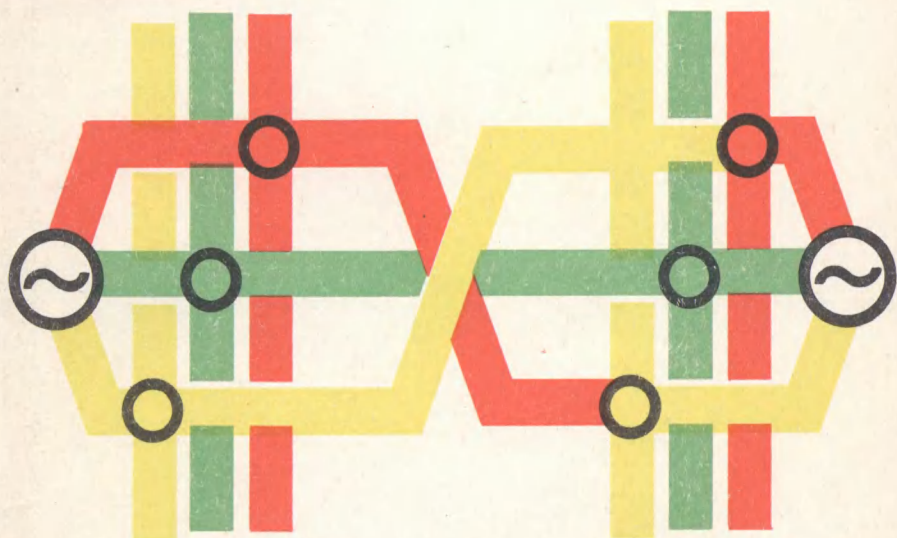




БИБЛИОТЕКА
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА



А.А.ФИЛАТОВ

ФАЗИРОВКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ



БИБЛИОТЕКА ЭЛЕКТРОМОНТЕРА

Основана в 1959 г.

В ы п у с к 558

А.А.ФИЛАТОВ

ФАЗИРОВКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Второе издание, переработанное
и дополненное*



МОСКВА ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ 1984



Scan AAW

ББК 31.277.1

Ф51

УДК 621.31.002.51.004.67:621.317.77

Редакционная коллегия:

В. Н. Андриевский, С. А. Бажанов, Ю. В. Зайцев, Д. Т. Комаров,
В. П. Ларионов, Э. С. Мусаэлян, С. П. Розанов, В. А. Семенов,
А. Д. Смирнов, А. Н. Трифонов, П. И. Устинов, А. А. Филатов

Филатов А. А.

Ф51 Фазировка электрического оборудования. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 72 с., ил. — (Б-ка электромонтера; Вып. 558).

25 к. 35000 экз.

Рассмотрены методы практической фазировки электрических цепей (генераторов, трансформаторов, кабельных и воздушных линий электропередачи), применяемые в энергосистемах при выполнении монтажных и ремонтных работ на станциях и в электрических сетях. Первое издание вышло в 1977 г. Во втором издании более полно освещен ряд вопросов, приведено описание методов фазировки вторичных цепей.

Для электромонтеров и мастеров, занимающихся монтажом, ремонтом и эксплуатацией оборудования и учащихся ПТУ.

Ф 2302040000-089
051 (01)-84 125-84

ББК 31.277.1
6П2.1.081

Александр Александрович Филатов

ФАЗИРОВКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Редактор издательства Л. Л. Жданова
Художественный редактор В. А. Гозак-Хозак
Обложка художника В. Я. Батищева
Технический редактор А. С. Давыдова
Корректор Н. Б. Чухутин
ИБ № 369

Сдано в набор 09.08.83. Подписано в печать 24.02.84 (набор выполнен в издательстве). Т-07225. Формат 84X1081/32. Бумага офсетная №1. Гарнитура Пресс-Роман. Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,78. Усл. кр.-отт. 15,59. Уч.-изд. л. 4,48. Тираж 35000 экз. Заказ 1363. Цена 25 к.

Энергоатомиздат, 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10

Ленинградская фабрика офсетной печати № 1 Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств полиграфии и книжной торговли, 197101, Ленинград, ул. Мира, 3.

© Энергия, 1977
© Энергоатомиздат, 1984, с изменениями

ПРЕДИСЛОВИЕ

Первое издание брошюры "Фазировка электрического оборудования" вышло в 1977 г. В книге была предпринята попытка обобщения и сравнения применяемых в энергосистемах методов фазировки силового оборудования, а также приборов и устройств, предназначенных для этой цели.

За истекший период были предложены другие, более прогрессивные методы, устройства и приборы для фазировки. В Ленэнерго, например, нашел применение прямой метод фазировки на напряжении 35—110 кВ с помощью делителей напряжения на резисторах. В Мосэнерго для фазировки воздушных линий был применен неавтоматический локационный искатель. В Ленинградской кабельной сети был внедрен специальный прибор оригинальной конструкции для фазировки силовых кабельных линий в процессе их монтажа и ремонта при установленном защитном заземлении на питающем конце линии.

Кроме того, после выхода в свет первого издания книги читателями было выражено пожелание дополнить книгу описанием методов фазировки вторичных цепей измерительных трансформаторов тока и напряжения с цепями реле в схемах релейной защиты и автоматики.

Во втором издании книги приведено описание новых методов с применением упомянутых выше устройств и приборов. Подробно рассмотрена фазировка вторичных цепей методом снятия векторных диаграмм с помощью прибора ВАФ-85. Разъяснен ряд вопросов, затронутых в первом издании книги.

Автор считает своим приятным долгом выразить искреннюю благодарность канд. техн. наук В. А. Семенову за полезные рекомендации по переизданию книги, А. И. Савостьянову — рецензенту настоящей книги, а также читателям, приславшим свои отзывы на первое ее издание.

Автор надеется, что второе издание книги также вызовет интерес читателей: эксплуатационного персонала энергосистем, персонала наладочных и монтажных организаций, учащихся.

Замечания и пожелания автор просит направлять по адресу: 113114, Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, Энергоатомиздат.

Автор

ВВЕДЕНИЕ

Электрическое оборудование трехфазного тока (синхронные генераторы, трансформаторы, линии электропередачи) подлежит обязательной фазировке перед первым включением в сеть, а также после ремонта, при котором мог быть нарушен порядок следования и чередования фаз.

Фазировка состоит в проверке совпадения по фазе напряжения каждой из трех фаз включаемой электрической установки с соответствующими фазами напряжения сети. Такая проверка необходима, так как в процессе сборки, монтажа и ремонта оборудования могло быть изменено расположение фаз. У электрических машин, например, не исключено ошибочное обозначение выводов обмоток статора; у силовых кабелей в соединительных муфтах возможно соединение между собой токоведущих жил разноименных фаз; чередование проводов воздушных линий (ВЛ) может оказаться иным в результате ошибочно выполненной транспозиции¹ и т. д. Допущенные ошибки выявляются фазировкой.

Фазировка включает в себя три существенно различные операции. Первая из них заключается в проверке и сравнении порядка следования фаз включаемой установки и сети. Эта операция проводится перед включением на параллельную работу независимо работающих электрических систем, нового генератора, а также генератора после капитального ремонта, если при этом изменялась схема соединения обмоток его статора с сетью. Только после получения положительных результатов фазировки электрические системы (генератор) синхронизируют² и включают на параллельную работу.

Вторая операция состоит в проверке совпадения по фазе одноименных напряжений, т. е. отсутствия между ними углового сдвига.

Наконец, третья операция состоит в проверке одноименности (расцветки) фаз, соединение которых предполагается произвести. Целью этой операции является проверка правильности соединения между собой всех элементов установки, т. е., в конечном счете, правильности подвода токопроводящих частей к включающему аппарату.

¹ Транспозиция — циклическая круговая перекладка проводов ВЛ с целью выравнивания их емкости и индуктивности.

² Под синхронизацией понимают процесс выравнивания напряжений и частот вращения двух электрических систем или генератора и сети при включении на параллельную работу. При этом выбирают такой момент подачи импульса на включение, чтобы включение выключателя произошло при совпадении напряжений по фазе. Синхронизировать несфазированный генератор нельзя. Способы синхронизации в данной брошюре не рассматриваются.

При фазировке силовых трансформаторов и линий электропередачи, принадлежащих одной электрической системе, обычно ограничиваются выполнением двух последних операций, так как известно, что порядок следования фаз у всех синхронно работающих генераторов системы одинаков.

Методы фазировки различны. Они зависят от назначения фазуемого оборудования (генераторы, трансформаторы, линии), схем соединения обмоток, а также от приборов и приспособлений, используемых при фазировке. Ниже рассмотрены наиболее доступные методы, получившие распространение в энергосистемах.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Трехфазная система. Под трехфазной системой ЭДС (напряжений) понимают совокупность трех симметричных ЭДС, амплитуды которых равны по значению и сдвинуты (амплитуда каждой ЭДС относительно предшествующей ей амплитуды другой ЭДС) на один и тот же фазный угол. На рис. 1, *а* приведена схема простейшего синхронного генератора трехфазного тока. Обмотки, в которых наводятся переменные ЭДС, помещены в пазы статора, смещенные по окружности на 120° . Выводам обмоток присвоены обозначения "начал" A, B, C и "концов" X, Y, Z соответственно. По обмотке ротора проходит постоянный ток, создавая магнитное поле. При пересечении обмоток статора магнитным полем вращающегося ротора в них наводится симметричная система трех синусоидальных ЭДС одинаковой частоты и амплитуды, сдвинутых по фазе на 120° (рис. 1, *б*). За один оборот ротора, что соответствует периоду времени T , в каждой из обмоток происходит полный цикл изменения ЭДС. Когда ось ротора $I-I$ пересекает витки обмотки статора, в них наводится максимальная ЭДС. Но так как для трех обмоток статора это происходит в разные моменты времени, то и максимумы наведенных ЭДС не совпадают по фазе, т. е. их амплитуды E_A, E_B, E_C оказываются сдвинутыми одна относительно другой на $1/3$ периода, или на 120° .

