования скрытых работ; протокол измерений сопротивления изоляции; уставки защиты, протоколы наладки коммутационных и защитных аппаратов линии (автоматических выключателей, предохранителей, реле нулевой защиты и др.); протокол замеров токов однофазного короткого замыкания в конце линии или сопротивления петли «фаза-нуль» с указанием токов короткого замыкания; протокол испытаний заземляющих устройств; акты приемки переходов и пересечений.

3.3.9 ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Организация эксплуатации воздушных линий с изолированными проводами 0,38 кВ производится аналогично традиционным ВЛ 0,38кВ с неизолированными проводами с учетом конструктивных особенностей ВЛИ. Для оценки состояния ВЛИ в процессе эксплуатации, а также с целью обеспечения их работоспособности персоналом проводятся периодические осмотры, испытания и ремонт в соответствии с действующим ПТЭ.

3.3.9.1 ОСМОТРЫ ВЛИ

Осмотры трасс ВЛИ монтерами должны производиться по утвержденному графику не реже одного раза в год. Инженерно-технический персонал проводит ежегодные выборочные осмотры линий или участков, а также всех линий, подлежащих капитальному ремонту в текущем году.

Персонал, проводящий осмотр трасс ВЛИ, обязан: осмотреть всю трассу ВЛИ; осмотреть с земли состояние СИП по всей трассе; осмотреть места пересечения ВЛИ с линиями электропередачи, связи и другими инженерными сооружениями, при необходимости определить соответствие габаритов до ВЛИ; определить соответствие габаритов ВЛИ до земли и стрел провеса СИП проектным величинам в местах, вызывающих сомнения; визуально определить состояние стоек опор; выявить наличие деревьев на трассе, падение которых может привести к механическому повреждению СИП; осмотреть с земли состояние крепления несущей жилы СИП в натяжных зажимах на опорах анкерного типа и в поддерживающих зажимах на промежуточных опорах; осмотреть с земли состояние арматуры на ответвлениях к вводам в здания; проверить соединение нижнего заземляющего выпуска стойки с заземлителем при их надземном соединении. Анализ полученных при осмотре данных проводится персоналом путем сравнения с нормативными параметрами и результатами предыдущих осмотров, при этом определяется степень опасности дефектов и намечаются сроки их устранения.

3.3.9.2 ПЕРИОДИЧНОСТЬ ИСПЫТАНИЙ ВЛИ

ВЛИ должны испытываться перед вводом в эксплуатацию, а также в процессе эксплуатации. Устанавливается периодичность испытаний в процессе эксплуатации: первое – через год после включения линий в работу; последующие – при необходимости (после ремонта, реконструкции, подключения новых нагрузок и т.п.); отдельные виды испытаний – с указанной ниже периодичностью.

Профилактические испытания изоляции ВЛИ мегомметром на напряжении 2500 В выполняются при необходимости, но не реже 1 раза в 6 лет. Испытания проводятся после отсоединения (отключения) от линии всех потребителей. Испытания изоляции жил СИП, изоляции их соединений

и ответвлений от них выполняются при необходимости, но не реже 1 раза в 6 лет. Измерение общего сопротивления всех заземлителей нулевого провода, а также отдельных заземлителей у опор, имеющих наружные спуски с доступными с земли болтовыми соединениями, проводятся не реже 1 раза в 6 лет. Измерения должны выполняться в периоды наибольшего высыхания грунта.

Выборочный контроль состояния заземлителей с их раскопкой производится выборочно на 2 % железобетонных опор в местах возможного их повреждения, в агрессивных грунтах, в населенной местности с замером сопротивления не реже 1 раза в 12 лет. Визуальный контроль наличия цепи между заземлителями и заземляемыми элементами проводится ежегодно при осмотрах воздушных линий с изолированными проводами. Измерение тока однофазного короткого замыкания на нулевой провод проводится при изменении длины или сечения проводов ВЛИ (или ее участков), но не реже 1 раза в 12 лет. Результаты испытаний оформляются протоколом и заносятся в паспорт линии.

3.3.9.3 ПОИСК ПОВРЕЖДЕНИЙ И РЕМОНТ НА ВЛИ

Работы по поиску повреждения изоляции самонесущего изолированного провода (СИП) осуществляются для определения жил с поврежденной изоляцией и места повреждения.

Определение поврежденных жил производится путем испытания изоляции каждой токоведущей жилы относительно нулевого провода и между токоведущими жилами. Испытания проводятся мегомметром на 2 кВ после отсоединения (отключения) от линии всех потребителей.

Методы определения мест повреждения на ВЛИ 0,38 кВ такие же, как и для кабельных линий. Для определения зоны повреждения применяют импульсный метод, а места повреждения – индукционный и акустический методы. После проведения испытаний СИП все провода должны кратковременно заземляться для снятия зарядного тока.

Для поддержания линии в технически исправном состоянии проводятся текущие и капитальные ремонты. Ремонт ВЛИ должен производиться по утвержденному графику, составленному с учетом результатов осмотров и испытаний. Периодичность капитальных ремонтов для ВЛИ на железобетонных опорах – 1 раз в 10 лет, на деревянных опорах – 1 раз в

5 лет. Объем ремонта определяется на основании выявленных при осмотрах и испытаниях ВЛИ дефектов.

В объем капитального ремонта при необходимости включаются: замена и ремонт опор; замена деталей опор; выправка опор; установка приставок к существующим опорам; замена СИП; регулировка стрел провеса проводов; замена вводов к потребителям; ремонт уличного освещения и другие виды работ. Ремонт заземляющих устройств и заземляющих спусков выполняется безотлагательно.

При обрыве СИП в результате падения дерева, наезда транспорта и других причин ремонт должен производиться путем монтажа ремонтной вставки из СИП. При этом сечение жил ремонтной вставки должно быть не меньше сечения поврежденных жил.

Ремонтная вставка монтируется следующим образом. Нулевая несущая жила самонесущего изолированного провода соединяется с помощью овальных соединителей марки СО или АС, которые монтируются методом опрессования. Фазные и фонарная жилы соединяются с помощью соединительных или ответвительных зажимов, при этом они должны разноситься по длине СИП.

При фазировке СИП следует использовать имеющуюся заводскую разметку фаз. Восстановление изоляции провода при небольших ее повреждениях выполняется самосклеивающейся лентой типа СЗЛА, ЛЭТСАР ЛП, ЛЭТСАР ЛПм, применяемой при монтаже кабельных линий.

3.4 ОСНОВНЫЕ ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ ОПОР ВЛИ 0,4кВ С СИП С ИЗОЛИРОВАННОЙ НЕСУЩЕЙ НЕЙТРАЛЬЮ

На схеме условной сети (рис. 103) показана линия СИП до 1 кВ с изолированной несущей нейтралью – 15 типовыми узлами.

Сечение проводов фиксированное, и вся арматура подобрана соответственно размерам указанного СИП.

Арматура СИП, применяемая в схеме условной сети, приведена в табл. 9.

Таблица 9

№ узла	Вариант крепления
1	Анкерное крепление магистральной линии СИП и ее ввод в трансформаторную подстанцию

2	Двойное анкерное крепление
3	Промежуточное крепление СИП с подключением светильника уличного освещения
4	Промежуточное крепление СИП магистральной линии
5	Промежуточное крепление СИП с магистральным ответвлением
6	Промежуточное крепление СИП магистральной линии с повторным заземлением
7	Промежуточное крепление СИП магистральной линии с ответвлением к абоненту
8	Соединение проводов СИП в пролете
9	Анкерное крепление и соединение магистральной линии СИП с силовым кабелем
10	Двойное анкерное крепление магистральной линии СИП с установкой ограничителей напряжения
11	Анкерное крепление и присоединение магистральной линии СИП к неизолированным проводам
12	Двойное анкерное крепление СИП абонентского ответвления
13	Анкерное и промежуточное крепление СИП абонентского ответвления на стенах зданий
14	Подключение линии СИП к вводно-распределительным устройствам зданий технического или производственного назначения (насосные станции, цеха, мастерские и т.д.)
15	Анкерное крепление магистральной линии СИП к стене здания технического или производственного назначения (насосные станции, цеха, мастерские и т.д.)

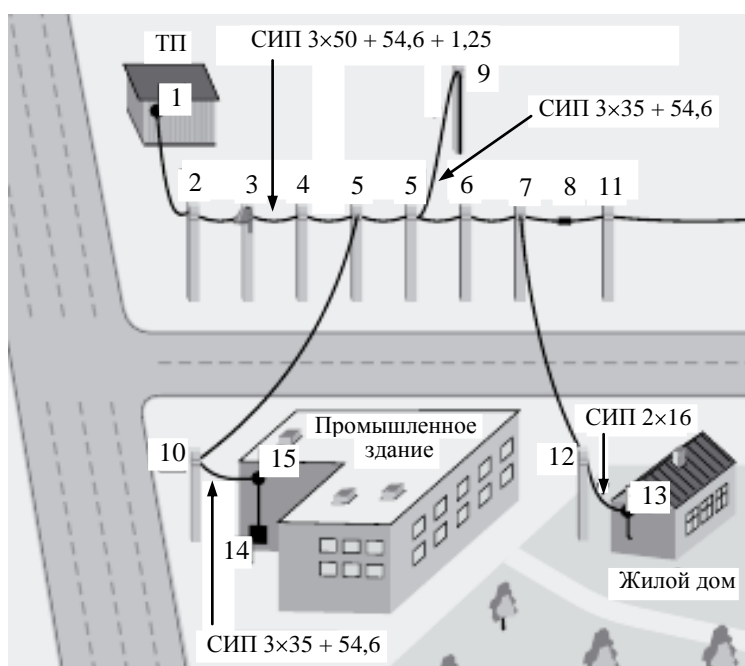
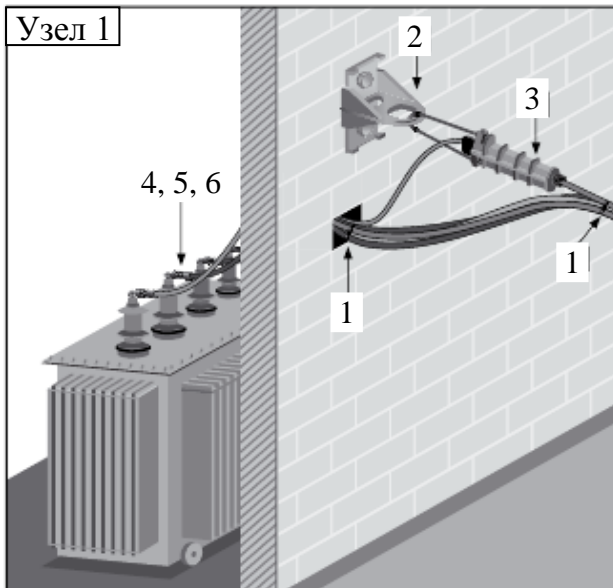
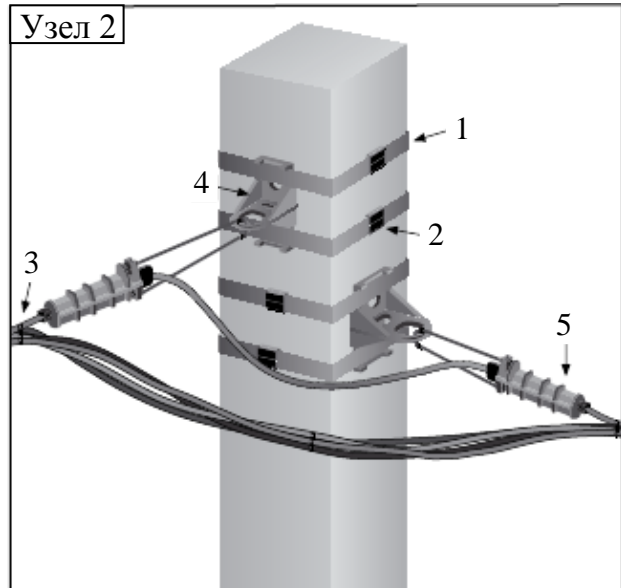


Рис. 103



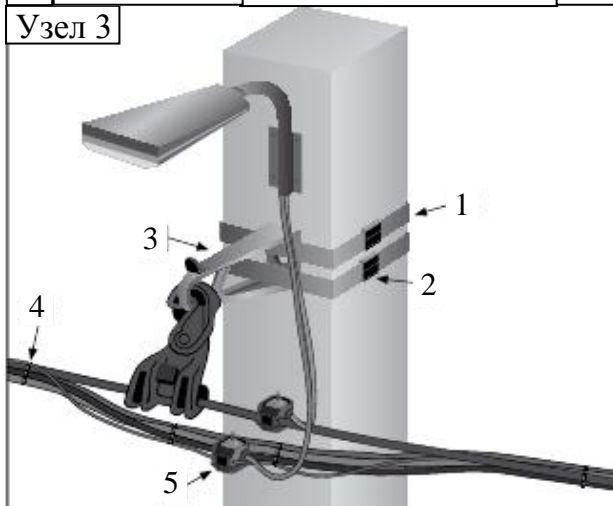
Перечень материалов, необходимых для монтажа узла

№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	KR1	Кабельный ремешок	2
2	СА 2000.1	Кронштейн	1
3	РА 1500	Анкерный зажим	1
4	СРТАУ 50	Герметичные изолированные наконечники	3
5	СРТАУ 54	Герметичные изолированные наконечники	1
6	СРТАУ 25	Герметичные изолированные наконечники	1

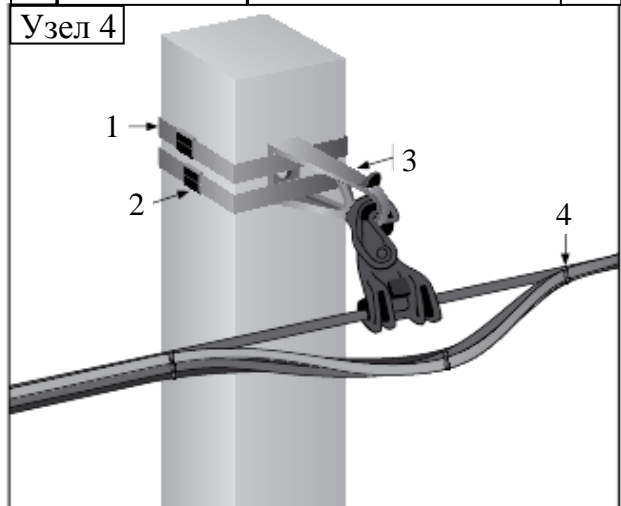


Перечень материалов, необходимых для монтажа узла

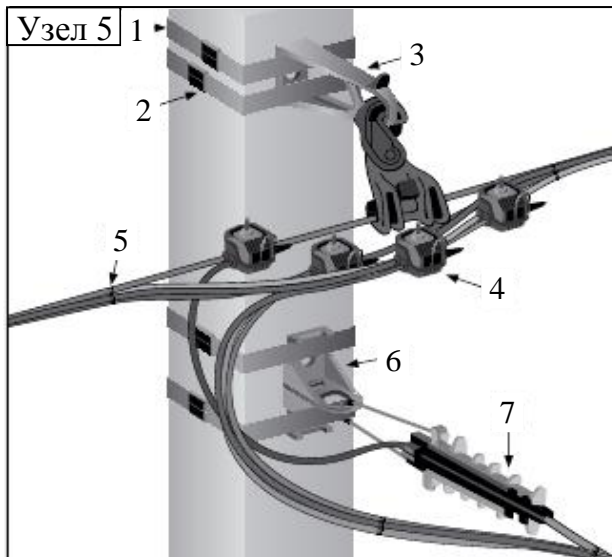
№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	F 20	Монтажная лента	4 м.
2	С 20	Скрепы для крепления лент	4
3	KR1	Кабельный ремешок	3
4	СА 2000.1	Кронштейн	2
5	РА 1500	Анкерный зажим	2



№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	F 20	Монтажная лента	2 м.
2	С 20	Скрепы для крепления лент	2
3	ES 1500	Комплект промежуточной подвески	1
4	KR1	Кабельный ремешок	4
5	ОП 6	Прокалывающий зажим	2

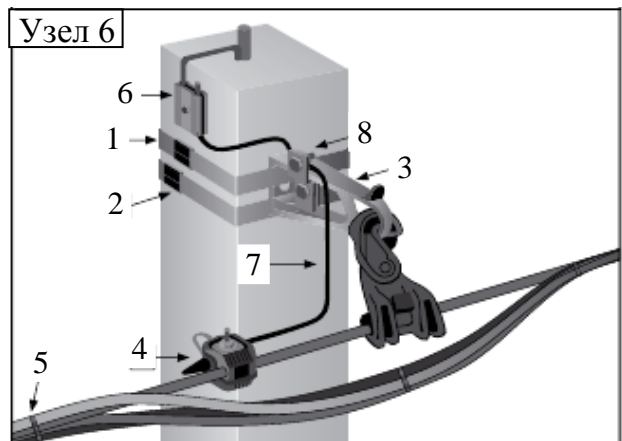
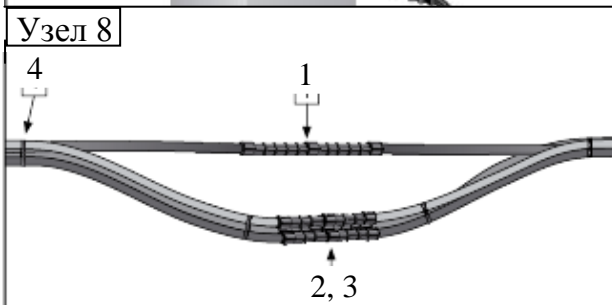
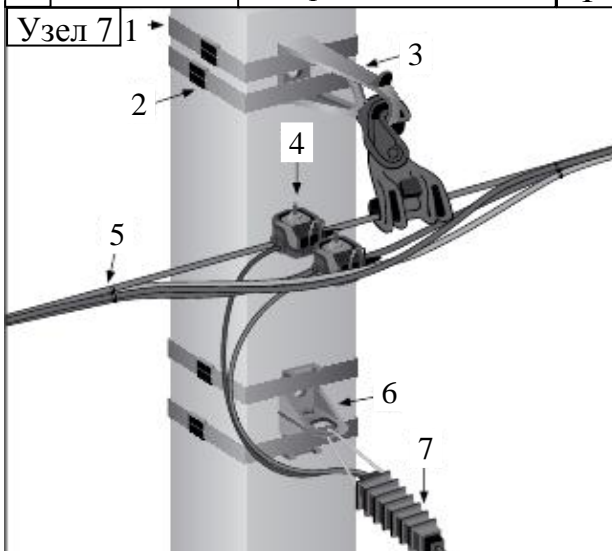