Фаза. Угол, характеризующий определенную стадию периодически изменяющегося параметра (в данном случае ЭДС), называют фазовым углом или простой фазой. При совместном рассмотрении двух (и более) синусоидально изменяющихся ЭДС одной частоты, если их нулевые (или амплитудные) значения наступают не одновременно, говорят, что они сдвинуты по фазе. Сдвиг всегда определяют между одинаковыми фазами, например между началами синусоид, как это показано на рис. 1, *б*, или между амплитудами. При сдвиге двух синусоид по фазе одна из них будет отставать от другой по времени. Чтобы определить, какая из синусоид отстает, находят их начала, т. е. нулевые значения ЭДС при переходе от отрицательных

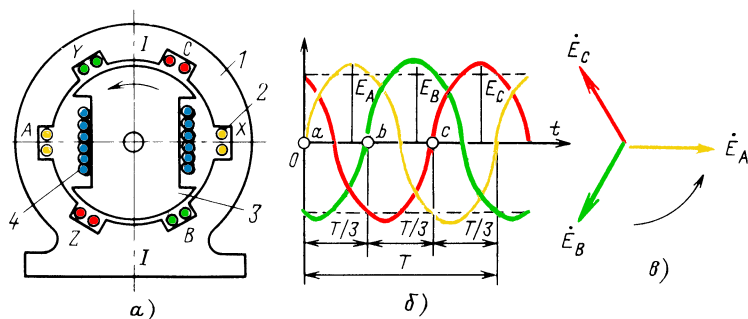


Рис. 1. Получение трехфазной симметричной системы ЭДС:

1 – статор; 2 – обмотка статора; 3 – ротор; 4 – обмотка ротора

значений к положительным. На рис. 1, б начала обозначены буквами a, b, c . Из рисунка видно, что начало одной синусоиды (например, синусоиды, проходящей через точку b) расположено правее начала другой (синусоиды, проходящей через точку a). Это свидетельствует о том, что синусоида с началом в точке b отстает по времени от синусоиды с началом в точке a . Еще более отстает синусоида, проходящая через точку c , так как ее начало сдвинуто на $(2/3)T$ или на 240° от начала координат (момента, когда $t = 0$). В равной мере можно говорить, что синусоида с началом в точке a опережает синусоиды с началом в точке b на $(1/3)T$ и с началом в точке c — на $(2/3)T$.

На практике под фазой трехфазной системы понимают также отдельный участок трехфазной цепи, по которому проходит один и тот же ток, сдвинутый относительно двух других по фазе. Исходя из этого, фазой называют обмотку генератора, трансформатора, двигателя, провод трехфазной линии, чтобы подчеркнуть принадлежность их к определенному участку трехфазной цепи.

Фазы обозначают прописными буквами A, B, C . Но навешивать надписи букв на оборудование станций и подстанций не всегда удобно. Поэтому при окраске оборудования (например, сборных и соединительных шин в закрытых РУ), которая применяется с целью защиты от коррозии, используют красители различного цвета. Краску наносят по всей длине шин.

Шины фазы A окрашивают в желтый цвет, фазы B — в зеленый и фазы C — в красный. Поэтому фазы часто называют Ж, З, К. Для распознавания фаз оборудования на кожухах, арматуре изоляторов, конструкциях и опорах наносят соответствующие цветные метки в виде кружков или полос.

Таким образом, в зависимости от рассматриваемого вопроса фаза — это либо угол, характеризующий состояние синусоидально изменяющейся величины в каждый момент времени, либо участок трехфазной цепи, т. е. однофазная цепь, входящая в состав трехфазной.

Порядок следования фаз. Порядок, в котором ЭДС в фазных обмотках генератора проходят через одни и те же значения (например, через положительные амплитудные значения), называют порядком следования фаз. Трехфазные системы ЭДС могут отличаться друг от друга порядком следования фаз. Если вращение ротора генератора происходит в направлении, изображенном на рис. 1, *а*, то фазы будут следовать в порядке *А, В, С* — это так называемый прямой порядок следования фаз. Если направление вращения ротора изменить на противоположное, то изменится и порядок следования фаз. Фазы будут проходить через максимальные значения в порядке *А, С, В* — это обратный порядок следования фаз.

Иногда вместо термина "порядок следования фаз" говорят "порядок чередования фаз". Во избежание путаницы условимся применять термин "чередование фаз" только в том случае, когда это связано с понятием фазы как участка трехфазной цепи.

Чередование фаз. Итак, под чередованием фаз понимают очередность, в которой фазы трехфазной цепи (отдельные провода линии, обмотки и выводы электрической машины и т. д.) расположены в пространстве, если обход их каждый раз начинать из одного и того же пункта (точки) и производить в одном и том же направлении, например сверху вниз, по часовой стрелке и т. д. На основании такого определения говорят о чередовании обозначений выводов электрических машин и трансформаторов, расцветки проводов и сборных шин. В ряде случаев порядок чередования фаз строго регламентирован. Так, порядок чередования обозначений выводов синхронных машин принимается соответствующим порядку следования фаз для установленного направления вращения ротора. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) предусматривают для закрытых РУ следующий порядок чередования окрашенных сборных шин при расположении их в вертикальной плоскости: верхняя шина — желтая, средняя — зеленая, нижняя — красная. При расположении шин в горизонтальной плоскости наиболее удаленная шина окрашивается в желтый цвет, а ближайшая к коридору обслуживания — в красный. Ответвления от сборных шин выполняются так, чтобы слева располагалась фаза Ж,

справа — фаза K , если смотреть на шины из коридора обслуживания (при трех коридорах в РУ — из центрального).

На открытых подстанциях чередование окраски сборных и обходных шин ориентируют по силовым трансформаторам. Ближайшая к ним фаза шин окрашивается в желтый цвет, средняя — в зеленый, отдаленная — в красный. Ответвления от сборных шин выполняют таким образом, чтобы слева располагалась шина фазы J , справа — фазы K , если смотреть со стороны шин на трансформатор.

Отступление от указанных выше требований порядка чередования окраски шин РУ ПУЭ допускают в виде исключения в тех отдельных случаях, когда соблюдение этих требований связано с усложнением монтажа или необходимостью установки специальных опор для транспозиции проводов ВЛ.

Совпадение фаз. При фазировке трехфазных цепей могут быть различные варианты чередования обозначений (расцветки) вводов на включающем аппарате и подачи на эти вводы напряжения разных фаз. Для простоты дальнейших рассуждений допустим, что фазлируемые напряжения двух систем шин электроустановки имеют одинаковые порядки следования фаз A, B, C и A_1, B_1, C_1 . При этом условии фазы одноименных напряжений могут совпасть, а порядок чередования обозначений вводов у выключателя может не совпасть (рис. 2, *а*) или, наоборот, при одном и том же порядке чередования обозначений вводов фазлируемые напряжения могут оказаться сдвинутыми по фазе (рис. 2, *б*). Поворот одноименных векторов напряжений относительно друг друга может быть не только на угол 120° , как это показано на рис. 2, *б*, но на любой угол, кратный 30° , что характерно для трансформаторов, имеющих разные группы соединения обмоток. В обоих приведенных случаях включение выключателя неизбежно приводит к КЗ.

В то же время возможен вариант, когда совпадает и то, и другое (рис. 2, *в*). Короткое замыкание между соединяемыми частями установки здесь исключено.

Под совпадением фаз при фазировке как раз и понимают именно этот случай, когда на вводах выключателя, расположенных друг против друга и принадлежащих одной фазе, одноименные напряжения двух частей установки совпадают по фазе, а обозначения (расцветка) вводов выключателя согласованы с соответствующими фазами напряжения и имеют один и тот же порядок чередования.

Векторное изображение синусоидально изменяющихся ЭДС (напряжений, токов). Периодически изменяющиеся синусоидальные величины изображают в виде синусоид (рис. 1, *б*) и вращающимися векторами —

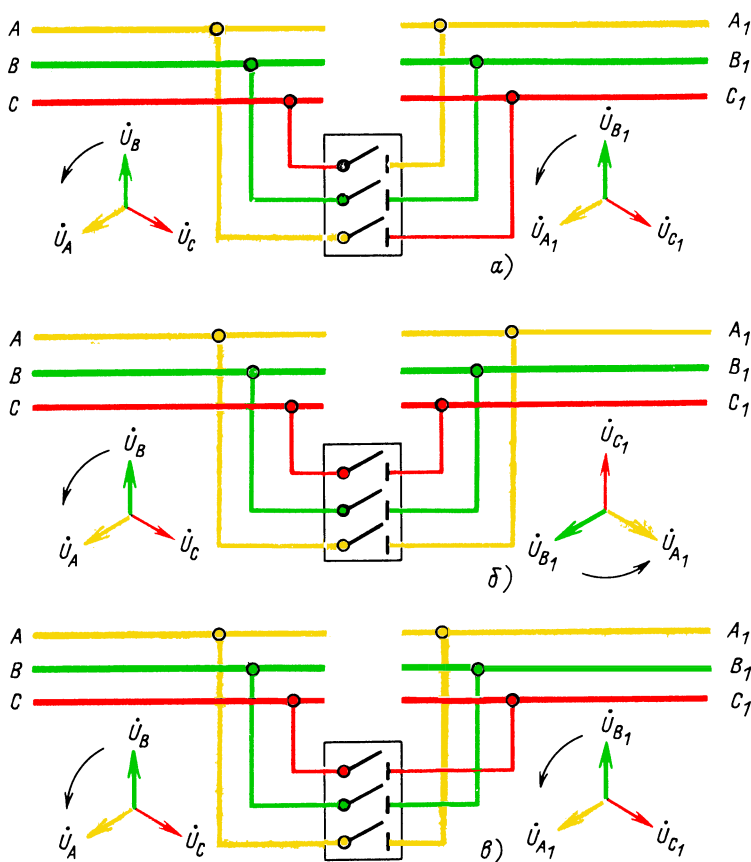


Рис. 2. Варианты несовпадения (а, б) и совпадения (в) фаз двух частей электроустановки

направленными отрезками прямой линии (рис. 1, в). Для векторов фазных ЭДС E_A , E_B , E_C , изображенных на этом рисунке, условно приняты направления от начал обмоток к их концам. Связь между синусоидальной кривой и вращающимися векторами показана на рис. 3. Синусоида получается проектированием вращающегося вектора (равного в заданном масштабе амплитуде изменяющейся ЭДС) на вертикальную ось $I-I$, перемещаемую по оси абсцисс со скоростью, пропорциональной частоте вращения вектора. Сдвиг фаз между двумя векторами, начала которых совмещены в одной точке, определяется углом φ (рис. 4). Отставание вектора E_B от вектора E_A показано направлением стрелки угла φ (против направления вращения векторов).