№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	F 20	Монтажная лента	2 м.
2	С 20	Скрепы для крепления лент	2
3	ES 1500	Комплект промежуточной подвески	1
4	KR1	Кабельный ремешок	3



Перечень материалов, необходимых для монтажа узла

№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	F 20	Монтажная лента	4 м.
2	C 20	Скрепы для крепления лент	4
3	ES 1500	Комплект промежуточной подвески	1
4	OP 95	Прокалывающий зажим	4
5	KR1	Кабельный ремешок	4
6	CA 2000.1	Кронштейн	1
7	PA 1500	Анкерный зажим	1

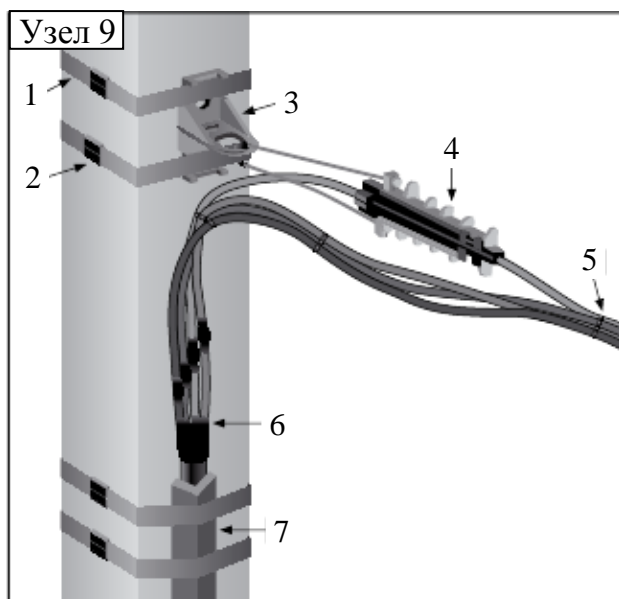


Перечень материалов, необходимых для монтажа узла

№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	F 20	Монтажная лента	2 м.
2	C 20	Скрепы для крепления лент	2
3	ES 1500	Комплект промежуточной подвески	1
4	OP 95	Прокалывающий зажим	1
5	KR1	Кабельный ремешок	3
6	ПС-1-1А	Плашечный зажим	1
7	ЗП-1М	Заземляющий проводник	1
8	KZP-2	Крепление заземляющего проводника	1

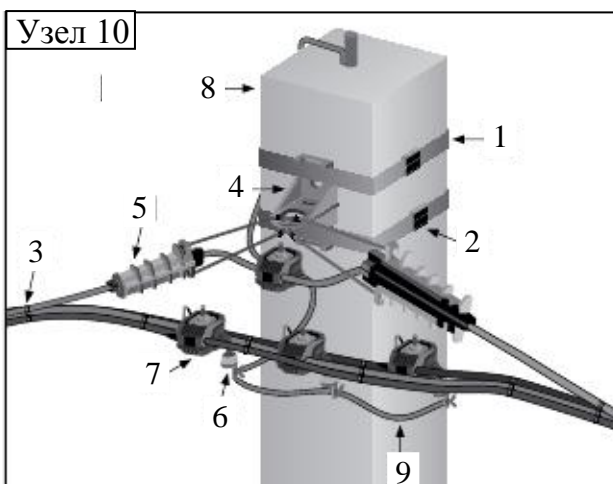
№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	F 20	Монтажная лента	4 м.
2	C 20	Скрепы для крепления лент	4
3	ES 1500	Комплект промежуточной подвески	1
4	OP 95	Прокалывающий зажим	2
5	KR1	Кабельный ремешок	2
6	CA 2000.1	Кронштейн	1
7	PA 25×100	Анкерный зажим для проводов абонентов	1

№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	MJPT 54, 6N	Изолированный соединитель для несущей нейтрали	1
2	MJPT 50	Изолированный соединитель для фазных проводов	3
3	MJPT 25	Изолированный соединитель для фазных проводов	1
4	KR1	Кабельный ремешок	4



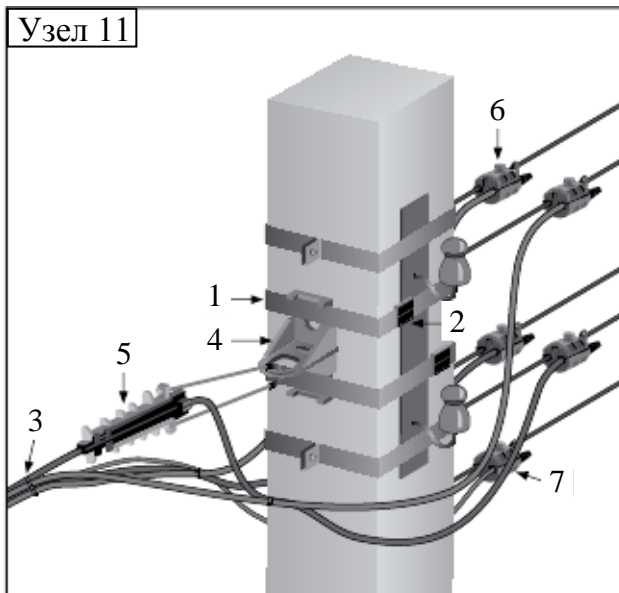
Перечень материалов, необходимых для монтажа узла

№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	F 20	Монтажная лента	4 м.
2	C 20	Скрепы для крепления лент	4
3	CA 2000.1	Кронштейн	1
4	PA 1500	Анкерный зажим	1
5	KR1	Кабельный ремешок	3
6	-	Комплект Концевой муфты	1
7	-	Защитный профиль	1



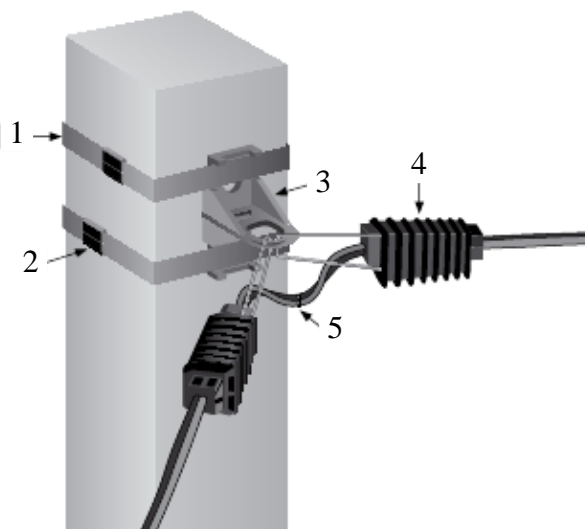
Перечень материалов, необходимых для монтажа узла

№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	F 20	Монтажная лента	2 м.
2	C 20	Скрепы для крепления лент	2
3	KR1	Кабельный ремешок	6
4	CA 2000.1	Кронштейн	1
5	PA 1500	Анкерный зажим	2
6	LVA-450-4	Ограничитель перенапряжения	3
7	OP 645	Прокалывающий зажим	4
8	ПС-1-1А	Плащечный зажим	1
9	-	Шунт заземление	3



№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	F 20	Монтажная лента	2 м.
2	C 20	Скрепы для крепления лент	2
3	KR1	Кабельный ремешок	3
4	CA 2000.1	Кронштейн	1
5	PA 1500	Анкерный зажим	1
6	ZP 2	Ответвительный зажим для присоединения СИП к голым проводам	4
7	ZP 1	Ответвительный зажим для присоединения СИП к голым проводам	1

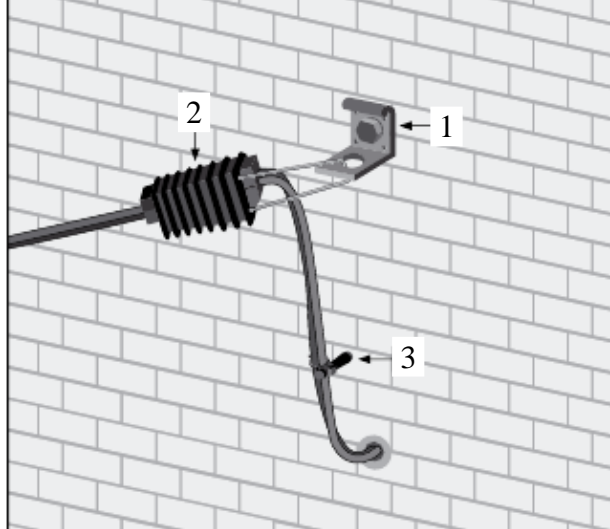
Узел 12



Перечень материалов, необходимых для монтажа узла

№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	F 20	Монтажная лента	2 м.
2	C 20	Скрепы для крепления лент	2
3	CA 2000.1	Кронштейн	1
4	PA 25×100	Анкерный зажим для проводов абонентов	2
5	KR1	Кабельный ремешок	1

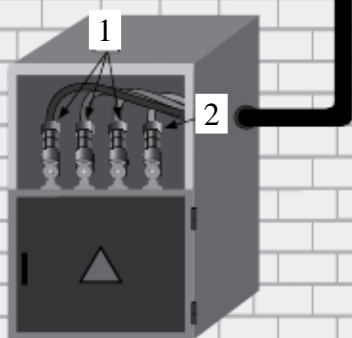
Узел 13



Перечень материалов, необходимых для монтажа узла

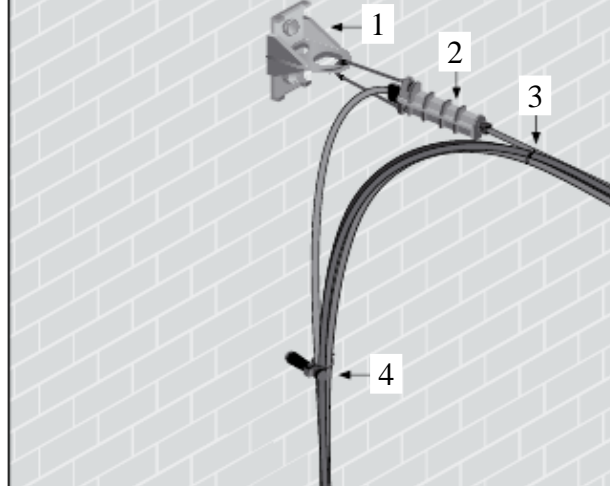
№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	CA 25	Кронштейн	1
2	PA 25×100	Анкерный зажим для проводов абонентов	1
3	BRPF-1	Фасадное крепление	1

Узел 14



№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	СРТАУ 35	Герметичные изолированные наконечники	3
2	СРТАУ 54	Герметичные изолированные наконечники	1

Узел 15



№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	CA 2000.1	Кронштейн	1
2	PA 1500	Анкерный зажим	1
3	KR1	Кабельный ремешок	1
4	BRPF-1	Фасадное крепление	1

3.5 ОСНОВНЫЕ ТИПОВЫЕ РЕШЕНИЯ ОПОР ВЛИ 0,4кВ С СИП С ГОЛОЙ НЕСУЩЕЙ НЕЙТРАЛЬЮ

На схеме условной сети (рис. 104) показана линия СИП до 1 кВ с голой несущей нейтралью – 8 типовыми узлами.

Сечение проводов фиксированное, и вся арматура подобрана соответственно размерам указанного СИП.

Арматура СИП, применяемая в схеме условной сети, приведена в табл. 10.

Таблица 10

№ узла	Вариант крепления
1	Анкерное крепление и соединение СИП с силовым кабелем
2	Соединение проводов СИП
3	Промежуточная арматура и арматура для основного ответвления СИП
4	Промежуточная арматура для основной линии СИП и абонентское ответвление с ограничителями перенапряжения
5	Промежуточная арматура СИП и присоединение уличного освещения
6	Двойное анкерное крепление СИП и установка ограничителей перенапряжения
7	Анкерная арматура и зажимы для присоединения СИП к голым проводам
8	Ответвление СИП от основной голой линии

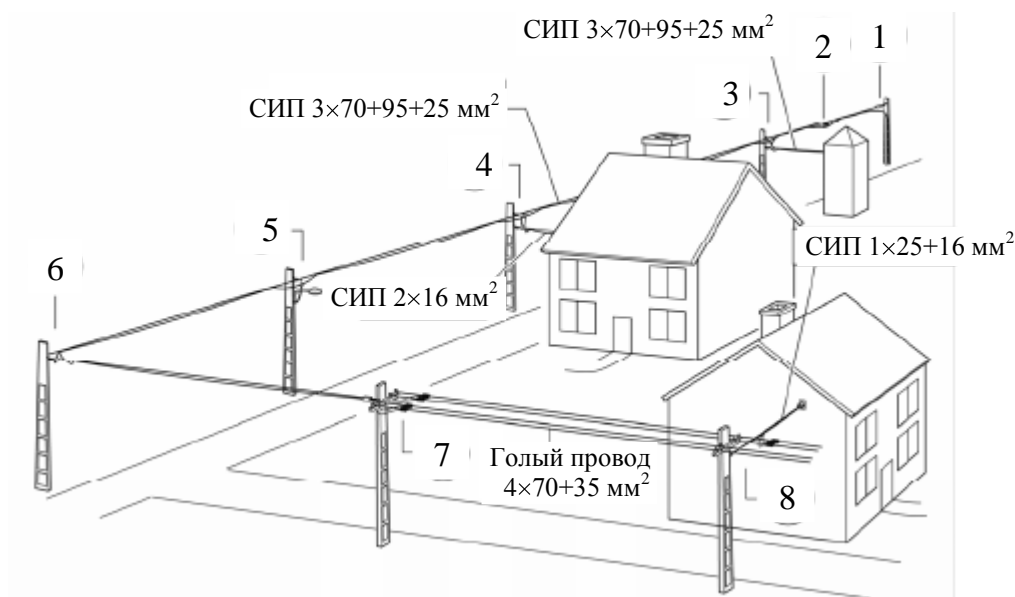
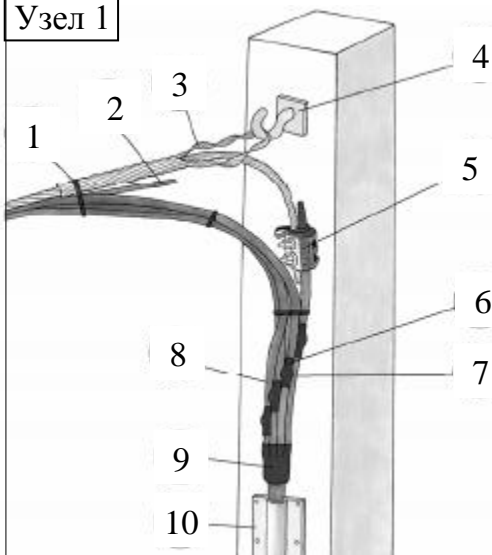


Рис. 104

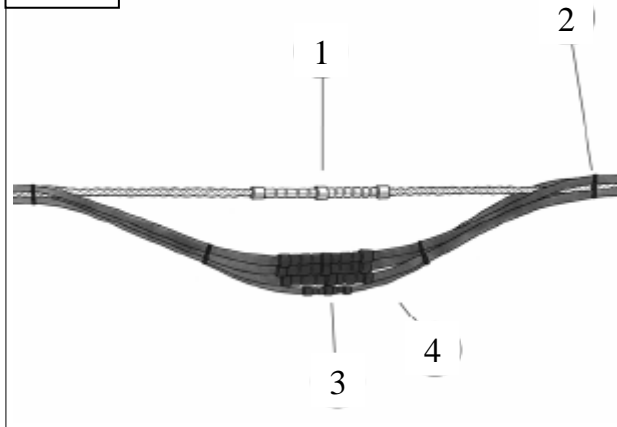
Узел 1



Перечень материалов, необходимых для монтажа узла

№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	CSB	Кабельный ремешок	3
2	CECT 6-35	Концевые капы	1
3	DUL-ASDE-1045	Спиральный анкерный зажим	1
4	HEL-5552	Болтовой крюк	1
5	CDR/CN 1S 95 UK	Ответвительный зажим для присоединения СИП к голым проводам	1
6	WCSM 33/8	Термоусаживаемая трубка	4
7	HEL 6893ZAK	Механический соединитель	4
8	CGPT 18/6-0	Термоусаживаемая трубка	4
9	502 K 016/S	Термоусаживаемая перчатка	1
10	GPC 60×60 L2750	Защитный профиль из ПВХ	1-3

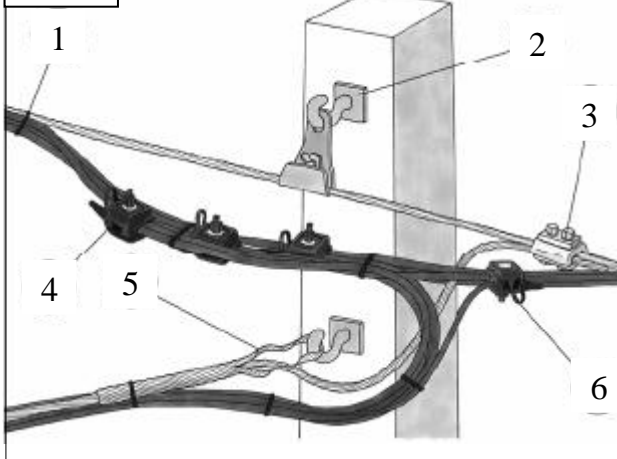
Узел 2



Перечень материалов, необходимых для монтажа узла

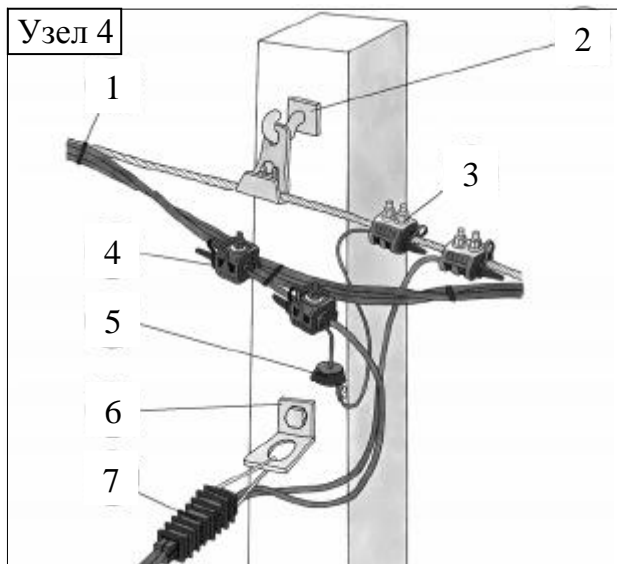
№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	HEL-73350	Соединитель с полной осевой нагрузкой	1
2	CSB	Кабельный ремешок	4
3	MJPT-95	Герметичные изолированные гильзы	3
4	MJPT-25	Герметичные изолированные гильзы	1

Узел 3



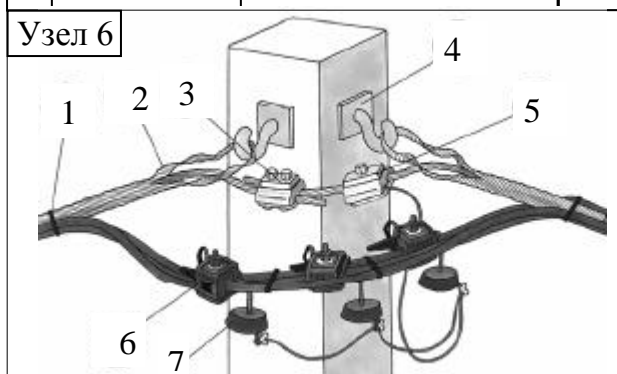
Перечень материалов, необходимых для монтажа узла

№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	CSB	Кабельный ремешок	10
2	HEL-5552	Болтовой крюк	2
3	HEL-3590	Плашечный зажим	1
4	P3×95	Прокалывающий зажим	3
5	DUL-ASDE-1045	Спиральный анкерный зажим	1
6	P2×95	Прокалывающий зажим	1

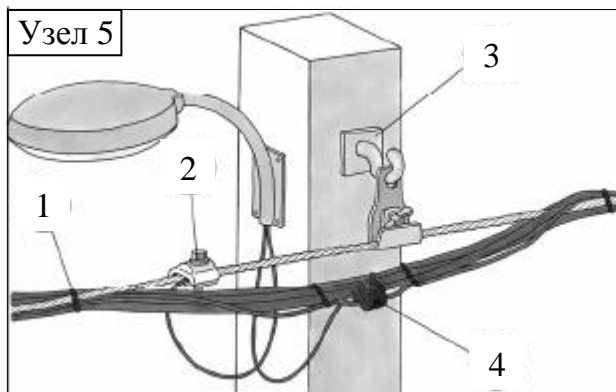


Перечень материалов, необходимых для монтажа узла

№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	CSB	Кабельный ремешок	7
2	HEL-5551	Болтовой крюк	1
3	RDP 25/CN	Прокалывающий зажим	2
4	P2×95	Прокалывающий зажим	2
5	LVA 280 CS	Ограничитель перенапряжения	1
6	СAB25	Анкерный кронштейн	1
7	PA 25×100	Анкерный зажим для линии абонентов	1

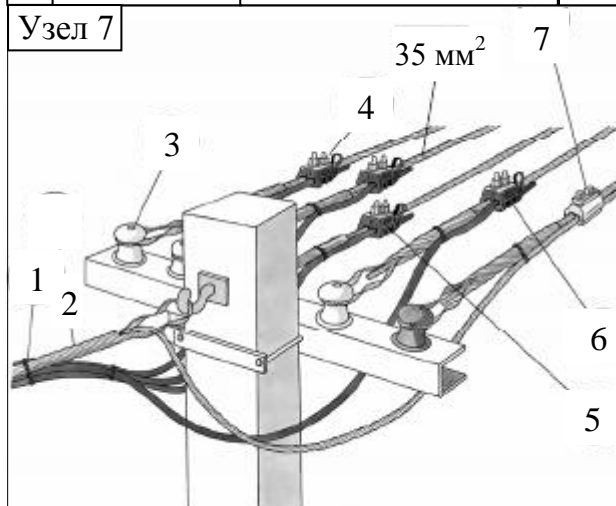


№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	CSB	Кабельный ремешок	8
2	DUL-ASDE-1045	Спиральный анкерный зажим	2
3	HEL-3590	Плашечный зажим	1
4	HEL-5552	Болтовой крюк	2
5	HEL-3919	Плашечный зажим	1
6	P2×95	Прокалывающий зажим	3
7	LVA 280 CS	Ограничитель перенапряжения	3



Перечень материалов, необходимых для монтажа узла

№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	CSB	Кабельный ремешок	6
2	HEL-3920	Плашечный зажим	1
3	HEL-5551	Болтовой крюк	1
4	KZEP-13	Прокалывающий зажим	1



№	Обозначение	Наименование	Шт.
1	CSB	Кабельный ремешок	7
2	DUL-ASDE-1045	Спиральный анкерный зажим	1
3	DUL-ASDE-0655	Спиральный анкерный зажим	4
4	RDP 25/CN	Ответвительный зажим для присоединения СИП к голым проводам	1
5	DUL-ASDE-0740	Спиральный анкерный зажим	1
6	CDR/CN 1S 95 UK	Ответвительный зажим для присоединения СИП к голым проводам	3
7	HEL-3590	Плашечный зажим	1

Узел 8		Перечень материалов, необходимых для монтажа узла		
№	Обозначение	Наименование	Шт.	
1	RDP 25/CN	Ответвительный зажим	1	
2	HEL-3589	Плашечный зажим	1	
3	HEL-5642	Крюк	1	
4	HEL-38027	Анкерный зажим с изогнутыми пазами	1	
5	CSB	Кабельный ремешок	3	

Данные о взаимозаменяемости (аналогов) арматуры для СИП 0,4кВ приведены в приложении П2.

Приложение П.1

```
% Script file: calc_TPFUL.m

% Назначение:
% Данная программа предназначена для расчета режима работы трехфазной четырехпроводной
% сети при несимметричной нагрузке.
% Purpose:
% This program is designed to calculate the mode of operation of the three-phase four-wire mains at the
% unbalanced load.
Model {
  Name          "dTPFUL"
  Version       7.7
  MdlSubVersion      0
  GraphicalInterface {
    NumRootInports      0
    NumRootOutports     0
    ParameterArgumentNames ""
    ComputedModelVersion "1.16"
    NumModelReferences  0
    NumTestPointedSignals 0
  }
  SavedCharacterEncoding "windows-1251"
  SaveDefaultBlockParams on
  ScopeRefreshTime      0.035000
  OverrideScopeRefreshTime on
  DisableAllScopes      off
  DataTypeOverride      "UseLocalSettings"
  DataTypeOverrideAppliesTo "AllNumericTypes"
  MinMaxOverflowLogging "UseLocalSettings"
  MinMaxOverflowArchiveMode "Overwrite"
  MaxMDLFileLineLength 120
  Created               "Wed Feb 07 16:21:22 2013"
  Creator               "AlexSOFT"
  UpdateHistory         "UpdateHistoryNever"
  ModifiedByFormat      "%<Auto>"
  LastModifiedBy       "PaPa"
  ModifiedDateFormat    "%<Auto>"
  LastModifiedDate     "Fri Sep 03 18:34:46 2013"
  RTWModifiedTimeStamp  301448046
  ModelVersionFormat    "1.%<AutoIncrement:16>"
  ConfigurationManager  "None"
  SampleTimeColors      off
  SampleTimeAnnotations off
  LibraryLinkDisplay    "none"
  WideLines             off
  ShowLineDimensions    off
  ShowPortDataTypes     off
  ShowLoopsOnError      on
  IgnoreBidirectionalLines off
  ShowStorageClass      off
  ShowTestPointIcons    on
  ShowSignalResolutionIcons on
  ShowViewerIcons       on
  SortedOrder           off
  ExecutionContextIcon  off
  ShowLinearizationAnnotations on
  BlockNameDataTip      off
```

```

BlockParametersDataTip off
BlockDescriptionStringDataTip off
ToolBar on
StatusBar on
BrowserShowLibraryLinks off
BrowserLookUnderMasks off
SimulationMode "normal"
LinearizationMsg "none"
Profile off
ParamWorkspaceSource "MATLABWorkspace"
AccelSystemTargetFile "accel.tlc"
AccelTemplateMakefile "accel_default_tmf"
AccelMakeCommand "make_rtw"
TryForcingSFcnDF off
Object {
  $PropName "DataLoggingOverride"
  $ObjectID 1
  $ClassName "Simulink.SimulationData.ModelLoggingInfo"
  model_ "d3"
  signals_ []
  overrideMode_ [0.0]
  Array {
    Type "Cell"
    Dimension 1
    Cell "d3"
    PropName "logAsSpecifiedByModels_"
  }
  Array {
    Type "Cell"
    Dimension 1
    Cell []
    PropName "logAsSpecifiedByModelsSSIDs_"
  }
}
RecordCoverage off
CovPath "/"
CovSaveName "covdata"
CovMetricSettings "dw"
CovNameIncrementing off
CovHtmlReporting on
CovForceBlockReductionOff on
covSaveCumulativeToWorkspaceVar on
CovSaveSingleToWorkspaceVar on
CovCumulativeVarName "covCumulativeData"
CovCumulativeReport off
CovReportOnPause on
CovModelRefEnable "Off"
CovExternalEMLEnable off
ExtModeBatchMode off
ExtModeEnableFloating on
ExtModeTrigType "manual"
ExtModeTrigMode "normal"
ExtModeTrigPort "1"
ExtModeTrigElement "any"
ExtModeTrigDuration 1000
ExtModeTrigDurationFloating "auto"
ExtModeTrigHoldOff 0

```

```

ExtModeTrigDelay    0
ExtModeTrigDirection    "rising"
ExtModeTrigLevel    0
ExtModeArchiveMode    "off"
ExtModeAutoIncOneShot    off
ExtModeIncDirWhenArm    off
ExtModeAddSuffixToVar    off
ExtModeWriteAllDataToWs    off
ExtModeArmWhenConnect    on
ExtModeSkipDownloadWhenConnect    off
ExtModeLogAll    on
ExtModeAutoUpdateStatusClock    on
BufferReuse    on
ShowModelReferenceBlockVersion    off
ShowModelReferenceBlockIO    off
Array {
  Type    "Handle"
  Dimension    1
  Simulink.ConfigSet {
    $ObjectID    2
    Version    "1.11.0"
    Array {
      Type    "Handle"
      Dimension    9
      Simulink.SolverCC {
        $ObjectID    3
        Version    "1.11.0"
        StartTime    "0.0"
        StopTime    "10.0"
        AbsTol    "auto"
        FixedStep    "auto"
        InitialStep    "auto"
        MaxNumMinSteps    "-1"
        MaxOrder    5
        ZcThreshold    "auto"
        ConsecutiveZCsStepRelTol    "10*128*eps"
        MaxConsecutiveZCs    "1000"
        ExtrapolationOrder    4
        NumberNewtonIterations    1
        MaxStep    "auto"
        MinStep    "auto"
        MaxConsecutiveMinStep    "1"
        RelTol    "1e-3"
        SolverMode    "Auto"
        ConcurrentTasks    off
        Solver    "ode45"
        SolverName    "ode45"
        SolverJacobianMethodControl    "auto"
        ShapePreserveControl    "DisableAll"
        ZeroCrossControl    "UseLocalSettings"
        ZeroCrossAlgorithm    "Nonadaptive"
        AlgebraicLoopSolver    "TrustRegion"
        SolverResetMethod    "Fast"
        PositivePriorityOrder    off
        AutoInsertRateTranBlk    off
        SampleTimeConstraint    "Unconstrained"
        InsertRTBMode    "Whenever possible"
      }
    }
  }
}

```

```

}
Simulink.DataIOCC {
  $ObjectID      4
  Version        "1.11.0"
  Decimation     "1"
  ExternalInput  "[t, u]"
  FinalStateName "xFinal"
  InitialState   "xInitial"
  LimitDataPoints on
  MaxDataPoints          "1000"
  LoadExternalInput     off
  LoadInitialState      off
  SaveFinalState        off
  SaveCompleteFinalSimState off
  SaveFormat            "Array"
  SignalLoggingSaveFormat "ModelDataLogs"
  SaveOutput            on
  SaveState             off
  SignalLogging                on
  DSMLogging             on
  InspectSignalLogs      off
  SaveTime               on
  ReturnWorkspaceOutputs off
  StateSaveName          "xout"
  TimeSaveName           "tout"
  OutputSaveName        "yout"
  SignalLoggingName     "logout"
  DSMLoggingName        "dsmout"
  OutputOption          "RefineOutputTimes"
  OutputTimes           "[]"
  ReturnWorkspaceOutputsName "out"
  Refine                "1"
}
Simulink.OptimizationCC {
  $ObjectID      5
  Version        "1.11.0"
  Array {
    Type          "Cell"
    Dimension     8
    Cell          "BooleansAsBitfields"
    Cell          "PassReuseOutputArgsAs"
    Cell          "PassReuseOutputArgsThreshold"
    Cell          "ZeroExternalMemoryAtStartup"
    Cell          "ZeroInternalMemoryAtStartup"
    Cell          "OptimizeModelRefInitCode"
    Cell          "NoFixptDivByZeroProtection"
    Cell          "UseSpecifiedMinMax"
    PropName      "DisabledProps"
  }
  BlockReduction      on
  BooleanDataType     on
  ConditionallyExecuteInputs on
  InlineParams        off
  UseIntDivNetSlope  off
  UseSpecifiedMinMax off
  InlineInvariantSignals off
  OptimizeBlockIOStorage on

```

```

BufferReuse          on
EnhancedBackFolding off
StrengthReduction   off
ExpressionFolding   on
BooleansAsBitfields off
BitfieldContainerType "uint_T"
EnableMemcpy        on
MemcpyThreshold     64
PassReuseOutputArgsAs "Structure reference"
ExpressionDepthLimit 2147483647
FoldNonRolledExpr   on
LocalBlockOutputs   on
RollThreshold       5
SystemCodeInlineAuto off
StateBitsets        off
DataBitsets         off
UseTempVars         off
ZeroExternalMemoryAtStartup on
ZeroInternalMemoryAtStartup on
InitFltsAndDblsToZero off
NoFixptDivByZeroProtection off
EfficientFloat2IntCast off
EfficientMapNaN2IntZero on
OptimizeModelRefInitCode off
LifeSpan            "inf"
MaxStackSize         "Inherit from target"
BufferReusableBoundary on
SimCompilerOptimization "Off"
AccelVerboseBuild   off
AccelParallelForEachSubsystem on
}
Simulink.DebuggingCC {
  $ObjectID          6
  Version             "1.11.0"
  RTPrefix            "error"
  ConsistencyChecking "none"
  ArrayBoundsChecking "none"
  SignalInfNanChecking "none"
  SignalRangeChecking "none"
  ReadBeforeWriteMsg "UseLocalSettings"
  WriteAfterWriteMsg "UseLocalSettings"
  WriteAfterReadMsg "UseLocalSettings"
  AlgebraicLoopMsg "warning"
  ArtificialAlgebraicLoopMsg "warning"
  SaveWithDisabledLinksMsg "warning"
  SaveWithParameterizedLinksMsg "warning"
  CheckSSInitialOutputMsg on
  UnderspecifiedInitializationDetection "Classic"
  MergeDetectMultiDrivingBlocksExec "none"
  CheckExecutionContextPreStartOutputMsg off
  CheckExecutionContextRuntimeOutputMsg off
  SignalResolutionControl "UseLocalSettings"
  BlockPriorityViolationMsg "warning"
  MinStepSizeMsg "warning"
  TimeAdjustmentMsg "none"
  MaxConsecutiveZCsMsg "error"
  MaskedZcDiagnostic "warning"
}