Следует сказать, что понятие вращающегося вектора ЭДС (напряжения, тока и т. д.) в электротехнике несколько отличается от понятия

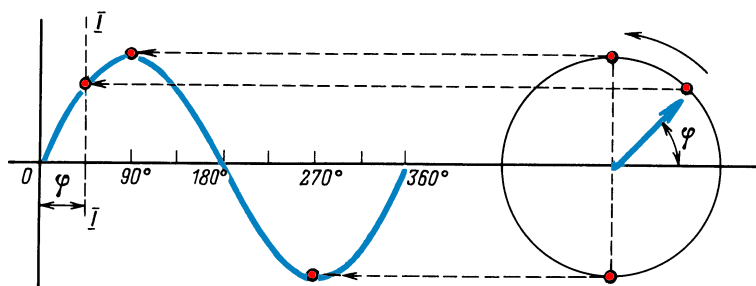


Рис. 3. Получение синусоидального графика при вращении вектора

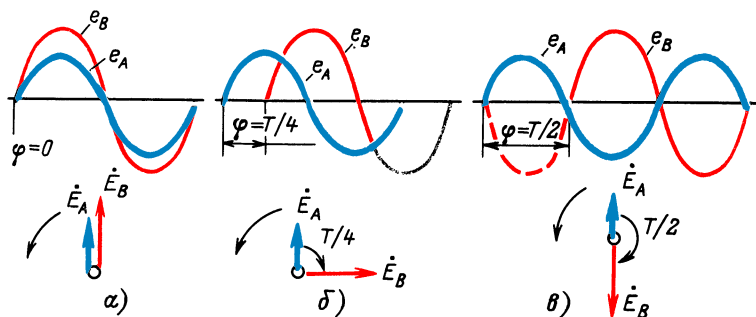


Рис. 4. Изображение двух ЭДС синусоидами и векторами при различных углах сдвига:

$a - \varphi = 0$; $б - \varphi = T/4$; $в - \varphi = T/2$; T – период изменяющейся ЭДС, с

вектора, скажем, силы или скорости в механике. Если в механике векторы не могут быть определены полностью только по их значениям без указания направления их действия в пространстве, то в электротехнике вращающиеся векторы не определяют действительного направления изображаемых ими величин в пространстве. Однако совокупное расположение вращающихся с одной частотой векторов (например, ЭДС трех фаз) на диаграмме дает представление о происходящем в электрической цепи процессе во времени и позволяет сделать количественную оценку явлений путем проведения элементарных операций над векторами.

Основные схемы соединений трехфазных цепей. Обмотки электрических машин (генераторов, синхронных компенсаторов, двигателей) и трансформаторов соединяют в звезду или треугольник.

При соединении трех обмоток генератора в звезду концы их объединяют в одну точку (рис. 5, а), которую называют нулевой (или нейтральной). Электродвижущие силы между началами и нулевой точкой обмоток называют фазными ЭДС и обозначают E_A, E_B, E_C , или просто E_ϕ . Электродвижущие силы между выводами фаз называют линейными E_Δ . Они получаются как разности векторов соответствующих фазных ЭДС генератора, например $E_A - E_B = E_{AB}$ (рис. 5, в). Порядок индексов в обо-

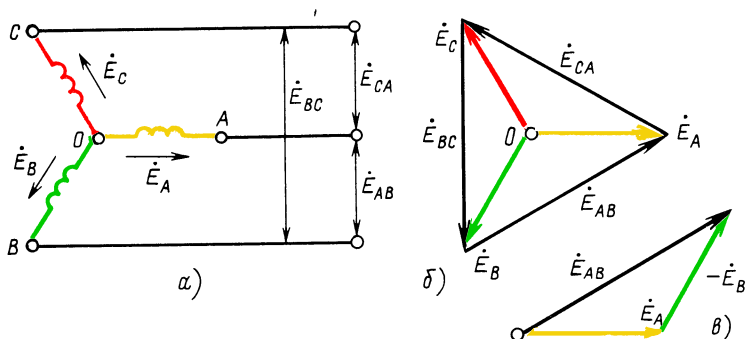


Рис. 5. Соединение обмоток генератора в звезду (а), векторная диаграмма ЭДС (б), вычитание векторов фазных ЭДС (в)

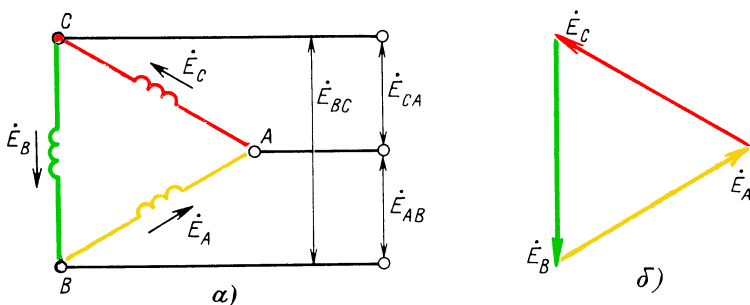


Рис. 6. Соединение обмоток генератора треугольником (а) и векторная диаграмма ЭДС (б)

значении линейных ЭДС не произволен – индексы ставятся в порядке вычитания векторов: $\dot{E}_B - \dot{E}_C = \dot{E}_{BC}$; $\dot{E}_C - \dot{E}_A = \dot{E}_{CA}$. С учетом заданного направления вращения векторов такой расстановке индексов соответствует вычитание вектора ЭДС отстающей фазы из вектора ЭДС опережающей. В результате векторы линейных ЭДС всегда опережают уменьшаемые фазные векторы на 30° . Значения линейных ЭДС в $\sqrt{3}$, или в 1,73, раз больше фазных, в чем легко убедиться измерением векторов на диаграмме.

Соединение обмоток генератора треугольником показано на рис. 6, а. Точки А, В, С являются общими для каждой пары фазных обмоток. Если к зажимам генератора не подсоединена нагрузка, то в обмотках, образующих замкнутый контур, отсутствует ток, обусловленный синусоидальными ЭДС промышленной частоты, сдвинутыми относительно друг друга на $(1/3)T$, так как в каждый момент времени геометрическая сумма ЭДС, действующих в контуре треугольника, равна нулю. Убедиться в этом можно, рассматривая векторную диаграмму рис. 6, б и синусоиды мгновенных значений ЭДС трехфазного генератора (рис. 1, б).

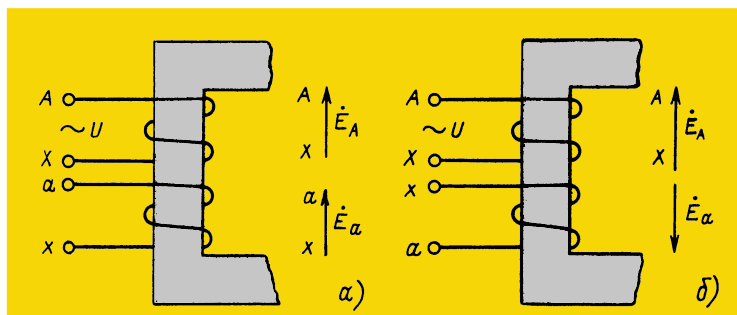


Рис. 7. Изменение на 180° фазы наведенной ЭДС при перемене обозначений зажимов:

а — фазы ЭДС E_A и E_a совпадают; *б* — ЭДС E_A и E_a находятся в противофазе

Из рис. 6, *а* видно, что при соединении треугольником линейные провода отходят непосредственно от начала и конца обмотки каждой фазы, поэтому фазные ЭДС равны линейным и совпадают с ними по фазе. Заметим, что на станциях обмотки генераторов, как правило, соединяют в звезду. Соединение треугольником встречается крайне редко и только у турбогенераторов одного типа (ТВС-30).

Обмотки трансформаторов, так же как и генераторов, соединяют в звезду и треугольник (схема зигзага встречается редко). Схема звезды часто выполняется с выведенной нулевой точкой. Схемы соединений в звезду, в звезду с выведенной нулевой точкой и в треугольник в тексте обычно обозначают буквами У, Y_n и Д соответственно. Обмотки высшего напряжения (ВН) трансформаторов соединяют в У или Д независимо от схемы соединения источников питания. Вторичные обмотки среднего (СН) и низшего (НН) напряжений также соединяют в У или Д.

В отличие от генераторов у мощных трансформаторов соединение треугольником по крайней мере одной из его обмоток является обычным [1].

Группы соединений обмоток трансформаторов. Между первичной и вторичной ЭДС трансформатора, включенного под напряжение, может быть угол сдвига, который в общем случае зависит от схемы соединения и направления намотки обмоток, а также от обозначения (маркировки) зажимов.