```


IgnoredZcDiagnostic "warning"
 SolverPrmCheckMsg "warning"
 InheritedTsInSrcMsg "warning"
 DiscreteInheritContinuousMsg "warning"
 MultiTaskDSMMMsg "error"
 MultiTaskCondExecSysMsg "error"
 MultiTaskRateTransMsg "error"
 SingleTaskRateTransMsg "none"
 TasksWithSamePriorityMsg "warning"
 SigSpecEnsureSampleTimeMsg "warning"
 CheckMatrixSingularityMsg "none"
 IntegerOverflowMsg "warning"
 Int32ToFloatConvMsg "warning"
 ParameterDowncastMsg "error"
 ParameterOverflowMsg "error"
 ParameterUnderflowMsg "none"
 ParameterPrecisionLossMsg "warning"
 ParameterTunabilityLossMsg "warning"
 FixptConstUnderflowMsg "none"
 FixptConstOverflowMsg "none"
 FixptConstPrecisionLossMsg "none"
 UnderSpecifiedDataTypeMsg "none"
 UnnecessaryDatatypeConvMsg "none"
 VectorMatrixConversionMsg "none"
 InvalidFcnCallConnMsg "error"
 FcnCallInpInsideContextMsg "Use local settings"
 SignalLabelMismatchMsg "none"
 UnconnectedInputMsg "warning"
 UnconnectedOutputMsg "warning"
 UnconnectedLineMsg "warning"
 SFcnCompatibilityMsg "none"
 UniqueDataStoreMsg "none"
 BusObjectLabelMismatch "warning"
 RootOutportRequireBusObject "warning"
 AssertControl "UseLocalSettings"
 EnableOverflowDetection off
 ModelReferenceIOMsg "none"
 ModelReferenceMultiInstanceNormalModeStructChecksumCheck "error"
 ModelReferenceVersionMismatchMessage "none"
 ModelReferenceIOMismatchMessage "none"
 ModelReferenceCSMismatchMessage "none"
 UnknownTsInhSupMsg "warning"
 ModelReferenceDataLoggingMessage "warning"
 ModelReferenceSymbolNameMessage "warning"
 ModelReferenceExtraNoncontSigs "error"
 StateNameClashWarn "warning"
 SimStateInterfaceChecksumMismatchMsg "warning"
 SimStateOlderReleaseMsg "error"
 InitInArrayFormatMsg "warning"
 StrictBusMsg "ErrorLevel1"
 BusNameAdapt "WarnAndRepair"
 NonBusSignalsTreatedAsBus "none"
 LoggingUnavailableSignals "error"
 BlockIODiagnostic "none"
 SFUnusedDataAndEventsDiag "warning"
 SFUnexpectedBacktrackingDiag "warning"
 SFInvalidInputDataAccessInChartInitDiag "warning"

```

SFNoUnconditionalDefaultTransitionDiag "warning"
SFTransitionOutsideNaturalParentDiag "warning"
}
Simulink.HardwareCC {
  $ObjectID          7
  Version             "1.11.0"
  ProdBitPerChar     8
  ProdBitPerShort    16
  ProdBitPerInt       32
  ProdBitPerLong     32
  ProdBitPerFloat    32
  ProdBitPerDouble   64
  ProdBitPerPointer  32
  ProdLargestAtomicInteger "Char"
  ProdLargestAtomicFloat "None"
  ProdIntDivRoundTo   "Undefined"
  ProdEndianess       "Unspecified"
  ProdWordSize        32
  ProdShiftRightIntArith on
  ProdHWDeviceType   "32-bit Generic"
  TargetBitPerChar   8
  TargetBitPerShort  16
  TargetBitPerInt    32
  TargetBitPerLong   32
  TargetBitPerFloat  32
  TargetBitPerDouble 64
  TargetBitPerPointer 32
  TargetLargestAtomicInteger "Char"
  TargetLargestAtomicFloat "None"
  TargetShiftRightIntArith on
  TargetIntDivRoundTo "Undefined"
  TargetEndianess     "Unspecified"
  TargetWordSize      32
  TargetTypeEmulationWarnSuppressLevel 0
  TargetPreprocMaxBitsSint 32
  TargetPreprocMaxBitsUint 32
  TargetHWDeviceType  "Specified"
  TargetUnknown       off
  ProdEqTarget        on
}
Simulink.ModelReferenceCC {
  $ObjectID          8
  Version             "1.11.0"
  UpdateModelReferenceTargets "IfOutOfDateOrStructuralChange"
  CheckModelReferenceTargetMessage "error"
  EnableParallelModelReferenceBuilds off
  ParallelModelReferenceErrorOnInvalidPool on
  ParallelModelReferenceMATLABWorkerInit "None"
  ModelReferenceNumInstancesAllowed "Multi"
  PropagateVarSize     "Infer from blocks in model"
  ModelReferencePassRootInputsByReference on
  ModelReferenceMinAlgLoopOccurrences off
  PropagateSignalLabelsOutOfModel off
  SupportModelReferenceSimTargetCustomCode off
}
Simulink.SFSimCC {
  $ObjectID          9

```

```

Version                "1.11.0"
SFSimEnableDebug      on
SFSimOverflowDetection on
SFSimEcho              on
SimBlas                on
SimCtrlC              on
SimExtrinsic          on
SimIntegrity           on
SimUseLocalCustomCode off
SimParseCustomCode    on
SimBuildMode          "sf_incremental_build"
}
Simulink.RTWCC {
$BackupClass          "Simulink.RTWCC"
$ObjectID              10
Version                "1.11.0"
Array {
  Type                 "Cell"
  Dimension             8
  Cell                  "IncludeHyperlinkInReport"
  Cell                  "GenerateTraceInfo"
  Cell                  "GenerateTraceReport"
  Cell                  "GenerateTraceReportSl"
  Cell                  "GenerateTraceReportSf"
  Cell                  "GenerateTraceReportEml"
  Cell                  "GenerateSLWebview"
  Cell                  "GenerateCodeMetricsReport"
  PropName              "DisabledProps"
}
SystemTargetFile      "grt.tlc"
GenCodeOnly           off
MakeCommand            "make_rtw"
GenerateMakefile      on
TemplateMakefile      "grt_default_tmf"
GenerateReport        off
SaveLog               off
RTWVerbose            on
RetainRTWFile         off
ProfileTLC            off
TLCDebug              off
TLCCoverage           off
TLCAssert             off
ProcessScriptMode     "Default"
ConfigurationMode     "Optimized"
ConfigAtBuild         off
RTWUseLocalCustomCode off
RTWUseSimCustomCode  off
IncludeHyperlinkInReport off
LaunchReport          off
TargetLang            "C"
IncludeBusHierarchyInRTWFileBlockHierarchyMap off
IncludeERTFirstTime  off
GenerateTraceInfo    off
GenerateTraceReport  off
GenerateTraceReportSl off
GenerateTraceReportSf off
GenerateTraceReportEml off

```

```

GenerateCodeInfo      off
GenerateSLWebview    off
GenerateCodeMetricsReport off
RTWCompilerOptimization "Off"
CheckMdlBeforeBuild  "Off"
CustomRebuildMode    "OnUpdate"
Array {
  Type      "Handle"
  Dimension 2
  Simulink.CodeAppCC {
    $ObjectID 11
    Version    "1.11.0"
    Array {
      Type      "Cell"
      Dimension 21
      Cell      "IgnoreCustomStorageClasses"
      Cell      "IgnoreTestpoints"
      Cell      "InsertBlockDesc"
      Cell      "InsertPolySpaceComments"
      Cell      "SFDataObjDesc"
      Cell      "MATLABFcnDesc"
      Cell      "SimulinkDataObjDesc"
      Cell      "DefineNamingRule"
      Cell      "SignalNamingRule"
      Cell      "ParamNamingRule"
      Cell      "InlinedPrmAccess"
      Cell      "CustomSymbolStr"
      Cell      "CustomSymbolStrGlobalVar"
      Cell      "CustomSymbolStrType"
      Cell      "CustomSymbolStrField"
      Cell      "CustomSymbolStrFcn"
      Cell      "CustomSymbolStrFcnArg"
      Cell      "CustomSymbolStrBlkIO"
      Cell      "CustomSymbolStrTmpVar"
      Cell      "CustomSymbolStrMacro"
      Cell      "ReqsInCode"
      PropName  "DisabledProps"
    }
  }
  ForceParamTrailComments off
  GenerateComments      on
  IgnoreCustomStorageClasses on
  IgnoreTestpoints      off
  IncHierarchyInIds     off
  MaxIdLength           31
  PreserveName          off
  PreserveNameWithParent off
  ShowEliminatedStatement off
  IncAutoGenComments   off
  SimulinkDataObjDesc  off
  SFDataObjDesc        off
  MATLABFcnDesc        off
  IncDataTypeInIds     off
  MangleLength         1
  CustomSymbolStrGlobalVar "$R$N$M$"
  CustomSymbolStrType     "$N$R$M$"
  CustomSymbolStrField    "$N$M$"
  CustomSymbolStrFcn      "$R$N$M$F$"

```

```

CustomSymbolStrFcnArg "rt$N$M"
CustomSymbolStrBlkIO "rtb_$N$M"
CustomSymbolStrTmpVar "$N$M"
CustomSymbolStrMacro "$R$N$M"
DefineNamingRule "None"
ParamNamingRule "None"
SignalNamingRule "None"
InsertBlockDesc off
InsertPolySpaceComments off
SimulinkBlockComments on
MATLABSourceComments off
EnableCustomComments off
InlinedPrmAccess "Literals"
ReqsInCode off
UseSimReservedNames off
}
Simulink.GRTTargetCC {
$BackupClass "Simulink.TargetCC"
$ObjectID 12
Version "1.11.0"
Array {
Type "Cell"
Dimension 16
Cell "GeneratePreprocessorConditionals"
Cell "IncludeMdlTerminateFcn"
Cell "CombineOutputUpdateFcns"
Cell "SuppressErrorStatus"
Cell "ERTCustomFileBanners"
Cell "GenerateSampleERTMain"
Cell "GenerateTestInterfaces"
Cell "ModelStepFunctionPrototypeControlCompliant"
Cell "CPPClassGenCompliant"
Cell "MultiInstanceERTCode"
Cell "PurelyIntegerCode"
Cell "SupportComplex"
Cell "SupportAbsoluteTime"
Cell "SupportContinuousTime"
Cell "SupportNonInlinedSFcns"
Cell "PortableWordSizes"
PropName "DisabledProps"
}
TargetFcnLib "ansi_tfl_table_tmw.mat"
TargetLibSuffix ""
TargetPreCompLibLocation ""
TargetFunctionLibrary "ANSI_C"
UtilityFuncGeneration "Auto"
ERTMultiwordTypeDef "System defined"
FunctionExecutionProfile off
CodeExecutionProfiling off
ERTCodeCoverageTool "None"
ERTMultiwordLength 256
MultiwordLength 2048
GenerateFullHeader on
GenerateSampleERTMain off
GenerateTestInterfaces off
IsPILTarget off
ModelReferenceCompliant on

```

```

ParMdlRefBuildCompliant on
CompOptLevelCompliant on
IncludeMdlTerminateFcn on
GeneratePreprocessorConditionals "Disable all"
CombineOutputUpdateFcns off
CombineSignalStateStructs off
SuppressErrorStatus off
ERTFirstTimeCompliant off
IncludeFileDelimiter "Auto"
ERTCustomFileBanners off
SupportAbsoluteTime on
LogVarNameModifier "rt_"
MatFileLogging on
MultiInstanceERTCode off
SupportNonFinite on
SupportComplex on
PurelyIntegerCode off
SupportContinuousTime on
SupportNonInlinedSFcns on
SupportVariableSizeSignals off
EnableShiftOperators on
ParenthesesLevel "Nominal"
PortableWordSizes off
ModelStepFunctionPrototypeControlCompliant off
CPPClassGenCompliant off
AutosarCompliant off
UseMalloc off
ExtMode off
ExtModeStaticAlloc off
ExtModeTesting off
ExtModeStaticAllocSize 1000000
ExtModeTransport 0
ExtModeMexFile "ext_comm"
ExtModeIntrflLevel "Level1"
RTWCAPISignals off
RTWCAPIParams off
RTWCAPISates off
RTWCAPIRootIO off
GenerateASAP2 off
}
PropName "Components"
}
}
hdlcoderui.hdlcc {
$ObjectID 13
Version "1.11.0"
Description "HDL Coder custom configuration component"
Name "HDL Coder"
Array {
Type "Cell"
Dimension 1
Cell ""
PropName "HDLConfigFile"
}
HDLCActiveTab "0"
}
PropName "Components"

```

```

    }
    Name "Configuration"
    CurrentDlgPage "Solver"
    ConfigPrmDlgPosition [ 72, 69, 952, 699 ]
  }
  PropName "ConfigurationSets"
}
Simulink.ConfigSet {
  $PropName "ActiveConfigurationSet"
  $ObjectID 2
}
BlockDefaults {
  ForegroundColor "black"
  BackgroundColor "white"
  DropShadow off
  NamePlacement "normal"
  FontName "Helvetica"
  FontSize 10
  FontWeight "normal"
  FontAngle "normal"
  ShowName on
  BlockRotation 0
  BlockMirror off
}
AnnotationDefaults {
  HorizontalAlignment "center"
  VerticalAlignment "middle"
  ForegroundColor "black"
  BackgroundColor "white"
  DropShadow off
  FontName "Helvetica"
  FontSize 10
  FontWeight "normal"
  FontAngle "normal"
  UseDisplayTextAsClickCallback off
}
LineDefaults {
  FontName "Helvetica"
  FontSize 9
  FontWeight "normal"
  FontAngle "normal"
}
BlockParameterDefaults {
  Block {
    BlockType ComplexToRealImag
    Output "Real and imag"
    SampleTime "-1"
  }
  Block {
    BlockType Display
    Format "short"
    Decimation "10"
    Floating off
    SampleTime "-1"
  }
  Block {
    BlockType Gain

```

```

Gain          "1"
Multiplication "Element-wise(K.*u)"
ParamMin      "[]"
ParamMax      "[]"
ParamDataTypeStr "Inherit: Same as input"
OutMin        "[]"
OutMax        "[]"
OutDataTypeStr "Inherit: Same as input"
LockScale     off
RndMeth       "Floor"
SaturateOnIntegerOverflow on
SampleTime    "-1"
}
Block {
  BlockType    Product
  Inputs       "2"
  Multiplication "Element-wise(.*)"
  CollapseMode "All dimensions"
  CollapseDim  "1"
  InputSameDT  on
  OutMin       "[]"
  OutMax       "[]"
  OutDataTypeStr "Inherit: Same as first input"
  LockScale    off
  RndMeth      "Zero"
  SaturateOnIntegerOverflow on
  SampleTime   "-1"
}
Block {
  BlockType    RealImagToComplex
  Input        "Real and imag"
  ConstantPart "0"
  SampleTime   "-1"
}
}
System {
  Name          "d14"
  Location      [38, 63, 961, 710]
  Open          on
  ModelBrowserVisibility off
  ModelBrowserWidth 200
  ScreenColor   "white"
  PaperOrientation "landscape"
  PaperPositionMode "auto"
  PaperType     "A4"
  PaperUnits    "centimeters"
  TiledPaperMargins [1.270000, 1.270000, 1.270000, 1.270000]
  TiledPageScale 1
  ShowPageBoundaries off
  ZoomFactor     "100"
  ReportName     "simulink-default.rpt"
  SIDHighWatermark "224"
  Block {
    BlockType    Reference
    Name         " Voltage A1"
    SID          "171"
    RequirementInfo "{ } %GIDa_0a43347a_8c8f_47ff_80ba_cdaf6c806a26"
  }
}

```



```

Ports          [0, 1, 0, 0, 0, 2]
Position       [430, 280, 455, 300]
NamePlacement  "alternate"
LibraryVersion "1.1955"
FontName       "Verdana"
FontSize       11
SourceBlock    "powerlib/Measurements/Voltage Measurement"
SourceType     "Voltage Measurement"
ShowPortLabels "FromPortIcon"
SystemSampleTime "-1"
FunctionWithSeparateData off
RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
RTWMemSecFuncExecute  "Inherit from model"
RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
RTWMemSecDataInternal  "Inherit from model"
RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
GeneratePreprocessorConditionals off
PhasorSimulation  on
OutputType        "Complex"
PSBequivalent     "0"
}
Block {
  BlockType      Reference
  Name           " Voltage B1 "
  SID            "152"
  RequirementInfo "{ } %GIDa_b784850e_7b73_426e_890b_52b4d4fa714f"
  Ports          [0, 1, 0, 0, 0, 2]
  Position       [430, 410, 455, 430]
  NamePlacement  "alternate"
  LibraryVersion "1.1955"
  FontName       "Verdana"
  FontSize       11
  SourceBlock    "powerlib/Measurements/Voltage Measurement"
  SourceType     "Voltage Measurement"
  ShowPortLabels "FromPortIcon"
  SystemSampleTime "-1"
  FunctionWithSeparateData off
  RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
  RTWMemSecFuncExecute  "Inherit from model"
  RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
  RTWMemSecDataInternal  "Inherit from model"
  RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
  GeneratePreprocessorConditionals off
  PhasorSimulation  on
  OutputType        "Complex"
  PSBequivalent     "0"
}
Block {
  BlockType      Reference
  Name           " Voltage C1"
  SID            "189"
  RequirementInfo "{ } %GIDa_0c8f26ee_46b2_45f1_9ee9_2882c1b5e329"
  Ports          [0, 1, 0, 0, 0, 2]
  Position       [425, 540, 450, 560]
  NamePlacement  "alternate"
  LibraryVersion "1.1955"
  FontName       "Verdana"

```

```

FontSize          11
SourceBlock       "powerlib/Measurements/Voltage Measurement"
SourceType        "Voltage Measurement"
ShowPortLabels    "FromPortIcon"
SystemSampleTime  "-1"
FunctionWithSeparateData off
RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
RTWMemSecFuncExecute "Inherit from model"
RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
RTWMemSecDataInternal "Inherit from model"
RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
GeneratePreprocessorConditionals off
PhasorSimulation  on
OutputType        "Complex"
PSBequivalent     "0"
}
Block {
  BlockType       Reference
  Name            " Load A"
  SID            "170"
  Ports           [0, 0, 0, 0, 0, 1, 1]
  Position        [340, 331, 410, 359]
  LibraryVersion  "1.1955"
  FontName        "Verdana"
  FontSize        11
  SourceBlock     "powerlib/Elements/Series RLC Branch"
  SourceType      "Series RLC Branch"
  PhysicalDomain  "powersysdomain"
  SubClassName    "unknown"
  LeftPortType    "p1"
  RightPortType   "p1"
  LConnTagsString "__new0"
  RConnTagsString "__new0"
  BranchType      "RL"
  Resistance       "6"
  Inductance      "0.0127388"
  SetiL0         off
  InitialCurrent  "0"
  Capacitance    "0.0127388"
  Setx0          off
  InitialVoltage  "0"
  Measurements    "Branch voltage and current"
}
Block {
  BlockType       Reference
  Name            " Load B"
  SID            "134"
  Ports           [0, 0, 0, 0, 0, 1, 1]
  Position        [340, 461, 410, 489]
  LibraryVersion  "1.1955"
  FontName        "Verdana"
  FontSize        11
  SourceBlock     "powerlib/Elements/Series RLC Branch"
  SourceType      "Series RLC Branch"
  PhysicalDomain  "powersysdomain"
  SubClassName    "unknown"
  LeftPortType    "p1"

```

```

RightPortType      "p1"
LConnTagsString    "__new0"
RConnTagsString    "__new0"
BranchType         "RC"
Resistance          "4"
Inductance         "0.016"
SetiL0             off
InitialCurrent     "0"
Capacitance        "0.00031847"
Setx0              off
InitialVoltage     "0"
Measurements       "Branch voltage and current"
}
Block {
  BlockType         Reference
  Name              " Load C"
  SID               "188"
  Ports             [0, 0, 0, 0, 0, 1, 1]
  Position          [335, 591, 405, 619]
  LibraryVersion    "1.1955"
  FontName          "Verdana"
  FontSize          11
  SourceBlock       "powerlib/Elements/Series RLC Branch"
  SourceType        "Series RLC Branch"
  PhysicalDomain    "powersysdomain"
  SubClassName      "unknown"
  LeftPortType      "p1"
  RightPortType     "p1"
  LConnTagsString  "__new0"
  RConnTagsString  "__new0"
  BranchType        "RC"
  Resistance        "8"
  Inductance        "0.0573248"
  SetiL0           off
  InitialCurrent    "0"
  Capacitance       "0.00159235"
  Setx0            off
  InitialVoltage    "0"
  Measurements      "Branch voltage and current"
}
Block {
  BlockType         Reference
  Name              " RL Branch A"
  SID               "224"
  Ports             [0, 0, 0, 0, 0, 1, 1]
  Position          [40, 331, 110, 359]
  LibraryVersion    "1.1955"
  FontName          "Verdana"
  FontSize          11
  SourceBlock       "powerlib/Elements/Series RLC Branch"
  SourceType        "Series RLC Branch"
  PhysicalDomain    "powersysdomain"
  SubClassName      "unknown"
  LeftPortType      "p1"
  RightPortType     "p1"
  LConnTagsString  "__new0"
  RConnTagsString  "__new0"
}

```

```

BranchType      "RL"
Resistance      "2"
Inductance      "0.006369"
SetiL0         off
InitialCurrent  "0"
Capacitance    "1e-6"
Setx0          off
InitialVoltage  "0"
Measurements    "Branch voltage and current"
}
Block {
  BlockType      Reference
  Name           " RL Branch B"
  SID           "71"
  Ports          [0, 0, 0, 0, 0, 1, 1]
  Position       [40, 461, 110, 489]
  LibraryVersion "1.1955"
  FontName       "Verdana"
  FontSize      11
  SourceBlock    "powerlib/Elements/Series RLC Branch"
  SourceType     "Series RLC Branch"
  PhysicalDomain "powersysdomain"
  SubClassName   "unknown"
  LeftPortType  "p1"
  RightPortType "p1"
  LConnTagsString "__new0"
  RConnTagsString "__new0"
  BranchType     "RL"
  Resistance     "2"
  Inductance    "0.006369"
  SetiL0        off
  InitialCurrent "0"
  Capacitance   "1e-6"
  Setx0         off
  InitialVoltage "0"
  Measurements   "Branch voltage and current"
}
Block {
  BlockType      Reference
  Name           " RL Branch C"
  SID           "72"
  Ports          [0, 0, 0, 0, 0, 1, 1]
  Position       [40, 591, 110, 619]
  LibraryVersion "1.1955"
  FontName       "Verdana"
  FontSize      11
  SourceBlock    "powerlib/Elements/Series RLC Branch"
  SourceType     "Series RLC Branch"
  PhysicalDomain "powersysdomain"
  SubClassName   "unknown"
  LeftPortType  "p1"
  RightPortType "p1"
  LConnTagsString "__new0"
  RConnTagsString "__new0"
  BranchType     "RL"
  Resistance     "2"
  Inductance    "0.006369"

```

```

SetiL0          off
InitialCurrent  "0"
Capacitance    "1e-6"
Setx0          off
InitialVoltage  "0"
Measurements    "Branch voltage and current"
}
Block {
  BlockType      Reference
  Name           " RL Branch N"
  SID           "206"
  Ports          [0, 0, 0, 0, 0, 1, 1]
  Position       [45, 231, 115, 259]
  LibraryVersion "1.1955"
  FontName       "Verdana"
  FontSize       11
  SourceBlock    "powerlib/Elements/Series RLC Branch"
  SourceType     "Series RLC Branch"
  PhysicalDomain "powersysdomain"
  SubClassName   "unknown"
  LeftPortType   "p1"
  RightPortType  "p1"
  LConnTagsString "__new0"
  RConnTagsString "__new0"
  BranchType     "RL"
  Resistance     "3"
  Inductance     "0.0127388"
  SetiL0        off
  InitialCurrent "0"
  Capacitance    "1e-6"
  Setx0         off
  InitialVoltage "0"
  Measurements    "Branch voltage and current"
}
Block {
  BlockType      Reference
  Name           " Voltage A"
  SID           "17"
  RequirementInfo "{ } %GIDa_2ab35230_ae18_4a28_af16_fc70a8f0dccc"
  Ports          [0, 0, 0, 0, 0, 1, 1]
  Position       [363, 35, 387, 70]
  BlockRotation  270
  LibraryVersion "1.1955"
  FontName       "Verdana"
  FontSize       11
  SourceBlock    "powerlib/Electrical\nSources/AC Voltage Source"
  SourceType     "AC Voltage Source"
  ShowPortLabels "FromPortIcon"
  SystemSampleTime "-1"
  FunctionWithSeparateData off
  RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
  RTWMemSecFuncExecute  "Inherit from model"
  RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
  RTWMemSecDataInternal  "Inherit from model"
  RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
  GeneratePreprocessorConditionals off
  Amplitude      "220"

```

```

Phase           "-30"
Frequency       "50"
SampleTime     "0"
Measurements   "None"
}
Block {
  BlockType     Reference
  Name         " Voltage C "
  SID          "15"
  RequirementInfo "{ } %GIDa_91b56746_c969_4d28_b069_ac1fd8810e02"
  Ports        [0, 0, 0, 0, 0, 1, 1]
  Position     [320, 73, 355, 97]
  BlockMirror  on
  LibraryVersion "1.1955"
  FontName     "Verdana"
  FontSize     11
  SourceBlock  "powerlib/Electrical\nSources/AC Voltage Source"
  SourceType   "AC Voltage Source"
  ShowPortLabels "FromPortIcon"
  SystemSampleTime "-1"
  FunctionWithSeparateData off
  RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
  RTWMemSecFuncExecute  "Inherit from model"
  RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
  RTWMemSecDataInternal  "Inherit from model"
  RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
  GeneratePreprocessorConditionals off
  Amplitude     "220"
  Phase         "90"
  Frequency     "50"
  SampleTime    "0"
  Measurements  "None"
}
Block {
  BlockType     ComplexToRealImag
  Name         "Complex to\nReal-Imag1"
  SID          "173"
  Ports        [1, 2]
  Position     [265, 298, 290, 322]
  BlockMirror  on
  NamePlacement "alternate"
  Output       "Real and imag"
}
Block {
  BlockType     ComplexToRealImag
  Name         "Complex to\nReal-Imag10"
  SID          "191"
  Ports        [1, 2]
  Position     [260, 558, 285, 582]
  BlockMirror  on
  NamePlacement "alternate"
  Output       "Real and imag"
}
Block {
  BlockType     ComplexToRealImag
  Name         "Complex to\nReal-Imag11"
  SID          "192"

```

```

Ports          [1, 2]
Position       [515, 591, 540, 624]
NamePlacement  "alternate"
Output        "Real and imag"
}
Block {
  BlockType    ComplexToRealImag
  Name         "Complex to\nReal-Imag12"
  SID         "193"
  Ports       [1, 2]
  Position    [745, 544, 770, 571]
  NamePlacement "alternate"
  Output      "Real and imag"
}
Block {
  BlockType    ComplexToRealImag
  Name         "Complex to\nReal-Imag13"
  SID         "207"
  Ports       [1, 2]
  Position    [175, 188, 200, 217]
  NamePlacement "alternate"
  Output      "Real and imag"
}
Block {
  BlockType    ComplexToRealImag
  Name         "Complex to\nReal-Imag14"
  SID         "213"
  Ports       [1, 2]
  Position    [440, 181, 465, 214]
  NamePlacement "alternate"
  Output      "Real and imag"
}
Block {
  BlockType    ComplexToRealImag
  Name         "Complex to\nReal-Imag15"
  SID         "214"
  Ports       [1, 2]
  Position    [705, 179, 730, 206]
  NamePlacement "alternate"
  Output      "Real and imag"
}
Block {
  BlockType    ComplexToRealImag
  Name         "Complex to\nReal-Imag2"
  SID         "26"
  RequirementInfo "{ } %GIDa_20301f51_f648_4d3b_8def_cc6d44dfc1bc"
  Ports       [1, 2]
  Position    [605, 18, 630, 42]
  Output      "Real and imag"
}
Block {
  BlockType    ComplexToRealImag
  Name         "Complex to\nReal-Imag3"
  SID         "39"
  RequirementInfo "{ } %GIDa_d2c25af0_f614_4ed4_839e_1e34b2c6637f"
  Ports       [1, 2]
  Position    [705, 83, 735, 107]
}

```

```

    Output          "Real and imag"
  }
Block {
  BlockType        ComplexToRealImag
  Name              "Complex to\nReal-Imag4"
  SID              "45"
  RequirementInfo   "{} %GIDa_e33c5ea9_5b23_4117_a18c_84755f08f12c"
  Ports            [1, 2]
  Position          [155, 64, 180, 91]
  BlockMirror      on
  NamePlacement    "alternate"
  Output           "Real and imag"
}
Block {
  BlockType        ComplexToRealImag
  Name              "Complex to\nReal-Imag5"
  SID              "174"
  Ports            [1, 2]
  Position          [515, 331, 540, 364]
  NamePlacement    "alternate"
  Output           "Real and imag"
}
Block {
  BlockType        ComplexToRealImag
  Name              "Complex to\nReal-Imag6"
  SID              "137"
  Ports            [1, 2]
  Position          [265, 428, 290, 452]
  BlockMirror      on
  NamePlacement    "alternate"
  Output           "Real and imag"
}
Block {
  BlockType        ComplexToRealImag
  Name              "Complex to\nReal-Imag7"
  SID              "138"
  Ports            [1, 2]
  Position          [515, 461, 540, 494]
  NamePlacement    "alternate"
  Output           "Real and imag"
}
Block {
  BlockType        ComplexToRealImag
  Name              "Complex to\nReal-Imag8"
  SID              "175"
  Ports            [1, 2]
  Position          [750, 284, 775, 311]
  NamePlacement    "alternate"
  Output           "Real and imag"
}
Block {
  BlockType        ComplexToRealImag
  Name              "Complex to\nReal-Imag9"
  SID              "139"
  Ports            [1, 2]
  Position          [750, 414, 775, 441]
  NamePlacement    "alternate"
}

```



```

    Output          "Real and imag"
}
Block {
  BlockType        Reference
  Name             "Current \nMeasurement A1"
  SID             "176"
  Ports            [0, 1, 0, 0, 0, 1, 1]
  Position         [440, 333, 465, 357]
  NamePlacement    "alternate"
  LibraryVersion   "1.1955"
  FontName         "Verdana"
  SourceBlock      "powerlib/Measurements/Current Measurement"
  SourceType       "Current Measurement"
  ShowPortLabels   "FromPortIcon"
  SystemSampleTime "-1"
  FunctionWithSeparateData off
  RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
  RTWMemSecFuncExecute  "Inherit from model"
  RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
  RTWMemSecDataInternal  "Inherit from model"
  RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
  GeneratePreprocessorConditionals off
  PhasorSimulation      on
  OutputType             "Complex"
  PSBequivalent         "0"
}
Block {
  BlockType        Reference
  Name             "Current \nMeasurement B"
  SID             "140"
  Ports            [0, 1, 0, 0, 0, 1, 1]
  Position         [440, 463, 465, 487]
  NamePlacement    "alternate"
  LibraryVersion   "1.1955"
  FontName         "Verdana"
  SourceBlock      "powerlib/Measurements/Current Measurement"
  SourceType       "Current Measurement"
  ShowPortLabels   "FromPortIcon"
  SystemSampleTime "-1"
  FunctionWithSeparateData off
  RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
  RTWMemSecFuncExecute  "Inherit from model"
  RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
  RTWMemSecDataInternal  "Inherit from model"
  RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
  GeneratePreprocessorConditionals off
  PhasorSimulation      on
  OutputType             "Complex"
  PSBequivalent         "0"
}
Block {
  BlockType        Reference
  Name             "Current \nMeasurement C"
  SID             "194"
  Ports            [0, 1, 0, 0, 0, 1, 1]
  Position         [435, 593, 460, 617]
  NamePlacement    "alternate"

```

```

LibraryVersion      "1.1955"
FontName            "Verdana"
SourceBlock         "powerlib/Measurements/Current Measurement"
SourceType          "Current Measurement"
ShowPortLabels     "FromPortIcon"
SystemSampleTime   "-1"
FunctionWithSeparateData off
RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
RTWMemSecFuncExecute "Inherit from model"
RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
RTWMemSecDataInternal "Inherit from model"
RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
GeneratePreprocessorConditionals off
PhasorSimulation   on
OutputType         "Complex"
PSBequivalent      "0"
}
Block {
  BlockType        Reference
  Name             "Current \nMeasurement N"
  SID              "215"
  Ports            [0, 1, 0, 0, 0, 1, 1]
  Position         [375, 193, 400, 217]
  NamePlacement    "alternate"
  LibraryVersion   "1.1955"
  FontName         "Verdana"
  SourceBlock      "powerlib/Measurements/Current Measurement"
  SourceType      "Current Measurement"
  ShowPortLabels  "FromPortIcon"
  SystemSampleTime "-1"
  FunctionWithSeparateData off
  RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
  RTWMemSecFuncExecute "Inherit from model"
  RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
  RTWMemSecDataInternal "Inherit from model"
  RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
  GeneratePreprocessorConditionals off
  PhasorSimulation   on
  OutputType         "Complex"
  PSBequivalent      "0"
}
Block {
  BlockType        Display
  Name             "Display1"
  SID              "27"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_a683f642_b204_491b_ab1d_6fbfb6899668"
  Ports            [1]
  Position         [790, 34, 870, 56]
  NamePlacement    "alternate"
  Decimation       "1"
  Lockdown         off
}
Block {
  BlockType        Display
  Name             "Display10"
  SID              "180"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_fefa9ff2_59b9_468e_a7a4_0a52b2069f62"
}

```

```

Ports          [1]
Position       [130, 264, 210, 286]
BlockMirror    on
Decimation     "1"
Lockdown       off
}
Block {
  BlockType     Display
  Name          "Display11"
  SID           "141"
  RequirementInfo "{} %GIDa_4766fca3_7917_4251_b71f_f8c494e75d2e"
  Ports         [1]
  Position      [815, 489, 895, 511]
  NamePlacement "alternate"
  Decimation    "1"
  Lockdown      off
}
Block {
  BlockType     Display
  Name          "Display12"
  SID           "142"
  RequirementInfo "{} %GIDa_bb27f778_d8ac_4e32_8436_9d1b4847fc21"
  Ports         [1]
  Position      [815, 408, 895, 432]
  NamePlacement "alternate"
  Decimation    "1"
  Lockdown      off
}
Block {
  BlockType     Display
  Name          "Display13"
  SID           "143"
  RequirementInfo "{} %GIDa_93b9ccb2_3468_4b55_967e_7171b449e2b6"
  Ports         [1]
  Position      [815, 449, 895, 471]
  NamePlacement "alternate"
  Decimation    "1"
  Lockdown      off
}
Block {
  BlockType     Display
  Name          "Display14"
  SID           "144"
  RequirementInfo "{} %GIDa_13d958dc_60ba_44f6_b3ba_4824ddfa244a"
  Ports         [1]
  Position      [130, 394, 210, 416]
  BlockMirror    on
  Decimation    "1"
  Lockdown      off
}
Block {
  BlockType     Display
  Name          "Display15"
  SID           "181"
  RequirementInfo "{} %GIDa_fb8a5903_1536_4fc8_b588_8c077ab250da"
  Ports         [1]
  Position      [130, 304, 210, 326]
}

```

```

BlockMirror      on
Decimation      "1"
Lockdown        off
}
Block {
  BlockType      Display
  Name           "Display16"
  SID           "182"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_5a05fee9_779d_4c5c_b157_c940c7ddd003"
  Ports         [1]
  Position      [695, 329, 775, 351]
  NamePlacement "alternate"
  Decimation    "1"
  Lockdown      off
}
Block {
  BlockType      Display
  Name           "Display17"
  SID           "145"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_561913aa_d22c_45d9_b400_0a7d0f0267d7"
  Ports         [1]
  Position      [130, 434, 210, 456]
  BlockMirror    on
  Decimation    "1"
  Lockdown      off
}
Block {
  BlockType      Display
  Name           "Display18"
  SID           "146"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_63551de4_9226_4ca4_9f5c_9ce157977051"
  Ports         [1]
  Position      [695, 459, 775, 481]
  NamePlacement "alternate"
  Decimation    "1"
  Lockdown      off
}
Block {
  BlockType      Display
  Name           "Display19"
  SID           "195"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_43250c63_f681_438f_a158_f28a9742ee64"
  Ports         [1]
  Position      [810, 619, 890, 641]
  NamePlacement "alternate"
  Decimation    "1"
  Lockdown      off
}
Block {
  BlockType      Display
  Name           "Display2"
  SID           "28"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_5cda43d9_1ab3_4754_99e9_5cebac0902ed"
  Ports         [1]
  Position      [680, 44, 760, 66]
  NamePlacement "alternate"
  Decimation    "1"
}

```

```

Lockdown      off
}
Block {
  BlockType   Display
  Name        "Display20"
  SID         "196"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_3e2e5899_d10e_4214_b067_de4fa904d77d"
  Ports       [1]
  Position    [810, 538, 890, 562]
  NamePlacement "alternate"
  Decimation  "1"
  Lockdown    off
}
Block {
  BlockType   Display
  Name        "Display21"
  SID         "197"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_4b06a203_5359_4fd8_9ebe_2186b415e711"
  Ports       [1]
  Position    [810, 579, 890, 601]
  NamePlacement "alternate"
  Decimation  "1"
  Lockdown    off
}
Block {
  BlockType   Display
  Name        "Display22"
  SID         "198"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_2de15f52_c141_40de_bbde_66ed00b2eee5"
  Ports       [1]
  Position    [125, 524, 205, 546]
  BlockMirror  on
  Decimation  "1"
  Lockdown    off
}
Block {
  BlockType   Display
  Name        "Display23"
  SID         "199"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_789525e6_5ea5_479c_b49f_73211bd0ffc5"
  Ports       [1]
  Position    [125, 564, 205, 586]
  BlockMirror  on
  Decimation  "1"
  Lockdown    off
}
Block {
  BlockType   Display
  Name        "Display24"
  SID         "200"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_ab69e093_e838_41eb_97c6_db33f6555d82"
  Ports       [1]
  Position    [690, 589, 770, 611]
  NamePlacement "alternate"
  Decimation  "1"
  Lockdown    off
}