Число сочетаний схем соединений У и Д может быть не более четырех: У/У, У/Д, Д/Д и Д/У, но, принимая во внимание возможность намотки обмоток на магнитопроводе в разных направлениях, случайное и преднамеренное изменение маркировки зажимов, а также соединение фазных обмоток в треугольник в ином чередовании, число схем включений трансформатора значительно возрастает. Приведем примеры. У каждой обмотки есть начало и конец. Начала обмоток обозначают буквами *A, B, C, a, b, c*, а концы *X, Y, Z, x, y, z* соответственно. И хотя эти понятия условны, они имеют прямое отношение к действующей в обмотке ЭДС. Если у одной из обмоток поменять обозначения начала *a* и конца *x*

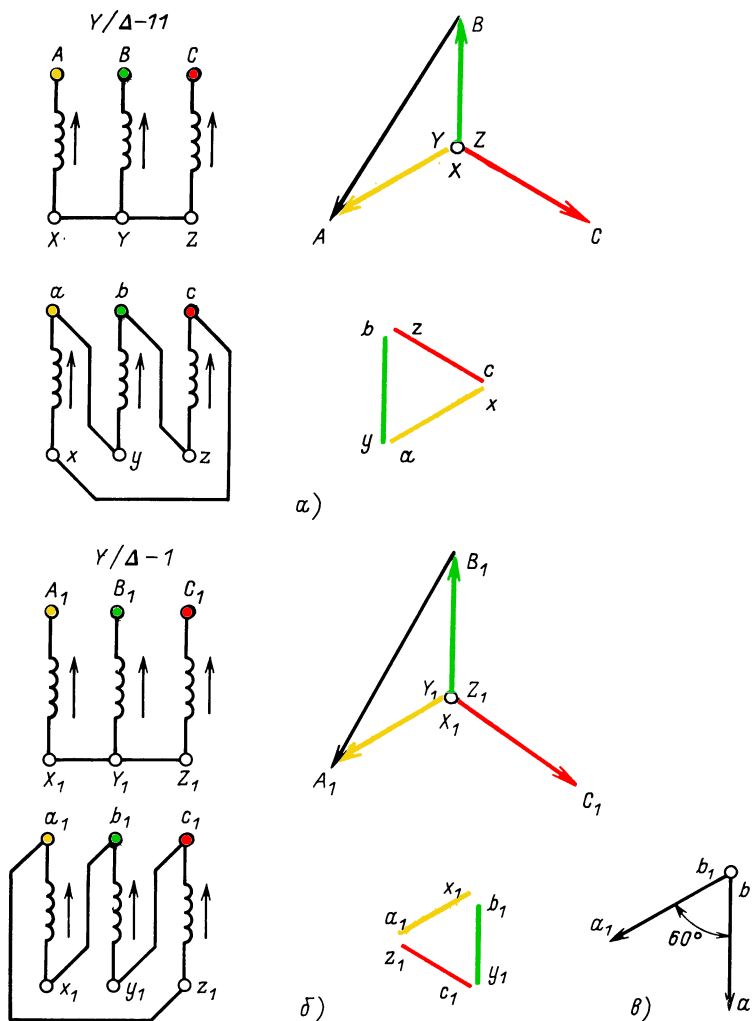


Рис. 8. Два варианта схем соединения фазных обмоток НН треугольником

(рис. 7), то, принимая ориентацию ЭДС по отношению к новому началу прежней (от x к a), необходимо считать вектор ЭДС E_a повернутым на 180° . К такому же результату приводит и изменение направления намотки обмоток. В обмотках с односторонней намоткой (витки обеих обмоток идут от начал в правую или левую сторону) ЭДС совпадают по направлению, при разносторонней намотке они сдвинуты на 180° .

Схемы соединения обмоток		Диаграммы векторов ЭДС		Условные обозначения
ВН	НН	ВН	НН	
				Y/y_n-0
				$Y/d-11$
				$Y_n/d-11$

а)

Схемы соединения обмоток			Диаграммы векторов ЭДС			Условные обозначения
ВН	СН	НН	ВН	СН	НН	
						$Y_n/Y_n/d-0-11$
						$Y_n/d/d-11-11$

б)

Схемы соединения обмоток		Диаграммы векторов ЭДС		Условные обозначения
ВН и СН	НН	ВН и СН	НН	
				$Y_n/yn/d-0-11$

в)

Рис. 9. Схемы и группы соединения обмоток трансформаторов и автотрансформаторов:

а — трехфазных двухобмоточных трансформаторов; б — трехфазных трехобмоточных трансформаторов; в — трехфазных трехобмоточных автотрансформаторов

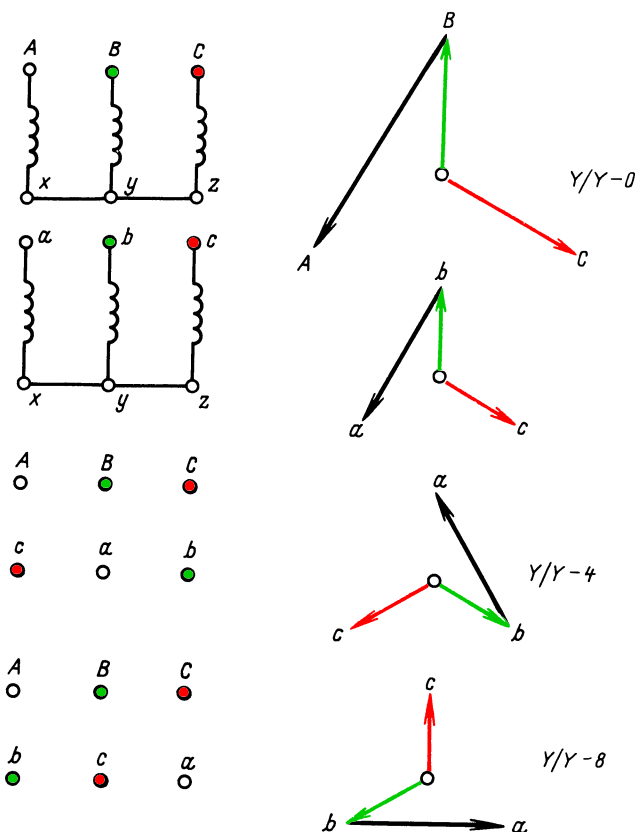


Рис. 10. Циклическая перемаркировка фаз обмотки в стандартной схеме $Y/Y-0$

На рис. 8, а показано соединение фазных обмоток треугольником в стандартном порядке: $a - y$; $b - z$; $c - x$. Если обмотки соединить в порядке $a_1 - z_1$; $c_1 - y_1$; $b_1 - x_1$ (рис. 8, б), то векторы линейных ЭДС НН смещаются по отношению друг к другу на 60° (рис. 8, в) *.

Чтобы упорядочить все многообразие схем соединений обмоток трансформаторов, введено понятие о группе соединений, характеризующее угловое смещение векторов линейных ЭДС вторичных обмоток относительно одноименных векторов линейных ЭДС обмотки ВН неза-

*В построениях векторных диаграмм на рис. 8 и далее принято направление векторов линейных ЭДС (напряжений) обмоток ВН от B к A и обмоток НН — от b к a .

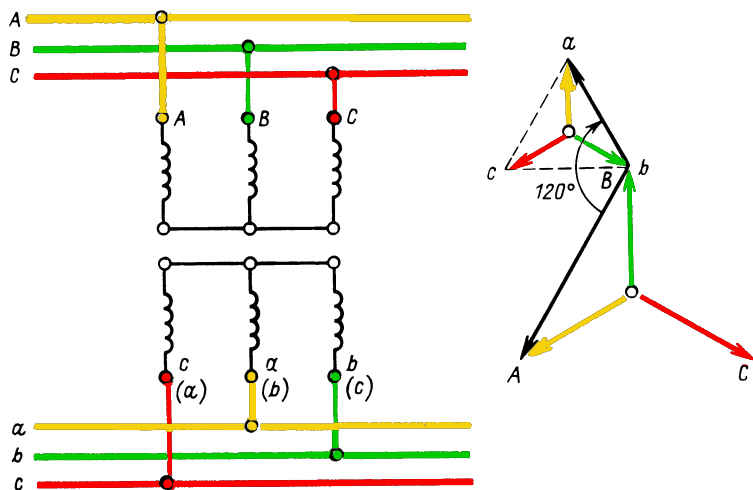


Рис. 11. Циклическая перемаркировка фаз при ошибочном монтаже ошиновки. Обозначение фаз НН, соответствующее группе У/У-0, показано в скобках

висимо от того, является трансформатор понижающим или повышающим. Группа соединений обозначается числом, которое при умножении на 30° дает угол отставания вектора ЭДС вторичной обмотки от ЭДС вектора первичной обмотки. Если, например, схема и группа соединений трансформатора обозначены У/Д-11, то смещение векторов линейных ЭДС равно 330° .

В ГОСТ 11677-75* предусмотрены две группы соединения обмоток трехфазных двухобмоточных трансформаторов: 0 и 11 (рис. 9). Практически могут встретиться 12 групп и, кроме того, такие соединения, которые вообще не могут быть отнесены к какой-либо определенной группе. Заметим, что нестандартные группы могут быть получены ошибочно при монтаже и ремонте оборудования без вскрытия трансформатора и пересоединения его обмоток. Для этого достаточно, например, перекрасить шины фаз или перемаркировать обозначения выводов и потом ориентироваться на эти обозначения. Типичными являются следующие случаи. При перемещении обозначений выводов фаз (циклическая перемаркировка фаз), когда по кругу меняются местами надписи на выводах трех фаз на стороне ВН или НН (рис. 10), группа соединений каждый раз изменяется на 4 или 8 угловых единиц. Так, при подсоединении трансформатора зажим фазы *b* может ошибочно оказаться подсоединенным к сборной шине фазы *a*, зажим *c* — к шине фазы *b* и т. д. Такое подсоединение равносильно перемаркировке фаз и влечет за собой изменение исходной группы трансформатора на 4 единицы. Действительно, остроение и совмещение векторных диаграмм (рис. 11) показывает, что векторы повернуты на 120° , или на 4 единицы.