```

```

Block {
  BlockType      Display
  Name           "Display25"
  SID            "208"
  RequirementInfo "{ } %GIDa_eca3305d_6268_425c_989d_6bf652e3d865"
  Ports          [1]
  Position       [245, 159, 325, 181]
  NamePlacement  "alternate"
  Decimation     "1"
  Lockdown       off
}
Block {
  BlockType      Display
  Name           "Display26"
  SID            "209"
  RequirementInfo "{ } %GIDa_32232808_6d2a_475c_b958_0a8d5cdf976a"
  Ports          [1]
  Position       [245, 199, 325, 221]
  NamePlacement  "alternate"
  Decimation     "1"
  Lockdown       off
}
Block {
  BlockType      Display
  Name           "Display27"
  SID            "216"
  RequirementInfo "{ } %GIDa_dbcd2730_c3cc_4f99_a641_3b9e5a4bbc8e"
  Ports          [1]
  Position       [580, 219, 660, 241]
  NamePlacement  "alternate"
  Decimation     "1"
  Lockdown       off
}
Block {
  BlockType      Display
  Name           "Display28"
  SID            "217"
  RequirementInfo "{ } %GIDa_c3ae54e8_cc57_4089_856e_4728d5a4f776"
  Ports          [1]
  Position       [685, 224, 765, 246]
  NamePlacement  "alternate"
  Decimation     "1"
  Lockdown       off
}
Block {
  BlockType      Display
  Name           "Display29"
  SID            "218"
  RequirementInfo "{ } %GIDa_6a5490ce_f855_4bf1_bee8_c148b592cb2a"
  Ports          [1]
  Position       [790, 173, 870, 197]
  NamePlacement  "alternate"
  Decimation     "1"
  Lockdown       off
}
Block {
  BlockType      Display

```

```

Name          "Display3"
SID           "177"
RequirementInfo  "{} %GIDa_8eb1cd1e_0307_4805_9da1_8ddd00c0d0ef"
Ports         [1]
Position      [815, 359, 895, 381]
NamePlacement  "alternate"
Decimation    "1"
Lockdown      off
}
Block {
  BlockType    Display
  Name         "Display30"
  SID         "219"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_1d4bec5d_c558_4c64_aba5_28e369350adc"
  Ports       [1]
  Position    [790, 214, 870, 236]
  NamePlacement  "alternate"
  Decimation  "1"
  Lockdown    off
}
Block {
  BlockType    Display
  Name         "Display4"
  SID         "178"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_ea83efef_ad2b_40f7_9907_6643c01c1fcc"
  Ports       [1]
  Position    [815, 278, 895, 302]
  NamePlacement  "alternate"
  Decimation  "1"
  Lockdown    off
}
Block {
  BlockType    Display
  Name         "Display5"
  SID         "40"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_8788d0f0_d467_4814_bddc_af9371970cb3"
  Ports       [1]
  Position    [790, 79, 870, 101]
  NamePlacement  "alternate"
  Decimation  "1"
  Lockdown    off
}
Block {
  BlockType    Display
  Name         "Display6"
  SID         "41"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_058d24ce_a5f1_4c22_85a1_0d1d24d3b453"
  Ports       [1]
  Position    [790, 119, 870, 141]
  NamePlacement  "alternate"
  Decimation  "1"
  Lockdown    off
}
Block {
  BlockType    Display
  Name         "Display7"
  SID         "44"

```

```

RequirementInfo    "{} %GIDa_4f98e932_e1ec_4247_b471_15e13c85d9f3"
Ports              [1]
Position           [45, 59, 125, 81]
BlockMirror        on
NamePlacement      "alternate"
Decimation         "1"
Lockdown           off
}
Block {
  BlockType         Display
  Name              "Display8"
  SID               "46"
  RequirementInfo   "{} %GIDa_231fa91f_ca88_4dc9_8bf2_7407592e6bd5"
  Ports             [1]
  Position           [45, 99, 125, 121]
  BlockMirror        on
  NamePlacement      "alternate"
  Decimation         "1"
  Lockdown           off
}
Block {
  BlockType         Display
  Name              "Display9"
  SID               "179"
  RequirementInfo   "{} %GIDa_0dc09bd3_9efe_40f2_8626_8bf79e8ef213"
  Ports             [1]
  Position           [815, 319, 895, 341]
  NamePlacement      "alternate"
  Decimation         "1"
  Lockdown           off
}
Block {
  BlockType         Gain
  Name              "Gain1"
  SID               "147"
  Position           [595, 430, 615, 450]
  Gain               "-1"
  ParamDataTypeStr  "Inherit: Inherit via internal rule"
  OutDataTypeStr    "Inherit: Inherit via internal rule"
  SaturateOnIntegerOverflow off
}
Block {
  BlockType         Gain
  Name              "Gain2"
  SID               "201"
  Position           [590, 560, 610, 580]
  Gain               "-1"
  ParamDataTypeStr  "Inherit: Inherit via internal rule"
  OutDataTypeStr    "Inherit: Inherit via internal rule"
  SaturateOnIntegerOverflow off
}
Block {
  BlockType         Gain
  Name              "Gain3"
  SID               "183"
  Position           [595, 300, 615, 320]
  Gain               "-1"

```



```

ParamDataTypeStr    "Inherit: Inherit via internal rule"
OutDataTypeStr      "Inherit: Inherit via internal rule"
SaturateOnIntegerOverflow off
}
Block {
  BlockType          Gain
  Name               "Gain4"
  SID                "220"
  Position            [515, 195, 535, 215]
  Gain               "-1"
  ParamDataTypeStr   "Inherit: Inherit via internal rule"
  OutDataTypeStr     "Inherit: Inherit via internal rule"
  SaturateOnIntegerOverflow off
}
Block {
  BlockType          Reference
  Name               "Neutral1"
  SID                "79"
  Ports              [0, 0, 0, 0, 0, 1]
  Position            [522, 120, 538, 135]
  BlockRotation      270
  BlockMirror        on
  ShowName           off
  AttributesFormatString "node %<NodeNumber>"
  LibraryVersion     "1.1955"
  FontName           "Verdana"
  FontSize           11
  SourceBlock        "powerlib/Elements/Neutral"
  SourceType         "Neutral"
  PhysicalDomain     "powersysdomain"
  SubClassName       "unknown"
  LeftPortType       "p1"
  RightPortType      "p1"
  LConnTagsString    "a"
  NodeNumber         "1"
}
Block {
  BlockType          Reference
  Name               "Neutral10"
  SID                "203"
  Ports              [0, 0, 0, 0, 0, 1]
  Position            [345, 570, 355, 580]
  BlockRotation      270
  BlockMirror        on
  ShowName           off
  AttributesFormatString "node %<NodeNumber>"
  LibraryVersion     "1.1955"
  FontName           "Verdana"
  FontSize           11
  SourceBlock        "powerlib/Elements/Neutral"
  SourceType         "Neutral"
  PhysicalDomain     "powersysdomain"
  SubClassName       "unknown"
  LeftPortType       "p1"
  RightPortType      "p1"
  LConnTagsString    "a"
  NodeNumber         "2"
}

```

```

}
Block {
  BlockType      Reference
  Name           "Neutral11"
  SID            "210"
  Ports          [0, 0, 0, 0, 0, 1]
  Position       [38, 190, 52, 205]
  BlockRotation  270
  BlockMirror    on
  ShowName       off
  AttributesFormatString "node %<NodeNumber>"
  LibraryVersion "1.1955"
  FontName       "Verdana"
  FontSize       11
  SourceBlock    "powerlib/Elements/Neutral"
  SourceType     "Neutral"
  PhysicalDomain "powersysdomain"
  SubClassName   "unknown"
  LeftPortType   "p1"
  RightPortType  "p1"
  LConnTagsString "a"
  NodeNumber     "2"
}
Block {
  BlockType      Reference
  Name           "Neutral12"
  SID            "221"
  Ports          [0, 0, 0, 0, 0, 1]
  Position       [347, 220, 363, 230]
  BlockRotation  270
  BlockMirror    on
  ShowName       off
  AttributesFormatString "node %<NodeNumber>"
  LibraryVersion "1.1955"
  FontName       "Verdana"
  FontSize       11
  SourceBlock    "powerlib/Elements/Neutral"
  SourceType     "Neutral"
  PhysicalDomain "powersysdomain"
  SubClassName   "unknown"
  LeftPortType   "p1"
  RightPortType  "p1"
  LConnTagsString "a"
  NodeNumber     "2"
}
Block {
  BlockType      Reference
  Name           "Neutral2"
  SID            "80"
  Ports          [0, 0, 0, 0, 0, 1]
  Position       [292, 115, 308, 130]
  BlockRotation  270
  BlockMirror    on
  ShowName       off
  AttributesFormatString "node %<NodeNumber>"
  LibraryVersion "1.1955"
  FontName       "Verdana"

```

```

FontSize          11
SourceBlock       "powerlib/Elements/Neutral"
SourceType        "Neutral"
PhysicalDomain    "powersysdomain"
SubClassName      "unknown"
LeftPortType     "p1"
RightPortType    "p1"
LConnTagsString  "a"
NodeNumber       "1"
}
Block {
  BlockType       Reference
  Name            "Neutral3"
  SID             "81"
  Ports           [0, 0, 0, 0, 0, 1]
  Position        [368, 115, 382, 130]
  BlockRotation   270
  BlockMirror     on
  ShowName        off
  AttributesFormatString "node %<NodeNumber>"
  LibraryVersion  "1.1955"
  FontName        "Verdana"
  FontSize        11
  SourceBlock     "powerlib/Elements/Neutral"
  SourceType      "Neutral"
  PhysicalDomain  "powersysdomain"
  SubClassName    "unknown"
  LeftPortType   "p1"
  RightPortType  "p1"
  LConnTagsString "a"
  NodeNumber     "1"
}
Block {
  BlockType       Reference
  Name            "Neutral4"
  SID             "184"
  Ports           [0, 0, 0, 0, 0, 1]
  Position        [482, 365, 498, 375]
  BlockRotation   270
  BlockMirror     on
  NamePlacement   "alternate"
  ShowName        off
  AttributesFormatString "node %<NodeNumber>"
  LibraryVersion  "1.1955"
  FontName        "Verdana"
  FontSize        11
  SourceBlock     "powerlib/Elements/Neutral"
  SourceType      "Neutral"
  PhysicalDomain  "powersysdomain"
  SubClassName    "unknown"
  LeftPortType   "p1"
  RightPortType  "p1"
  LConnTagsString "a"
  NodeNumber     "2"
}
Block {
  BlockType       Reference

```

```

Name          "Neutral5"
SID           "148"
Ports         [0, 0, 0, 0, 0, 1]
Position      [482, 495, 498, 505]
BlockRotation 270
BlockMirror   on
NamePlacement "alternate"
ShowName      off
AttributesFormatString "node %<NodeNumber>"
LibraryVersion "1.1955"
FontName      "Verdana"
FontSize      11
SourceBlock   "powerlib/Elements/Neutral"
SourceType    "Neutral"
PhysicalDomain "powersysdomain"
SubClassName  "unknown"
LeftPortType  "p1"
RightPortType "p1"
LConnTagsString "a"
NodeNumber    "2"
}
Block {
  BlockType Reference
  Name      "Neutral6"
  SID       "149"
  Ports     [0, 0, 0, 0, 0, 1]
  Position  [350, 440, 360, 450]
  BlockRotation 270
  BlockMirror on
  ShowName off
  AttributesFormatString "node %<NodeNumber>"
  LibraryVersion "1.1955"
  FontName      "Verdana"
  FontSize      11
  SourceBlock   "powerlib/Elements/Neutral"
  SourceType    "Neutral"
  PhysicalDomain "powersysdomain"
  SubClassName  "unknown"
  LeftPortType  "p1"
  RightPortType "p1"
  LConnTagsString "a"
  NodeNumber    "2"
}
Block {
  BlockType Reference
  Name      "Neutral7"
  SID       "185"
  Ports     [0, 0, 0, 0, 0, 1]
  Position  [350, 310, 360, 320]
  BlockRotation 270
  BlockMirror on
  ShowName off
  AttributesFormatString "node %<NodeNumber>"
  LibraryVersion "1.1955"
  FontName      "Verdana"
  FontSize      11
  SourceBlock   "powerlib/Elements/Neutral"

```

```

SourceType      "Neutral"
PhysicalDomain  "powersysdomain"
SubClassName    "unknown"
LeftPortType   "p1"
RightPortType  "p1"
LConnTagsString "a"
NodeNumber     "2"
}
Block {
BlockType      Reference
Name           "Neutral8"
SID            "133"
Ports          [0, 0, 0, 0, 0, 1]
Position       [462, 60, 478, 75]
BlockRotation  270
BlockMirror    on
ShowName       off
AttributesFormatString "node %<NodeNumber>"
LibraryVersion "1.1955"
FontName       "Verdana"
FontSize       11
SourceBlock    "powerlib/Elements/Neutral"
SourceType     "Neutral"
PhysicalDomain "powersysdomain"
SubClassName   "unknown"
LeftPortType  "p1"
RightPortType "p1"
LConnTagsString "a"
NodeNumber    "1"
}
Block {
BlockType      Reference
Name           "Neutral9"
SID            "202"
Ports          [0, 0, 0, 0, 0, 1]
Position       [477, 625, 493, 635]
BlockRotation  270
BlockMirror    on
NamePlacement  "alternate"
ShowName       off
AttributesFormatString "node %<NodeNumber>"
LibraryVersion "1.1955"
FontName       "Verdana"
FontSize       11
SourceBlock    "powerlib/Elements/Neutral"
SourceType     "Neutral"
PhysicalDomain "powersysdomain"
SubClassName   "unknown"
LeftPortType  "p1"
RightPortType "p1"
LConnTagsString "a"
NodeNumber    "2"
}
Block {
BlockType      Product
Name           "Product1"
SID            "150"

```

```

Ports          [2, 1]
Position       [695, 414, 725, 441]
NamePlacement  "alternate"
InputSameDT    off
OutDataTypeStr "Inherit: Inherit via internal rule"
SaturateOnIntegerOverflow off
}
Block {
  BlockType     Product
  Name          "Product2"
  SID          "204"
  Ports        [2, 1]
  Position     [690, 544, 720, 571]
  NamePlacement "alternate"
  InputSameDT  off
  OutDataTypeStr "Inherit: Inherit via internal rule"
  SaturateOnIntegerOverflow off
}
Block {
  BlockType     Product
  Name          "Product3"
  SID          "186"
  Ports        [2, 1]
  Position     [695, 284, 725, 311]
  NamePlacement "alternate"
  InputSameDT  off
  OutDataTypeStr "Inherit: Inherit via internal rule"
  SaturateOnIntegerOverflow off
}
Block {
  BlockType     Product
  Name          "Product4"
  SID          "222"
  Ports        [2, 1]
  Position     [645, 179, 675, 206]
  NamePlacement "alternate"
  InputSameDT  off
  OutDataTypeStr "Inherit: Inherit via internal rule"
  SaturateOnIntegerOverflow off
}
Block {
  BlockType     RealImagToComplex
  Name          "Real-Imag to\nComplex1"
  SID          "151"
  Ports        [2, 1]
  Position     [635, 419, 660, 446]
  NamePlacement "alternate"
  Input        "Real and imag"
}
Block {
  BlockType     RealImagToComplex
  Name          "Real-Imag to\nComplex2"
  SID          "205"
  Ports        [2, 1]
  Position     [630, 549, 655, 576]
  NamePlacement "alternate"
  Input        "Real and imag"
}

```

```

}
Block {
  BlockType      RealImagToComplex
  Name           "Real-Imag to\nComplex3"
  SID           "187"
  Ports          [2, 1]
  Position       [635, 289, 660, 316]
  NamePlacement  "alternate"
  Input          "Real and imag"
}
Block {
  BlockType      RealImagToComplex
  Name           "Real-Imag to\nComplex4"
  SID           "223"
  Ports          [2, 1]
  Position       [555, 184, 580, 211]
  NamePlacement  "alternate"
  Input          "Real and imag"
}
Block {
  BlockType      Reference
  Name           "Voltage \nMeasurement A"
  SID           "24"
  RequirementInfo "{ } %GIDa_c97f9016_2f0b_48d0_9338_2805517f2d64"
  Ports          [0, 1, 0, 0, 0, 2]
  Position       [525, 14, 550, 41]
  LibraryVersion "1.1955"
  FontName       "Verdana"
  SourceBlock    "powerlib/Measurements/Voltage Measurement"
  SourceType     "Voltage Measurement"
  ShowPortLabels "FromPortIcon"
  SystemSampleTime "-1"
  FunctionWithSeparateData off
  RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
  RTWMemSecFuncExecute "Inherit from model"
  RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
  RTWMemSecDataInternal "Inherit from model"
  RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
  GeneratePreprocessorConditionals off
  PhasorSimulation on
  OutputType     "Complex"
  PSBequivalent  "0"
}
Block {
  BlockType      Reference
  Name           "Voltage \nMeasurement B"
  SID           "37"
  RequirementInfo "{ } %GIDa_38437e20_876c_4d41_a306_fb6a1e8d0775"
  Ports          [0, 1, 0, 0, 0, 2]
  Position       [615, 79, 645, 106]
  LibraryVersion "1.1955"
  FontName       "Verdana"
  SourceBlock    "powerlib/Measurements/Voltage Measurement"
  SourceType     "Voltage Measurement"
  ShowPortLabels "FromPortIcon"
  SystemSampleTime "-1"
  FunctionWithSeparateData off
}

```

```

RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
RTWMemSecFuncExecute "Inherit from model"
RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
RTWMemSecDataInternal "Inherit from model"
RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
GeneratePreprocessorConditionals off
PhasorSimulation on
OutputType "Complex"
PSBequivalent "0"
}
Block {
BlockType Reference
Name "Voltage \nMeasurement C"
SID "42"
RequirementInfo "{ %GIDa_6284b9f3_fe97_4071_b831_8adfb5b8b2bf"
Ports [0, 1, 0, 0, 0, 2]
Position [225, 76, 255, 109]
BlockMirror on
NamePlacement "alternate"
LibraryVersion "1.1955"
FontName "Verdana"
SourceBlock "powerlib/Measurements/Voltage Measurement"
SourceType "Voltage Measurement"
ShowPortLabels "FromPortIcon"
SystemSampleTime "-1"
FunctionWithSeparateData off
RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
RTWMemSecFuncExecute "Inherit from model"
RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
RTWMemSecDataInternal "Inherit from model"
RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
GeneratePreprocessorConditionals off
PhasorSimulation on
OutputType "Complex"
PSBequivalent "0"
}
Block {
BlockType Reference
Name "Voltage B"
SID "16"
RequirementInfo "{ %GIDa_6e5d1a07_735d_42f6_a48a_76d3d042b03b"
Ports [0, 0, 0, 0, 0, 1, 1]
Position [395, 73, 430, 97]
LibraryVersion "1.1955"
FontName "Verdana"
FontSize 11
SourceBlock "powerlib/Electrical\nSources/AC Voltage Source"
SourceType "AC Voltage Source"
ShowPortLabels "FromPortIcon"
SystemSampleTime "-1"
FunctionWithSeparateData off
RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
RTWMemSecFuncExecute "Inherit from model"
RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
RTWMemSecDataInternal "Inherit from model"
RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
GeneratePreprocessorConditionals off

```



```

Amplitude          "220"
Phase              "-150"
Frequency          "50"
SampleTime         "0"
Measurements       "None"
}
Block {
  BlockType        Reference
  Name             "Voltage N"
  SID              "212"
  RequirementInfo  "{} %GIDa_8a83745d_3eec_4084_9c3d_30b09ad12820"
  Ports            [0, 1, 0, 0, 0, 2]
  Position         [115, 189, 135, 216]
  LibraryVersion   "1.1955"
  FontName         "Verdana"
  FontSize         11
  SourceBlock      "powerlib/Measurements/Voltage Measurement"
  SourceType       "Voltage Measurement"
  ShowPortLabels   "FromPortIcon"
  SystemSampleTime "-1"
  FunctionWithSeparateData off
  RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
  RTWMemSecFuncExecute  "Inherit from model"
  RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
  RTWMemSecDataInternal  "Inherit from model"
  RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
  GeneratePreprocessorConditionals off
  PhasorSimulation     on
  OutputType           "Complex"
  PSBequivalent        "0"
}
Block {
  BlockType        Reference
  Name             "powergui"
  SID              "11"
  Ports            []
  Position         [25, 525, 111, 569]
  LibraryVersion   "1.1955"
  UserDataPersistent on
  UserData         "DataTag0"
  FontName         "Arial"
  FontSize         12
  SourceBlock      "powerlib/powergui"
  SourceType       "PSB option menu block"
  ShowPortLabels   "FromPortIcon"
  SystemSampleTime "-1"
  FunctionWithSeparateData off
  RTWMemSecFuncInitTerm "Inherit from model"
  RTWMemSecFuncExecute  "Inherit from model"
  RTWMemSecDataConstants "Inherit from model"
  RTWMemSecDataInternal  "Inherit from model"
  RTWMemSecDataParameters "Inherit from model"
  GeneratePreprocessorConditionals off
  SimulationMode     "Phasor"
  SampleTime         "Ts"
  frequency          "50"
  SPID              off
}

```

```

DisableSnubberDevices off
DisableRonSwitches off
DisableVfSwitches off
SwTol "0"
Interpol off
DisplayEquations off
FunctionMessages off
frequencyindice "50"
Pbase "100e6"
ErrMax "1e-4"
Iterations "50"
UnitsV "kV"
UnitsW "MW"
echomessages off
HookPort off
EnableUseOfTLC off
x0status "blocks"
RestoreLinks "warning"
ResistiveCurrentMeasurement off
Frang "0:2:500"
Ylog off
Xlog on
ShowGrid off
save off
variable "ZData"
ZoomFFT on
StartTime "0.0"
cycles "1"
DisplayStyle "1"
fundamental "60"
FreqAxis off
MaxFrequency "1000"
frequencyindicesteady "1"
RmsSteady "1"
display off
Ts "0"
methode off
}
Line {
SrcBlock "Voltage \nMeasurement A"
SrcPort 1
DstBlock "Complex to\nReal-Imag2"
DstPort 1
}
Line {
SrcBlock "Complex to\nReal-Imag2"
SrcPort 1
Points [140, 0]
DstBlock "Display1"
DstPort 1
}
Line {
SrcBlock "Complex to\nReal-Imag2"
SrcPort 2
Points [20, 0; 0, 20]
DstBlock "Display2"
DstPort 1
}

```

```

}
Line {
  LineType          "Connection"
  SrcBlock          "Voltage \nMeasurement A"
  SrcPort           LConn2
  Points            [-40, 0]
  DstBlock          "Neutral8"
  DstPort           LConn1
}
Line {
  SrcBlock          "Voltage \nMeasurement B"
  SrcPort           1
  DstBlock          "Complex to\nReal-Imag3"
  DstPort           1
}
Line {
  SrcBlock          "Complex to\nReal-Imag3"
  SrcPort           1
  DstBlock          "Display5"
  DstPort           1
}
Line {
  SrcBlock          "Complex to\nReal-Imag3"
  SrcPort           2
  Points            [15, 0; 0, 30]
  DstBlock          "Display6"
  DstPort           1
}
Line {
  LineType          "Connection"
  Points            [300, 85; 0, -55; -285, 0; 0, 575; 10, 0]
  DstBlock          " RL Branch C"
  DstPort           LConn1
  Branch {
    ConnectType     "SRC_DEST"
    SrcBlock        " Voltage C "
    SrcPort         RConn1
    Points          [-5, 0]
  }
  Branch {
    ConnectType     "SRC_SRC"
    DstBlock        "Voltage \nMeasurement C"
    DstPort         LConn1
  }
}
Line {
  SrcBlock          "Voltage \nMeasurement C"
  SrcPort           1
  Points            [-15, 0; 0, -15]
  DstBlock          "Complex to\nReal-Imag4"
  DstPort           1
}
Line {
  SrcBlock          "Complex to\nReal-Imag4"
  SrcPort           1
  DstBlock          "Display7"
  DstPort           1
}

```

```

}
Line {
  SrcBlock      "Complex to\nReal-Imag4"
  SrcPort       2
  Points        [-5, 0; 0, 25]
  DstBlock      "Display8"
  DstPort       1
}
Line {
  LineType      "Connection"
  SrcBlock      "Current \nMeasurement B"
  SrcPort       RConn1
  DstBlock      "Neutral5"
  DstPort       LConn1
}
Line {
  LineType      "Connection"
  SrcBlock      "Current \nMeasurement B"
  SrcPort       LConn1
  DstBlock      " Load B"
  DstPort       RConn1
}
Line {
  LineType      "Connection"
  SrcBlock      " Voltage B1  "
  SrcPort       LConn2
  DstBlock      "Neutral6"
  DstPort       LConn1
}
Line {
  SrcBlock      "Complex to\nReal-Imag6"
  SrcPort       1
  Points        [-25, 0; 0, -30]
  DstBlock      "Display14"
  DstPort       1
}
Line {
  SrcBlock      "Complex to\nReal-Imag9"
  SrcPort       1
  DstBlock      "Display12"
  DstPort       1
}
Line {
  SrcBlock      "Complex to\nReal-Imag9"
  SrcPort       2
  Points        [15, 0; 0, 25]
  DstBlock      "Display13"
  DstPort       1
}
Line {
  SrcBlock      "Current \nMeasurement B"
  SrcPort       1
  Points        [30, 0]
  DstBlock      "Complex to\nReal-Imag7"
  DstPort       1
}
Line {

```

```

SrcBlock      "Complex to\nReal-Imag6"
SrcPort      2
DstBlock     "Display17"
DstPort      1
}
Line {
SrcBlock     "Gain1"
SrcPort      1
DstBlock     "Real-Imag to\nComplex1"
DstPort      2
}
Line {
SrcBlock     "Real-Imag to\nComplex1"
SrcPort      1
DstBlock     "Product1"
DstPort      2
}
Line {
SrcBlock     "Product1"
SrcPort      1
DstBlock     "Complex to\nReal-Imag9"
DstPort      1
}
Line {
SrcBlock     "Complex to\nReal-Imag7"
SrcPort      1
Points      [20, 0]
Branch {
DstBlock     "Display18"
DstPort      1
}
Branch {
Points      [0, -45]
DstBlock     "Real-Imag to\nComplex1"
DstPort      1
}
}
Line {
SrcBlock     "Complex to\nReal-Imag7"
SrcPort      2
Points      [30, 0]
Branch {
Points      [225, 0]
DstBlock     "Display11"
DstPort      1
}
Branch {
Points      [0, -45]
DstBlock     "Gain1"
DstPort      1
}
}
Line {
SrcBlock     " Voltage B1 "
SrcPort      1
Points      [80, 0; 0, -30]
Branch {

```

```

        Points          [140, 0]
        DstBlock        "Product1"
        DstPort         1
    }
    Branch {
        Points          [-230, 0; 0, 50]
        DstBlock        "Complex to\nReal-Imag6"
        DstPort         1
    }
}
Line {
    LineType           "Connection"
    SrcBlock           " Load B"
    SrcPort            LConn1
    Points             [-5, 0]
    Branch {
        ConnectType    "DEST_SRC"
        DstBlock        " RL Branch B"
        DstPort         RConn1
    }
    Branch {
        ConnectType    "DEST_SRC"
        Points          [0, -60]
        DstBlock        " Voltage B1 "
        DstPort         LConn1
    }
}
Line {
    LineType           "Connection"
    Points             [320, 345; -195, 0]
    DstBlock           " RL Branch A"
    DstPort            RConn1
    Branch {
        ConnectType    "SRC_SRC"
        Points          [0, -60]
        DstBlock        " Voltage A1"
        DstPort         LConn1
    }
    Branch {
        ConnectType    "SRC_DEST"
        SrcBlock        " Load A"
        SrcPort         LConn1
        Points          [-5, 0]
    }
}
Line {
    LineType           "Connection"
    SrcBlock           "Current \nMeasurement A1"
    SrcPort            LConn1
    DstBlock           " Load A"
    DstPort            RConn1
}
Line {
    LineType           "Connection"
    SrcBlock           " Voltage A1"
    SrcPort            LConn2
    DstBlock           "Neutral7"
}

```

```

    DstPort          LConn1
  }
  Line {
    LineType         "Connection"
    SrcBlock          "Current \nMeasurement A1"
    SrcPort           RConn1
    DstBlock          "Neutral4"
    DstPort           LConn1
  }
  Line {
    SrcBlock          "Complex to\nReal-Imag1"
    SrcPort           1
    Points            [-25, 0; 0, -30]
    DstBlock          "Display10"
    DstPort           1
  }
  Line {
    SrcBlock          "Complex to\nReal-Imag8"
    SrcPort           1
    DstBlock          "Display4"
    DstPort           1
  }
  Line {
    SrcBlock          "Complex to\nReal-Imag8"
    SrcPort           2
    Points            [0, 25]
    DstBlock          "Display9"
    DstPort           1
  }
  Line {
    SrcBlock          "Current \nMeasurement A1"
    SrcPort           1
    Points            [30, 0]
    DstBlock          "Complex to\nReal-Imag5"
    DstPort           1
  }
  Line {
    SrcBlock          "Complex to\nReal-Imag1"
    SrcPort           2
    DstBlock          "Display15"
    DstPort           1
  }
  Line {
    SrcBlock          "Gain3"
    SrcPort           1
    DstBlock          "Real-Imag to\nComplex3"
    DstPort           2
  }
  Line {
    SrcBlock          "Real-Imag to\nComplex3"
    SrcPort           1
    DstBlock          "Product3"
    DstPort           2
  }
  Line {
    SrcBlock          "Product3"
    SrcPort           1

```

```

    DstBlock          "Complex to\nReal-Imag8"
    DstPort           1
  }
Line {
  SrcBlock           "Complex to\nReal-Imag5"
  SrcPort            1
  Points             [20, 0]
  Branch {
    DstBlock          "Display16"
    DstPort            1
  }
  Branch {
    Points             [0, -45]
    DstBlock           "Real-Imag to\nComplex3"
    DstPort             1
  }
}
Line {
  SrcBlock           "Complex to\nReal-Imag5"
  SrcPort            2
  Points             [30, 0]
  Branch {
    Points             [225, 0]
    DstBlock           "Display3"
    DstPort             1
  }
  Branch {
    Points             [0, -45]
    DstBlock           "Gain3"
    DstPort             1
  }
}
Line {
  SrcBlock           " Voltage A1"
  SrcPort            1
  Points             [80, 0; 0, -30]
  Branch {
    Points             [140, 0]
    DstBlock           "Product3"
    DstPort             1
  }
  Branch {
    Points             [-230, 0; 0, 50]
    DstBlock           "Complex to\nReal-Imag1"
    DstPort             1
  }
}
Line {
  LineType            "Connection"
  SrcBlock            " Load C"
  SrcPort             LConn1
  Points              [-5, 0]
  Branch {
    ConnectType        "DEST_SRC"
    Points              [0, -60]
    DstBlock           " Voltage C1"
    DstPort             LConn1
  }
}

```



```

}
Branch {
    ConnectType      "DEST_SRC"
    DstBlock         " RL Branch C"
    DstPort          RConn1
}
}
Line {
    LineType         "Connection"
    SrcBlock         " Voltage C1"
    SrcPort          LConn2
    DstBlock         "Neutral10"
    DstPort          LConn1
}
Line {
    LineType         "Connection"
    SrcBlock         "Current \nMeasurement C"
    SrcPort          LConn1
    DstBlock         " Load C"
    DstPort          RConn1
}
Line {
    SrcBlock         "Complex to\nReal-Imag10"
    SrcPort          1
    Points           [-25, 0; 0, -30]
    DstBlock         "Display22"
    DstPort          1
}
Line {
    SrcBlock         "Complex to\nReal-Imag12"
    SrcPort          1
    DstBlock         "Display20"
    DstPort          1
}
Line {
    SrcBlock         "Complex to\nReal-Imag12"
    SrcPort          2
    Points           [15, 0; 0, 25]
    DstBlock         "Display21"
    DstPort          1
}
Line {
    SrcBlock         "Current \nMeasurement C"
    SrcPort          1
    Points           [35, 0]
    DstBlock         "Complex to\nReal-Imag11"
    DstPort          1
}
Line {
    SrcBlock         "Complex to\nReal-Imag10"
    SrcPort          2
    DstBlock         "Display23"
    DstPort          1
}
Line {
    SrcBlock         "Gain2"
    SrcPort          1
}

```

```

    DstBlock          "Real-Imag to\nComplex2"
    DstPort           2
  }
  Line {
    SrcBlock          "Real-Imag to\nComplex2"
    SrcPort           1
    DstBlock          "Product2"
    DstPort           2
  }
  Line {
    SrcBlock          "Product2"
    SrcPort           1
    DstBlock          "Complex to\nReal-Imag12"
    DstPort           1
  }
  Line {
    SrcBlock          "Complex to\nReal-Imag11"
    SrcPort           1
    Points            [15, 0]
    Branch {
      DstBlock        "Display24"
      DstPort         1
    }
    Branch {
      Points          [0, -45]
      DstBlock        "Real-Imag to\nComplex2"
      DstPort         1
    }
  }
  Line {
    SrcBlock          "Complex to\nReal-Imag11"
    SrcPort           2
    Points            [25, 0]
    Branch {
      Points          [225, 0]
      DstBlock        "Display19"
      DstPort         1
    }
    Branch {
      Points          [0, -45]
      DstBlock        "Gain2"
      DstPort         1
    }
  }
  Line {
    SrcBlock          " Voltage C1"
    SrcPort           1
    Points            [80, 0; 0, -30]
    Branch {
      Points          [140, 0]
      DstBlock        "Product2"
      DstPort         1
    }
    Branch {
      Points          [-230, 0; 0, 50]
      DstBlock        "Complex to\nReal-Imag10"
      DstPort         1
    }
  }

```

```

    }
  }
Line {
  LineType      "Connection"
  Points        [470, 85; 0, 55; -450, 0; 0, 335; 5, 0]
  DstBlock      " RL Branch B"
  DstPort       LConn1
  Branch {
    ConnectType "SRC_DEST"
    SrcBlock    "Voltage B"
    SrcPort     RConn1
    Points      [25, 0]
  }
  Branch {
    ConnectType "SRC_SRC"
    DstBlock    "Voltage \nMeasurement B"
    DstPort     LConn1
  }
}
Line {
  LineType      "Connection"
  SrcBlock      " Voltage C "
  SrcPort       LConn1
  Points        [5, 0]
  Branch {
    ConnectType "DEST_SRC"
    DstBlock    "Voltage B"
    DstPort     LConn1
  }
  Branch {
    ConnectType "DEST_SRC"
    DstBlock    "Neutral3"
    DstPort     LConn1
  }
  Branch {
    ConnectType "DEST_SRC"
    DstBlock    " Voltage A"
    DstPort     LConn1
  }
}
Line {
  LineType      "Connection"
  Points        [375, 20; -350, 0; 0, 325]
  DstBlock      " RL Branch A"
  DstPort       LConn1
  Branch {
    ConnectType "SRC_DEST"
    SrcBlock    "Voltage \nMeasurement A"
    SrcPort     LConn1
    Points      [-135, 0]
  }
  Branch {
    ConnectType "SRC_SRC"
    DstBlock    " Voltage A"
    DstPort     RConn1
  }
}
}

```

```

Line {
  LineType          "Connection"
  SrcBlock          "Neutral1"
  SrcPort           LConn1
  Points            [0, -5]
  DstBlock          "Voltage \nMeasurement B"
  DstPort           LConn2
}
Line {
  LineType          "Connection"
  Points            [30, 210; 70, 0]
  DstBlock          "Voltage N"
  DstPort           LConn2
  Branch {
    ConnectType     "SRC_DEST"
    Points           [275, 100; 0, 30; -245, 0; 0, 80]
    Branch {
      ConnectType   "SRC_DEST"
      SrcBlock      "Voltage \nMeasurement C"
      SrcPort       LConn2
      Points         [5, 0]
    }
    Branch {
      ConnectType   "SRC_SRC"
      DstBlock      "Neutral2"
      DstPort       LConn1
    }
  }
}
Branch {
  ConnectType       "SRC_SRC"
  DstBlock          " RL Branch N"
  DstPort           LConn1
}
}
Line {
  SrcBlock          "Complex to\nReal-Imag13"
  SrcPort           1
  Points            [15, 0; 0, -25]
  DstBlock          "Display25"
  DstPort           1
}
Line {
  SrcBlock          "Complex to\nReal-Imag13"
  SrcPort           2
  DstBlock          "Display26"
  DstPort           1
}
Line {
  SrcBlock          "Voltage N"
  SrcPort           1
  Points            [20, 0]
  Branch {
    DstBlock        "Complex to\nReal-Imag13"
    DstPort         1
  }
  Branch {
    Points           [0, 30; 180, 0; 0, -85; 270, 0; 0, 35]
  }
}