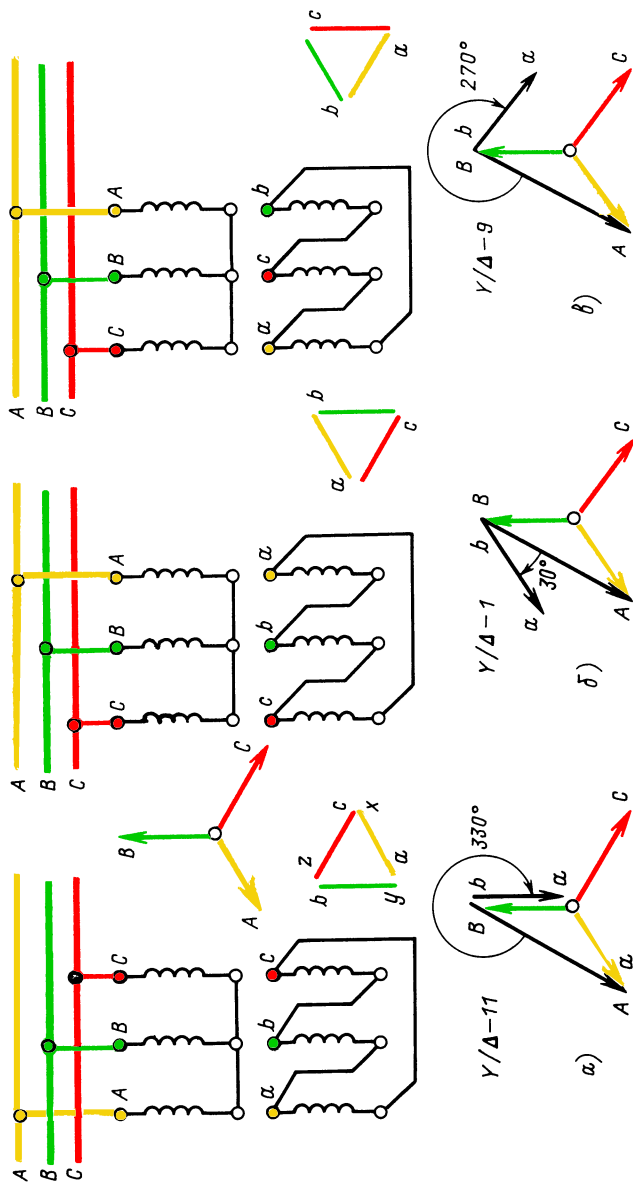


Рис. 12. Двойная перемаркировка фаз при ошибочном монтаже ошиновки на стороне ВН и НН:
 а – исходная группа Y/Δ-11; б – перемаркировка одноименных фаз А и С, а и с'; в – перемаркировка разноименных фаз А и С, b и c

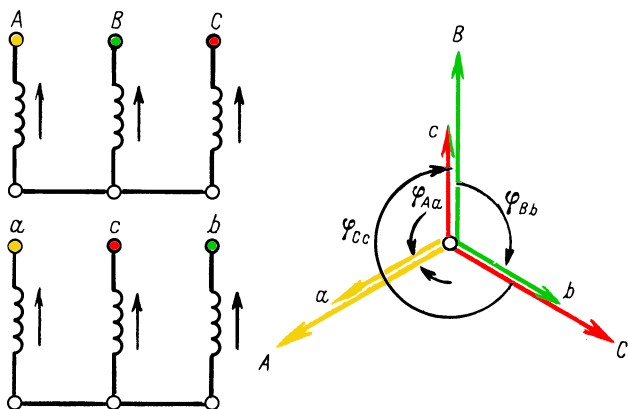


Рис. 13. Ошибочное обозначение выводов двух фаз b и c на стороне низшего напряжения

Перестановка обозначений двух фаз на стороне ВН и одновременно НН (двойная перемаркировка) у трансформатора, имеющего нечетную группу соединений, вызывает угловое смещение векторов ЭДС вторичной обмотки относительно их первоначального положения на 60 или 300° . Значение угла зависит от того, какие две фазы на стороне ВН, а также на стороне НН перемещаются — одноименные или разноименные. На рис. 12 показано, что достаточно поменять местами соединительные шины двух фаз A и C на стороне ВН и тех же фаз на стороне НН, как группа 11 перейдет в группу 1, а при перемене мест фаз A и C и одновременно b и c группа 11 превращается в 9.

Наиболее вероятен в эксплуатационной практике случай перекрещивания шин только двух фаз на какой-нибудь одной стороне (ВН или НН), например фаз b и c . При этом изменяется порядок чередования фаз. Вместо $a - b - c$ порядок чередования будет $a - c - b$ (рис. 13), и углы сдвига фаз одноименных ЭДС обмоток ВН и НН будут неодинаковы: $\varphi_{Aa} = 0^\circ$; $\varphi_{Bb} = 120^\circ$; $\varphi_{Cc} = 240^\circ$. Это обстоятельство не позволяет отнести трансформатор к определенной группе соединений.

Одним из основных условий параллельной работы трансформаторов является тождественность групп соединений их обмоток, что устанавливается по паспортным данным или специальными измерениями. Но даже при одинаковых группах перед первым включением в работу (после монтажа или капитального ремонта со сменой обмоток, отсоединением кабелей и пр.) трансформатор фазировать с сетью, так как на зажимах включающего аппарата (выключателя, отделителя, рубильника) может появиться сдвиг фаз в результате неправильного присоединения токоведущих частей к аппаратам и выводам трансформатора, о чем было сказано выше. Здесь следует особо подчеркнуть, что цель фазировки заключается не в определении группы, к которой принадлежит подключаемый трансформатор, а в проверке согласованности соединяемых фаз всех элементов трехфазной цепи со стороны как высшего, так и низшего напряжения.

2. ПРИБОРЫ И ПРИСПОСОБЛЕНИЯ, УПОТРЕБЛЯЕМЫЕ ПРИ ФАЗИРОВКЕ

Вольтметры. Для фазировки в электроустановках до 1000 В применяют вольтметры переменного тока, непосредственно подключаемые к выводам электрического оборудования или токопроводящим частям аппаратов. Большой точности от этих приборов не требуется, к ним не предъявляется также никаких требований и в отношении принципа действия. Шкала прибора должна быть рассчитана на двойное фазное или двойное линейное напряжение установки в зависимости от метода фазировки и вида фазлируемого оборудования.

При фазировке оборудования напряжением 6 кВ и выше вольтметр подключают к измерительным трансформаторам напряжения стационарной установки (шинным, генераторным). Применение переносных трансформаторов напряжения с вольтметром на стороне НН не рекомендуется, так как это небезопасно для персонала.

Фазоуказатель. Порядок следования фаз проверяют индукционным фазоуказателем типа И-517 или аналогичным по устройству фазоуказателем типа ФУ-2, внешний вид которого показан на рис. 14, а. Прибор состоит из трех катушек 1, 2, 3, намотанных на ферромагнитных сердечниках, и легкого алюминиевого диска 4, укрепленного на оси. Действие прибора основано на том же принципе, что и действие асинхронного двигателя. Если три катушки прибора подключить к трехфазной системе токов, то они образуют круговое вращающееся в пространстве магнитное поле, приводящее в движение диск в том направлении, в котором вращается оно само. Направление вращения магнитного поля, а значит, и диска зависит исключительно от порядка следования фаз токов в катушках.

Для определения порядка следования фаз фазоуказатель подключают к проверяемой системе напряжений.

Зажимы прибора маркированы, т. е. обозначены буквами А, В, С. Если фазы сети совпадут с маркировкой прибора, то диск будет вращаться в направлении, указанном стрелкой на кожухе прибора. Такое вращение диска соответствует прямому порядку следования фаз сети А, В, С (рис. 14, б). Если к прибору подвести фазы в обратном порядке следования, а именно фазу А — к зажиму А, фазу С — к зажиму В, фазу В — к зажиму С, то диск будет вращаться в обратном направлении (рис. 14, в). Получение прямого порядка следования фаз из обратного производится переменной мест двух любых фаз.

Приборы рассчитаны на включение в сеть напряжением 50–500 В на время не более 5 с при напряжении до 100 В и не более 3 с при напряжении выше 100 В. Вращение диска начинается при нажатии кнопки 5.

Универсальные приборы. Широкое применение при фазировках нашли универсальные приборы: портативный вольтамперфазоиндикатор ВАФ-85 и универсальный фазоуказатель типа Э-500/2. Прибор ВАФ-85 (рис. 15) позволяет измерять ток в пределах 1–10 А, напряжение промышленной частоты до 250 В, угол сдвига между векторами напряжения и тока, определять порядок следования фаз.

В приборе ВАФ-85 в качестве измерителя используется магнитоэлектрический прибор М-494. Для выпрямления переменного тока применены германиевые выпрямители. Измерение тока 1–10 А производится при

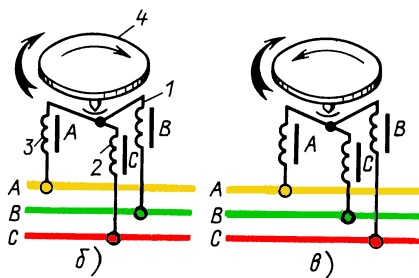
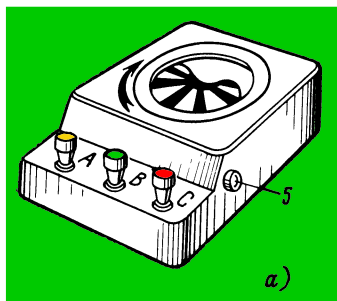


Рис. 14. Внешний вид фазоуказателя (а) и направление вращения диска при прямом (б) и обратном (в) порядке следования фаз

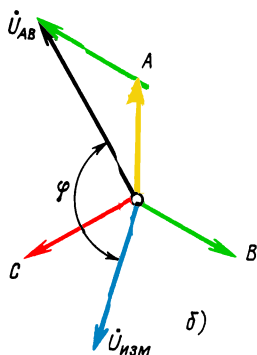
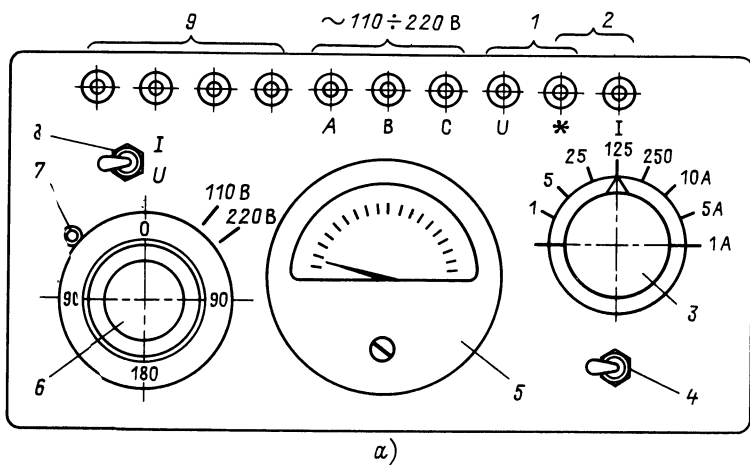