```

```

        DstBlock      "Product4"
        DstPort      1
    }
}
Line {
    LineType      "Connection"
    SrcBlock      "Neutral11"
    SrcPort      LConn1
    Points      [55, 0]
    DstBlock      "Voltage N"
    DstPort      LConn1
}
Line {
    SrcBlock      "Complex to\nReal-Imag15"
    SrcPort      1
    DstBlock      "Display29"
    DstPort      1
}
Line {
    SrcBlock      "Complex to\nReal-Imag15"
    SrcPort      2
    Points      [35, 0; 0, 25]
    DstBlock      "Display30"
    DstPort      1
}
Line {
    SrcBlock      "Current \nMeasurement N"
    SrcPort      1
    DstBlock      "Complex to\nReal-Imag14"
    DstPort      1
}
Line {
    SrcBlock      "Gain4"
    SrcPort      1
    DstBlock      "Real-Imag to\nComplex4"
    DstPort      2
}
Line {
    SrcBlock      "Real-Imag to\nComplex4"
    SrcPort      1
    DstBlock      "Product4"
    DstPort      2
}
Line {
    SrcBlock      "Product4"
    SrcPort      1
    DstBlock      "Complex to\nReal-Imag15"
    DstPort      1
}
Line {
    SrcBlock      "Complex to\nReal-Imag14"
    SrcPort      2
    Points      [5, 0; 0, 45; 20, 0]
    Branch {
        Points      [175, 0]
        DstBlock      "Display28"
        DstPort      1
    }
}

```

```

}
Branch {
  Points      [0, -45]
  DstBlock    "Gain4"
  DstPort     1
}
}
Line {
  SrcBlock    "Complex to\nReal-Imag14"
  SrcPort     1
  Points      [15, 0]
  Branch {
    DstBlock   "Real-Imag to\nComplex4"
    DstPort    1
  }
  Branch {
    Points     [0, 40]
    DstBlock   "Display27"
    DstPort    1
  }
}
}
Line {
  LineType    "Connection"
  SrcBlock    "Current \nMeasurement C"
  SrcPort     RConn1
  DstBlock    "Neutral9"
  DstPort     LConn1
}
Line {
  LineType    "Connection"
  SrcBlock    "Current \nMeasurement N"
  SrcPort     LConn1
  DstBlock    "Neutral12"
  DstPort     LConn1
}
Line {
  LineType    "Connection"
  SrcBlock    " RL Branch N"
  SrcPort     RConn1
  Points      [285, 0]
  DstBlock    "Current \nMeasurement N"
  DstPort     RConn1
}
}
}
}

```

Приложение П.2

В табл. 1П2 приведены данные о взаимозаменяемости (аналогов) арматуры для СИП 0,4кВ производителей: Niled (Нилед), Ensto(Энсто), Tyco(Тайко), Sicame(Сикам), ВК (Би-Кей), МЗВА, ИЭК, Арматурофф, Feman.

Таблица 1П2

Производитель								
Niled	Ensto	Tyco	Sicame	ВК	МЗВА	ИЭК	Армату- рофф	Feman
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Кронштейн анкерный								
CS10.3	SO253	CA1500-2	CS10.3	CA1500	CA2000.1	КАМ4000	АК1500	CA1500
CA2000	SO260.2	CA2000	CS2000	CA2000	CA2000.1	КАМ4001	АК2000	CA2000
CA16	-	CAВ25	РА69F	CA25	CA25	-	АК25	CA16
CA25	-	-	-	-	-	-	-	-
CF16	SOT29.10	HEL-5661	GHSO 16	CF16	SOT 29.10	-	КР16	-
BT8	SOT16.12	-	-	BT8	-	-	-	L200
CS1500	-	-	-	CS14	-	-	-	CS1500 M/F
Кронштейн анкерный для монтажа СИП по стенам зданий								
CB600	SOT76	-	CS10W2	CS16	-	-	-	-
CT600	SOT28	-	CS10W3	CT3	-	-	-	-
Зажим анкерный для СИП с изолированной жилой из сплава								
РАС1500	-	-	РАС54-1500	-	-	-	-	-
РА1500	SO250.1	РА1500	РА54-1000	РА1500Е	РА1500	ЗАН 50-70	А31500	РА1500
РА2200	SO251.1	РА95-2000	РА95-2000	РА2000	РА2200	-	А3 ⁹⁵⁻ 2000	РА2000
DN35	SO252.1	РА1000	РА35-1000	РА1000	РА1000	РА1000	ЗАН 16-35	-
DN120	-	-	РА120-2000	-	-	-	-	-
Комплект промежуточной подвески для СИП с изолированной несущей жилой из сплава								
ES1500E	SO260	ES1500	ES54-14	ES54-14	ES1500	КОМП1500	КПП1500.2	ES1500
Поддерживающий зажим для СИП с изолированной несущей нейтралью из сплава								
PS 1500+ LM-E	SO69.95	PS54	PSQ54R	PS 1500/16-95	PS1500	ЗПН1500	П325-95	PS1500
PS2000	-	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 1П2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зажим анкерный для СИП без несущей жилы из сплава								
RPA 425/50	SO274(s)	HEL5505 (5506)	GUKo1	RPA 425/50	PA 2(4)/10-50	-	-	PA416-35
RPA 470/95	SO275(s)	HEL5505 (5506)	GUKo1	RPA 470/95	3KH-1	-	-	PA450/95
RPA 450/120	SO234	HEL5504 (5507)	GUKo2	RPA 450/120	3KH-1	-	-	-
Анкерно-поддерживающий зажим для СИП без несущей жилы из сплава								
PAS 216/435	SO80.225/80	HEL5505	GUKp2/p4	PAS 216/435	PA 2(4)/10-50	ЗАБУ 4X10-35	-	PA/PS 216/35
Зажим анкерный для проводов ввода								
DN123	SO25	PA 25X100	PC63F (TF8)	PA 25 (PA 2/25)	PA 25X100	ЗАБ16-25	A325X100	PA25
Поддерживающий зажим для СИП без несущей жилы из сплава								
PSP 25/120	-	-	PS83	PSP 25/120	PS4X120	-	-	PS2X25
PS216/25	-	-	-	PS216/25	-	-	ПЗ16-25	PS4X25
PS425/50	-	PS 450/470	-	PS425/50	PS4X50 (2X95)	-	-	PS4X50
PS470/95	-	PS 495/4120	-	PS470/95	PS4X70 (4X95)	-	-	PS4X95
Устройство для промежуточного крепления проводов ввода в дом								
RA16-25	-	RA25	-	-	-	-	ПЗ16-25	RA25
RA25-70	-	-	-	-	-	-	-	-
Герметичный ответвительный зажим с одновременной затяжкой болта								
P4	SLIW11.1	EP95-13	TTD051F	CT25	OP6	ЗОИ16-70	ЗПО1,5-10	PC95-10
P625	SLIW15.1	-	-	-	-	ЗОИ 16-95/ЗОИ 35-150	-	PC70-25
P645	SLIW15.1	P2R95	TTD 101/151 FJ	CT70	OP645	ЗОИ 16-95/ЗОИ 35-150	ЗПА16-95	PC4-150
P70	SLIW 17.1/17.2	P4X150D	TTD 201/251 FJ	CT1S 95-25	OP95	ЗОИ25-95	ЗПМ25-95	PC35-150
Влагозащищенные ответвительные зажимы с раздельной затяжкой болта для ответвления СИП от ВЛН								
CD71+BI, 153+BI	-	-	-	-	-	-	-	-
Влагозащищенный ответвительный зажим с раздельной затяжкой болтов								
P21	-	-	CT 25-25HF	CBP1	-	-	-	-
P71	-	-	CT 70-35 HF	CBP EP	-	-	ЗПР71	-
P72	SLIP22.1+ SL29.4	-	CT 70-235HF	CBP2	-	-	ЗПР72	-
P74	SLIP22.1+ SL29.8	-	-	-	-	-	-	-

Продолжение таблицы 1П2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
P151+BI	-	-	-	-	-	-	-	-
PI 151+BI	-	-	-	-	-	-	-	-
PI 240+BI	-	-	-	-	-	-	-	-
Герметичные ответвительные зажимы с одновременной затяжкой болта для ответвления СИП от ВЛН								
N640	SLIP22.12/127	RPD 25/CN	NTD 151AF	CTN35	ZP1	-	-	-
N70	SLIP22.12/127	CDR/CN 1S 95 UK	NTD 301AF	CTN95	ZP2	-	ЗПП25-95	-
Корпус предохранителя								
PF, PF 10, PF 16, PF 25	SV29.25/22	CCFBD 6-25	DCPAE+ TTD 051FJ	PF16/95	PV16-25 T/D	-	КП 16, КП 25	E14/E27
Съемный предохранитель								
FG 102 - FG 263	ПВД 2/3	AD16/60- 22X58	IFN 10/63	F2 - F20	P2-63T/D	-	ПВ 16, ПВ 32, ПП-1 6А, ПП-2 10А	DOI/DII
Ограничитель перенапряжения (в комплекте с зажимом)								
OP600/28	SE45/46	LVA-280	EEB151A	-	LVA- 250-4	-	ОПН280	-
OP600/50	SE45/46	LVA-440	TTD151F	-	LVA- 450-4	-	ОПН440	-
Дистанционный фиксатор (бандаж)								
BIC15.50	SO70/71/90.1	BRPF 70- 150-1F	GPDm/d/s	BIC100	-	-	-	-
BIC50.90	SO75.100	BRPF 70- 150-6F	GPDm/d/s	BIC100	-	-	-	-
Фасадное крепление								
SF50	SO70.13	BRPF-70- 150-1F	SC 93.1PC	BRPF 150.1	BRPF-1	КФК 12-47.6	ФК6	FZN40
SF20	SO90.1	BRPF-70- 150-6F	SC 93.6PC	BRPF 150.6	BRPF-6	КФК 12-47.1	ФК1	FZN40
Зажим для временного заземления в комплекте с адаптером								
PC481	SE40+ SLIW15.1	PMCC+ P2X95	TTD 2- CC/2/3	CMCC+ CT 70	ZVZ481	-	АДЗ-25	Z 481
Плащечный зажим								
CD35	SL2.11	HEL- 3587/3588	-	CD35	ПА1-1А	-	-	-
CD150	SL4.21/8.21	HEL- 3589/3592	-	CD150	ПА3-2А	-	-	-
Соединительный зажим								
MJPT 50- 70, 50-95, 70-95	SJ8.25, 8.35, 8.50, 8.70, 8.95	MJPT 50- 70, 50-95, 70-95	MJPT 50- 70SF, 50- 95SF, 70- 95SF	MJPT 50- 70, 50-95, 70-95	MJPT 50- 70, 50-95, 70-95	-	-	MJPB 50- 70, 50-95, 70-95

Продолжение таблицы 1П2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
МЈРТ 35, 50, 70	SJ8.25, 8.35, 8.50, 8.70, 8.95	МЈРТ 35, 50, 70	МЈРТ 35SF, 50SF, 70SF	МЈРТ 35, 50, 70	МЈРТ 35, 50, 70	ГИФ 35, 50, 70	УСА 35,50, 70	МЈРВ 35, 50, 70
МЈРТ 95	SJ8.95	МЈРТ95	МЈРТ 95SF	МЈРТ95	МЈРТ95	ГИФ95	ГСФ95	МЈРВ 95
МЈРТ 120, 150	SJ8.120	МЈРТ120	МЈРТ 120SF	МЈРТ120	МЈРТ120	ГИФ 120, 150	ГСФ120	-
Соединительный зажим для нейтрали								
МЈРТ 25N	СИ1	-	МЈРТ 25 NSF	-	МЈРТ 25N	ГИН25N	-	МЈРТ 25N
МЈРТ 35N	СИ1	-	МЈРТ 35NSF	-	МЈРТ 35N	ГИН35N	ГСН35	МЈРТ 35N
МЈРТ 50N	SJ8.501	-	МЈРТ 50NSF	-	МЈРТ 50N	ГИН50N	ГСН50	МЈРТ 50N
МЈРТ 70N	SJ8.701	МЈРТ 70N	МЈРТ 70NSF	МЈРТ 70N	МЈРТ 70N	ГИН70N	СН70	МЈРТ 70N
МЈРТ 95N	SJ8.951	МЈРТ 95N	МЈРТ 95NSF	-	-	-	-	-

ЛИТЕРАТУРА

1. Правила устройства электроустановок: ПУЭ: утв. Минэнерго России 08.07.02: ввод. в действие с 01.01.03 – 7-е изд., измен. и доп. – М.: Главгосэнергонадзор, 2002.
2. Аполлонский С.М. Электротехника и электроника. Трехфазные электрические цепи: учеб. пособие / С.М. Аполлонский, В.В. Леонтьев. – СПб.: СЗТУ, 2005. – 60 с.
3. Воробьев В.Е. История энергетики и среда обитания человека: письменные лекции / В.Е. Воробьев, В.И. Рябуха, А.А. Томов. – СПб.: СЗТУ, 2004. – 77 с.
4. Веселовский О.Н. Энергетическая техника и ее развитие / О.Н. Веселовский, Я.А. Шнейберг. – М.: Высшая школа, 1976. – 304 с.
5. Электротехника: практикум: учеб. пособие / А.Г. Черных. – Иркутск: ИрГСХА, 2009. – 202 с.
6. Электротехника и основы электроники: практикум по дисциплине: учеб. пособие / А.Г. Черных. – Иркутск: ИрГСХА, 2010. – 272 с.
7. Епифанов А.Д. Технология монтажа электрооборудования и средств автоматизации: практическое пособие: в 2-х ч. Ч.1; / А.Д. Епифанов, А.Г. Черных. – Иркутск: ИрГСХА, 2011. – 173с.
8. Правила устройства воздушных линий электропередачи напряжением до 1кВ с самонесущими изолированными проводами. – М.: АО "РОСЭП", 1997.
9. Типовая инструкция по эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 0,38кВ с самонесущими изолированными проводами: РД 153-34.3-20.671-97: утв. РАО «ЕЭС России» 31.01.97: ввод. в действие с 01.03.2000 – М.: СПО ОРГРЭС, 1998.
10. Правила приемки в эксплуатацию воздушных линий электропередачи напряжением 0,38кВ с самонесущими изолированными проводами (ВЛИ 0,38 кВ): РД 153-34.0-20.408-97. – М.: СПО ОРГРЭС, 2000.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Основные сведения о многофазных системах и цепях	4
1.1 Понятия о многофазных системах и цепях	4
1.2 Возникновение многофазных систем	4
1.3 Трехфазная система	6
1.4 Трехфазный трансформатор	8
1.5 Первая трехфазная линия электропередачи	10
2. Трехфазные электрические цепи и сети	12
2.1 Простейший трехфазный генератор	12
2.2 Трехфазная система э.д.с., токов и напряжений	13
2.3 Несвязанная трехфазная система цепей	14
2.4 Трехфазная цепь, соединенная звездой	16
2.4.1 Симметричная нагрузка при соединении звездой (трехпроводная система)	20
2.4.2 Несимметричная нагрузка при соединении звездой (трехпроводная система)	22
2.4.3 Пример расчета несимметричной нагрузки при соединении звездой (трехпроводная система)	43
2.4.4 Симметричная нагрузка при соединении звездой (четырёхпроводная система)	56
2.4.5 Несимметричная нагрузка при соединении звездой (четырёхпроводная система)	57
2.4.6 Пример расчета несимметричной нагрузки при соединении звездой (четырёхпроводная система)	61
2.5 Расчет несимметричных режимов трехфазных электрических сетей	82
2.5.1 Режим изолированной нейтрали сети	83
2.5.2 Несимметричный режим однофазного замыкания при изолированной нейтрали	85
2.5.3 Несимметричный режим однофазного замыкания при нейтрали сети, заземленной через дугогасящий реактор....	91
3. Технология монтажа воздушных линий электропередач напряжением 0,4 кВ изолированными проводами марки СИП	99
3.1 Воздушные линии электропередачи напряжением до 1 кВ.....	101
3.2 Применение проводов СИП	103
3.3 Монтаж ВЛИ напряжением до 1 кВ с использованием СИП	109

3.3.1 Установка опор	110
3.3.2 Монтаж крепежных устройств	111
3.3.3 Размотка провода	113
3.3.3.1 Инструменты для размотки	114
3.3.3.2 Порядок размотки СИП	117
3.3.3.3 Правила размотки СИП	118
3.3.4 Натяжение СИП и его анкерное крепление	118
3.3.4.1 Замена роликов на промежуточные зажимы	121
3.3.5 Обустройство линейных ответвлений от магистрали	122
3.3.6 Защита линии от перенапряжений и коротких замыканий. Заземление	132
3.3.7 Подключение уличных светильников	140
3.3.8 Приемка в эксплуатацию	150
3.3.9 Техническое обслуживание и эксплуатация	151
3.3.9.1 Осмотры ВЛИ	152
3.3.9.2 Периодичность испытаний ВЛИ	152
3.3.9.3 Поиск повреждений и ремонт на ВЛИ	153
3.4 Основные типовые решения опор ВЛИ 0,4кВ с СИП с изолированной несущей нейтралью	154
3.5 Основные типовые решения опор ВЛИ 0,4кВ с СИП с голой несущей нейтралью	160

Приложение П.1 Программа расчета режима работы трехфазной четырёхпроводной сети при несимметричной нагрузке	164
Приложение П.2 Таблица взаимозаменяемости арматуры для СИП 0,4кВ отечественных и зарубежных производителей	215
Литература	219

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

**Бузунова Марина Юрьевна
Черных Алексей Георгиевич**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА
ТРЕХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ**

Учебное пособие

КНИГА 1

Научный редактор – А.Г. Черных
Ответственный за выпуск – А.Г. Черных
Компьютерная верстка – Е.И. Черных

Лицензия на издательскую деятельность

ЛР № 070444 от 11.03.98 г.

Подписано в печать . . .13 г.

Усл.печ. л. Заказ №

Изд. №

Тираж 300 экз.

ISBN

Издательство Иркутской государственной
сельскохозяйственной академии
664038, Иркутская обл., Иркутский р-н,
пос. Молодежный