Рис. 15. Внешний вид прибора ВАФ-85 (а) и векторная диаграмма напряжений при измерении фазы (б)

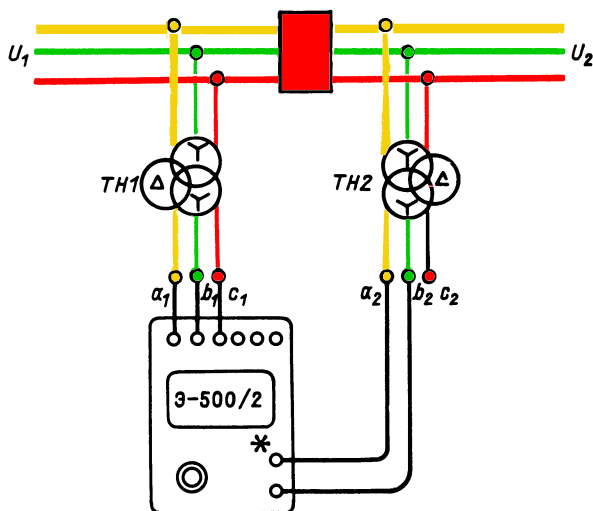


Рис. 16. Определение фазы вектора одного напряжения относительно вектора другого прибором Э-500/2

помощи токосъемной приставки. Приставка работает как трансформатор тока. Она позволяет охватывать провод с током и производить измерение без разрыва электрической цепи. Измерение малых токов возможно без токосъемной приставки — подключением цепи к зажимам 9.

Для измерения прибором тока (или напряжения) переключатель 4 устанавливают в положение "Величина", а переключатель пределов 3 — на соответствующий предел тока (или напряжения). Переключатель 8 ставится в положение I, U . При измерении тока вилка токосъемной приставки вставляется в гнезда 2 с соблюдением обозначенной на них полярности. Отмеченная звездочкой сторона токосъемной приставки должна быть обращена к генераторному концу цепи (к трансформатору тока, к которому подключен провод).

При измерении напряжения используются зажимы 1. К зажиму, отмеченному звездочкой, присоединяется генераторный конец провода, соответствующий условно принятому началу вектора напряжения.

Для измерения фазы тока или напряжения в приборе предусмотрены механический выпрямитель, включаемый последовательно с измерительным прибором, и заторможенный с помощью рычага 7 сельсин с трехфазной обмоткой ротора. На статор сельсина (на зажимы A, B, C прибора) подается трехфазное напряжение с прямым порядком следования фаз A, B, C . Две фазы ротора сельсина связаны с механическим выпрямителем. В обмотках ротора как в трансформаторе индуцируется ЭДС. От положения ротора сельсина зависит фаза возбуждения механического выпрямителя, а следовательно, и момент включения и отключения его контактов относительно фазы тока, проходящего по измерительному прибору.

Отсчет угла производится по лимбу 6, механически связанному с ротором сельсина, в момент, когда стрелка измерительного прибора 5 уста-

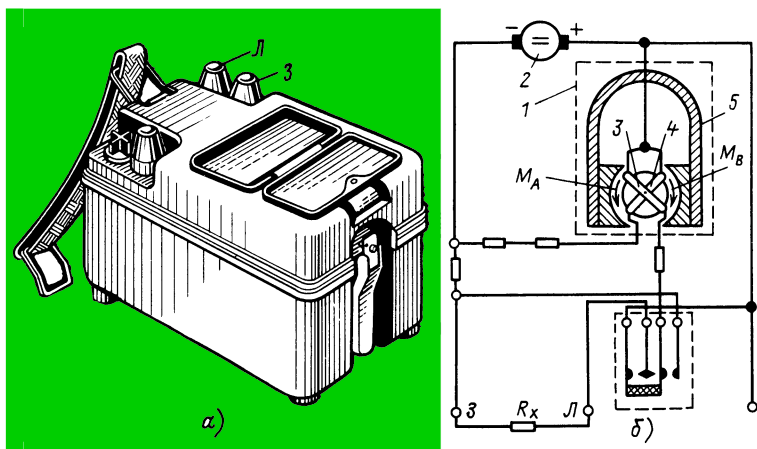


Рис. 17. Внешний вид (а) и схема (б) мегаомметра М-1101

наводится на нуль его шкалы. Нуль лимба отградуирован по фазе вектора напряжения AB . Это означает, что если к зажиму, отмеченному на приборе звездочкой, подвести напряжение фазы A , а к зажиму U — напряжение фазы B , то измерительный прибор покажет нуль при установке на контрольную риску отметки нуль лимба.

Для измерения фазы вектора тока или напряжения переключатель 4 устанавливают в положение "фаза", переключатель 8 — в положение I , U . На зажимы прибора A , B , C подают трехфазное напряжение (обычно от трансформатора напряжения) и проверяют порядок следования фаз. Для этого отпускают рычаг 7, тормозящий лимб 6, при этом лимб начинает вращаться. Если направление его вращения совпадает с направлением движения часовой стрелки, то это является признаком того, что фазы напряжения подведены к прибору правильно. В противном случае меняют местами два провода, подключенных к прибору.

Измерение фазы подведенного к зажимам 1 напряжения (или к зажимам 2 тока) состоит в том, что заторможенный рычагом лимб поворачивают до тех пор, пока стрелка измерительного прибора не установится на нуль, тогда и производится отсчет угла по лимбу. Считается, что угол φ между векторами (рис. 15, б) установлен правильно, если при перемещении лимба стрелка измерительного прибора начнет двигаться в ту же сторону, что и лимб.

Угол между двумя различными векторами вычисляется как разность углов, полученных при двух измерениях.

Прибор Э-500/2 предназначен для измерения фазового угла между векторами напряжений в симметричных трехфазных системах, а также для определения порядка следования фаз и групп соединения обмоток трансформаторов. Напряжение питания прибора 110 и 300 В. На рис. 16 показано включение прибора Э-500/2 при определении фазового угла между двумя напряжениями.

Мегаомметр. Это переносный прибор, предназначенный в обычных условиях для измерения сопротивления изоляции в очень широком

диапазоне значений (практически от нуля до бесконечности). Эта особенность прибора позволила использовать его для производства фазировки.

На рис. 17 представлены внешний вид и принципиальная схема мегаомметра типа М-1101. Он состоит из чувствительного логометра 1 и автономного источника питания — небольшого генератора постоянного тока 2 с ручным приводом. Измеряемое сопротивление R_x включается в цепь генератора последовательно, между зажимами Л и З. При вращении ручки ротора генератора примерно с частотой 120 об/мин на зажимах обмотки статора появляется номинальное напряжение и по рамкам 3 и 4 логометра проходят токи, ограниченные соответствующими резисторами. От взаимодействия токов в рамках с магнитным полем постоянного магнита 5 на оси измерительного органа создается вращающий момент, устанавливающий стрелку на определенной отметке шкалы.

Чтобы понять принцип действия магнитоэлектрического логометра, перечислим характерные особенности его конструкции и схемы включения. Две легкие рамки (катушки) логометра жестко укреплены на оси и помещены в зазоре между полюсами магнита. Расточка полюсов выполнена так, чтобы магнитное поле между ними было неравномерным.

При прохождении по рамке тока создается вращающий момент, пропорциональный произведению тока в рамке на индукцию в месте ее расположения. В схеме логометра рамки включены так, что моменты их M_A и M_B направлены в противоположные стороны. При указанных особенностях выполнения логометра его подвижная система может находиться в покое только при равенстве вращающих моментов. Это равенство нарушается, если изменяется соотношение токов в рамках, и подвижная система поворачивается в неравномерном поле, пока не наступит новое равновесие моментов. На изменение соотношения токов в рамках влияет исключительно значение сопротивления R_x .

Конструктивной особенностью измерительного органа мегаомметра является также отсутствие пружин, устанавливающих стрелку прибора на нулевой отметке шкалы. При невозбужденном генераторе стрелка прибора может находиться в любом месте шкалы. Поэтому каждый раз перед началом измерений проверяется исправность мегаомметра. Для этого закорачивают зажимы Л и З и вращают ручку привода генератора с номинальной частотой. При этом стрелка прибора должна установиться на нулевой отметке. Затем размыкают зажимы Л и З — стрелка должна отклониться к краю шкалы с отметкой ∞ .

Использование мегаомметра для фазировки рассмотрено ниже. При этом применяют мегаомметры на напряжение 500, 1000 В (М-1101) и 2500 В (МС-0,5), а также более совершенные мегаомметры (например, типа М4100/3 — М4100/5 и др.).

Неавтоматические локационные искатели. Их применение целесообразно при фазировке воздушных и кабельных линий 110 кВ и выше. Действие распространенных в энергосистемах приборов ИКЛ-5, Р5-1А и других основано на послышке в линию высокочастотного импульса и записи на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) отраженного от конца линии сигнала.

Посылаемые в линию импульсы отражаются в том месте линии, где изменяется ее волновое сопротивление (обрыв провода, заземление и т. д.). Импульсная характеристика с отраженным сигналом от конца незаземленной линии показана на рис. 18, а. При заземленной линии ее волновое сопротивление уменьшается и вид отраженного сигнала на экране ЭЛТ изменится (рис. 18, б). Таким образом, при фазировке, заземляя

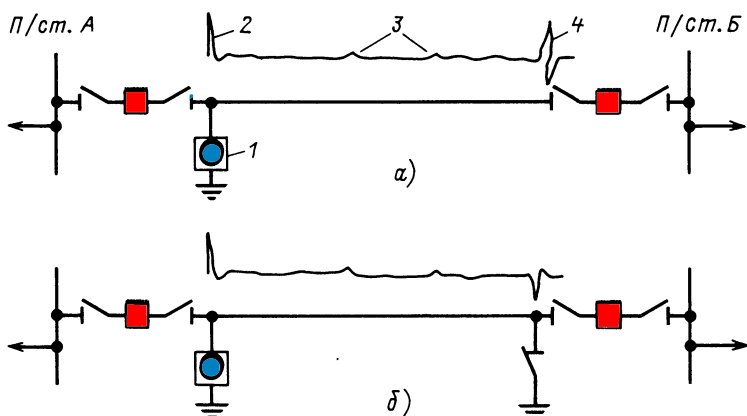


Рис. 18. Импульсные характеристики линии:

1 — локационный искатель; 2 — импульс, посылаемый в линию; 3 — отраженные сигналы в местах транспозиций и изменений рельефа местности; 4 — отраженные сигналы от конца линии

поочередно фазы на конце линии (на линейных разъединителях смежной подстанции), по характеру записи отраженного сигнала на экране ЭЛТ устанавливают, какая фаза из трех заземлена, и присваивают ей наименование той фазы, на которой наложено заземление.

Указатели напряжения для фазировки. Фазировка в установках свыше 1000 В может выполняться указателями напряжения, предназначенными специально для этой цели. В комплект указателя, как правило, входят собственно указатель напряжения, трубка с добавочным резистором и соединяющий их проводник. На рис. 19 показаны внешний вид (рис. 19, а) и электрическая схема (рис. 19, б) указателя типа УВНФ, разработанного Мосэнерго для фазировки в установках до 10 кВ. В корпус (трубку из изоляционного материала) указателя напряжения 1, вмонтированы сигнальная лампа 7 типа ТНУВ, шунтирующий конденсатор 10 и три дополнительных полистирольных конденсатора 8 типа ПОВ-15 на рабочее напряжение 1 кВ каждый. В трубку 2 встроено до десяти термостойких резисторов 9 типа МЛТ-2, суммарное сопротивление которых составляет 8–10 МОм. Обе трубки последовательно соединены проводом 4 типа ПВЛ-1, выдерживающим испытательное напряжение до 20 кВ. К верхним частям трубок привинчены металлические шупы 3, соединенные с электрической схемой, к нижним — изолирующие штанги 5 с ручкой-захватом 6.

Для фазировки на отключенный аппарат (выключатель, разъединитель) с каждой из его сторон подают фазлируемые напряжения. Щупы указателя подносят к зажимам, принадлежащим одному полюсу отключенного аппарата, и наблюдают за свечением сигнальной лампы. При этом возможны два случая включения указателя: встречное включение — это включение на нефазированное напряжение, лампа указателя в этом случае должна ярко гореть, сигнализируя о несовпадении фаз; согласное

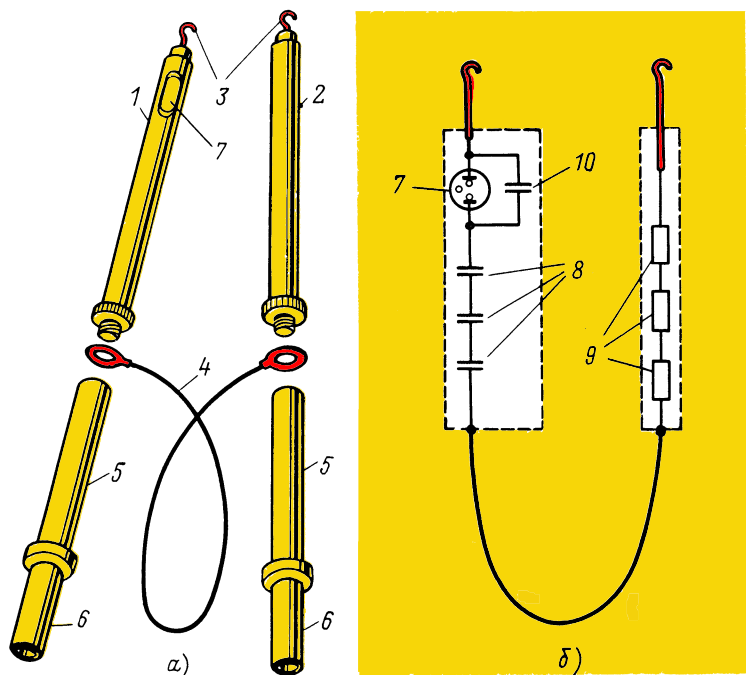


Рис. 19. Указатель напряжения для фазировки в установках 6–10 кВ

включение — это включение на напряжение одной и той же фазы. Лампа указателя в этом случае светиться не должна. Отсутствие свечения лампы свидетельствует об одноименности фазуемых напряжений, поданных на зажимы полюса, и о возможности соединения этих фаз между собой включением коммутационного аппарата.

Отметим некоторые требования, которые предъявляются к указателям напряжения, предназначенным для фазировки. Правила пользования и испытания защитных средств, применяемых в электроустановках, нормируют так называемый порог зажигания сигнальной лампы указателя при встречном и согласном включении. Под порогом зажигания понимают то минимальное приложенное к шупам указателя напряжение, при котором наступает видимое устойчивое свечение сигнальной лампы.

В зависимости от схемы включения указателя порог зажигания принят следующим:

Фазуемое напряжение, кВ	6	10
Напряжение зажигания при встречном включении, В, не выше	1500	2750
Напряжение зажигания при согласном включении, В, не ниже	7000	12 700

Заметим, что кажущееся на первый взгляд парадоксальным свечение лампы при подключении обоих шупов указателя к одной фазе на самом

деле объясняется влиянием электрических емкостей различных элементов указателя на заземленные конструкции. Прохождение тока через эти емкости и приводит к свечению лампы. Чтобы избежать ошибки при фазировке, напряжение зажигания указателя при согласном включении принято более высоким, чем то рабочее напряжение, на котором производится фазировка. Это приводит к тому, что при согласном включении на рабочем напряжении электроустановки лампа указателя светиться не будет. И наоборот, при встречном включении, когда на полюс отключенного аппарата подано нефазированное напряжение, лампа указателя должна загораться при напряжении, значительно меньшем номинального.

Порог зажигания при встречном включении характеризует чувствительность указателя. Чем ниже напряжение зажигания лампы, тем более чувствителен указатель. Однако указатели повышенной чувствительности непригодны для фазировки, так как разность напряжений между одноименными фазами двух фазлируемых частей установки может достичь 8–10% рабочего напряжения. Следовательно, напряжение зажигания

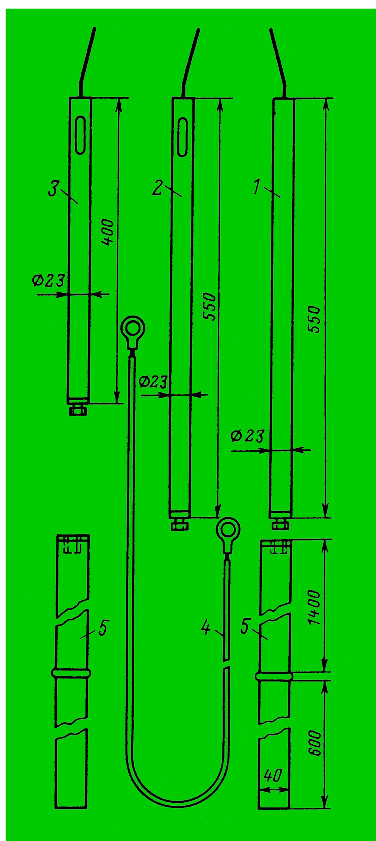
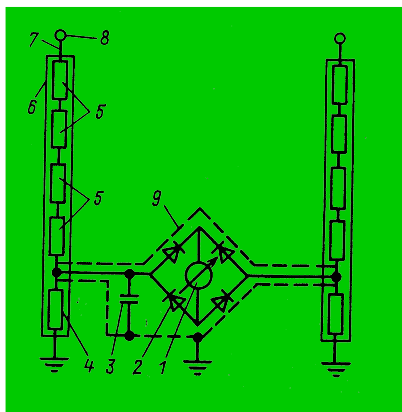


Рис. 20. Указатель напряжения типа УВНФ-35-110 Мосэнерго для фазировки в установках 35 и 110 кВ

Рис. 21. Принципиальная схема указателя напряжения Ленэнерго для фазировки в установках 35 и 110 кВ:

1 — микроамперметр; 2 — выпрямители; 3 — компенсирующая емкость; 4 — дополнительный резистор; 5 — резисторы; 6 — стеклопластиковая трубка; 7 — щуп; 8 — полюс разъединителя; 9 — экран измерительной части схемы



при встречном включении должно быть несколько больше указанного значения. Практически оно принимается равным 1000–1500 В.

В получении необходимых напряжений зажигания лампы указателя при согласном и встречном включении известную роль играет шунтирование лампы емкостью. Введение в цепь шунтирующего конденсатора емкостью 200 пФ позволило исключить влияние частичных емкостей отдельных элементов указателя и обеспечило требуемую величину и стабильность порогов зажигания лампы.

При разработке конструкции указателя УВНФ за основу был взят серийный указатель напряжения типа УВН-80, имеющий в собранном виде общую длину 715 мм и длину рабочей части 350 мм. Опыт показал, что размер рабочей части такого указателя при применении его для фазировки ВЛ 6–10 кВ непосредственно на разъединителях наружной установки не обеспечивает безопасных условий работы. Длина рабочей части указателя сопоставима с высотой токопроводящих частей над заземленной рамой – основанием разъединителя, что может привести к перекрытию фазы на землю при приближении трубок к стальной конструкции. Поэтому для фазировки на столбовых разъединителях разработан указатель с длиной рабочей части и трубки с добавочным резистором до 700 мм при общей длине указателя 1400 мм.

Для фазировки на напряжениях 35 и 110 кВ в Мосэнерго разработан указатель напряжения типа УВНФ-35-110*. Его конструкция аналогична конструкции указателя УВНФ.

Отличительной особенностью схемы являются полистирольные конденсаторы ПОВ-15, заменившие собой резисторы. Параметры схемы подобраны так, что указатель стал нечувствителен к напряжению фазы относительно земли при согласном включении. Эта отстройка от действия рабочего напряжения обеспечила четкую избирательность указателя к напряжению одноименных и разноименных фаз.

В фазировочный комплект указателя (рис. 20) входят одна общая рабочая трубка 1 и две рабочие трубки 2 и 3. Общая трубка применяется в комплекте с трубкой 2 при фазировке в установках 110 кВ и в комплекте с трубкой 3 при фазировке в установках 35 кВ. Изоляция соединительного провода 4 усилена. Изолирующие штанги 5 рассчитаны для работы под напряжением в установках до 110 кВ.

В Ленэнерго для фазировки линий 35–110 кВ применяется указатель, в котором использован принцип сравнения падений напряжений на двух одинаковых делителях напряжения, собранных из резисторов [3]. Применена компенсация емкости измерительной схемы на землю. Принципиальная схема указателя показана на рис. 21. Он состоит из двух стеклопластиковых трубок, внутри которых помещены резисторы типа КЭВ-100. Применяются два комплекта резисторов: один комплект для фазировки в установках 110 кВ, другой – в установках 35 кВ. Сопротивление резисторов каждой трубки первого комплекта 400 МОм и дополнительного резистора 150 кОм, второго – 200 МОм и дополнительного 150 кОм. Точки отбора напряжения от резисторов соединяются между собой экранированным проводом, в расщелку которого включен выпрямитель на диодах и микроамперметр. Измерительная часть схемы экранирована. Экран и концы дополнительных резисторов при фазировке заземляются.

* Предложен Д. Я. Тюриным, А. А. Филатовым, Н. М. Чесноковым.

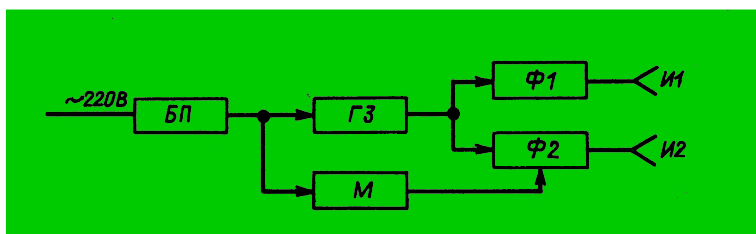


Рис. 22. Структурная схема прибора ФК-80, предназначенного для фазировки силовых кабельных линий

Прибор ФК-80 для фазировки кабелей. В Ленинградской кабельной сети Ленэнерго разработан и нашел применение специальный прибор ФК-80 для фазировки кабельных линий в процессе их ремонта при установленном защитном заземлении на питающем конце линии. Структурная схема прибора ФК-80 приведена на рис. 22.

Составными частями прибора являются блок питания БП, генератор звуковой частоты ГЗ (выполненный на транзисторах), модулятор М, формирователи импульсов Ф1 и Ф2, излучатели И1 и И2. Звуковой генератор вырабатывает сигнал звуковой частоты. Формирователи импульсов служат для согласования генератора с нагрузкой. Излучатели представляют собой раздвижные электромагниты, которыми охватываются при фазировке две жилы кабельной линии.

Генератор в совокупности с формирователем Ф1 посылает в излучатель И1 непрерывный сигнал звуковой частоты (1000–1200 Гц), а в совокупности с модулятором М и формирователем Ф2 в излучатель И2 посылается прерывистый звуковой сигнал той же частоты.

Излучатели, наложенные на жилы кабеля, наводят в них ЭДС. На другом конце кабеля наведенный сигнал воспринимается с помощью телефонных трубок и по его характеру (звук непрерывный, прерывистый, отсутствие звука) устанавливается фаза кабеля. Практическое применение прибора рассмотрено ниже.

3. МЕТОДЫ ФАЗИРОВКИ

Фазировка может быть предварительной, выполняемой в процессе монтажа и ремонта оборудования, и при вводе в работу, производимой непосредственно перед первым включением в работу нового или вышедшего из ремонта оборудования, если при ремонте фазы могли быть переставлены местами.

Предварительной фазировкой проверяется чередование фаз соединяемых между собой элементов оборудования. Так, например, при ремонте поврежденного кабеля определяют, какие жилы кабеля, находившегося в эксплуатации, и ремонтной вставки должны соединяться между собой, чтобы фазы кабельной линии и сборных шин РУ совпали. Произвольное соединение токоведущих жил может нарушить порядок чередования фаз,

и это приведет к необходимости менять местами жилы у концевых муфт или изменять монтаж шин в ячейке РУ. Ясно, что обе эти операции не только нежелательны, но часто и невыполнимы. Поэтому перед соединением жил проверяют их фазировку. Предварительная фазировка производится на оборудовании, не находящемся под напряжением. Основные виды оборудования фазированы визуально, "прозвонкой", при помощи мегаомметра или импульсного искателя.

Независимо от того, проводилась или не проводилась предварительная фазировка оборудования в период его монтажа или ремонта, оно обязательно фазировается при вводе в работу, так как только в этом случае можно быть уверенным в согласованности фаз всех элементов электрической цепи. Фазировка при вводе в работу производится исключительно электрическими методами. Выбор метода зависит от вида фазировемого оборудования (генератор, трансформатор, линия) и класса напряжения, на котором оно должно включаться в работу. Различают прямые (см. § 5) и косвенные (см. § 6) методы фазировки оборудования при вводе в работу. Прямыми методами называют такие, при которых фазировка производится на вводах оборудования, находящегося непосредственно под рабочим напряжением, эти методы наглядны и их широко применяют в установках до 110 кВ.

Косвенными называют такие методы, при которых фазировка производится не на рабочем напряжении установки, а на вторичном напряжении трансформаторов напряжения, присоединенных к фазировемым частям установки. Косвенные методы менее наглядны, чем прямые, но применение их не ограничивается классом напряжения установки.

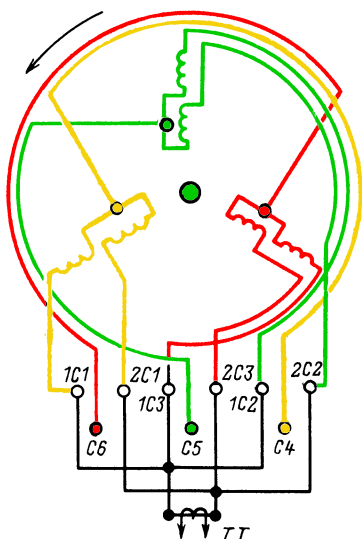
4. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ФАЗИРОВКА (ПРОВЕРКА ЧЕРЕДОВАНИЯ ФАЗ)

Проверка чередования фаз генератора. Обмотки электрических машин переменного тока выполняют простыми (имеющими одну ветвь) и составными (имеющими две параллельные ветви в каждой фазе). Выводы обмоток обозначают по ГОСТ 183—74. Начала простых обмоток статора обозначают С1, С2, С3, концы — С4, С5, С6 соответственно. Выводы составных обмоток обозначают теми же буквами, что и выводы простых обмоток, но впереди прописных букв ставят цифры. Так, в случае двух обмоток на статоре выводы первой обозначают 1С1—1С4, 1С2—1С5, 1С3—1С6, выводы второй — 2С1—2С4, 2С2—2С5, 2С3—2С6. Обозначения наносятся непосредственно на концах

Рис. 23. Схема следования фаз и чередования обозначений выводов двухслойной обмотки статора турбогенератора ТВФ-100-2 (вид со стороны возбуждателя)

обмоток и выводах на кабельных наконечниках, на специальных обжимах) или на колодке рядом с выводами.

Выводы, подсоединяемые к сети, называют линейными, а соединяемые вместе в звезду — нулевыми. У генераторов с простыми обмотками линейными считают выводы от начал С1, С2 и С3, у мощных генераторов с параллельными обмотками — выводы С4, С5, С6. В последнем случае нулевыми будут



выводы 1С1, 1С2, 1С3 первой обмотки и 2С1, 2С2, 2С3 — второй. На рис. 23 показана схема обмотки статора турбогенератора ТВФ-100-2. Обмотка имеет девять кольцевых выводов — три линейных и шесть нулевых. Объединены выводы 1С1, 1С3, 1С2 и 2С1, 2С3, 2С2. Нейтрали соединены шинной перемычкой с установленным на ней трансформатором тока, предназначенным для включения поперечной дифференциальной токовой защиты от КЗ между витками в одной из фаз обмотки статора. Для фазировки генератора необходимо знать, какие его выводы являются линейными.

Порядок следования фаз генератора зависит от направления вращения ротора и чередования фаз обмотки статора. Направление вращения ротора определяется по расположению лопаток на дисках турбины. Оно никогда не меняется, раз навсегда устанавливается предприятием-изготовителем и указывается стрелкой, располагаемой на видном месте. Чередование фаз устанавливается визуально, когда статор монтируемого генератора находится на фундаменте. Для этого, начиная от линейных выводов, прослеживают места входа в пазы трех обмоток статора. Очередность, в которой расположены эти места по окружности статора, если обход вести в направлении вращения ротора, и определит действительное чередование фаз обмотки.

Подводка соединительных шин к генератору и их раскраска производится в зависимости от установленного порядка сле-

Т а б л и ц а 1. Варианты подсоединения генератора к сети в зависимости от порядка следования фаз

Установленный порядок следования фаз на линейных выводах генератора	Варианты соединения выводов генератора с фазами сети при порядке их следования $A - B - C$		
	1	2	3
$C1-C2-C3$	$C1-A$ $C2-B$ $C3-C$	$C1-B$ $C2-C$ $C3-A$	$C1-C$ $C2-A$ $C3-B$
$C1-C3-C2$	$C1-A$ $C2-C$ $C3-B$	$C1-C$ $C2-B$ $C3-A$	$C1-B$ $C2-A$ $C3-C$
$C4-C5-C6$	$C4-A$ $C5-B$ $C6-C$	$C4-B$ $C5-C$ $C6-A$	$C4-C$ $C5-A$ $C6-B$
$C4-C6-C5$	$C4-A$ $C5-C$ $C6-B$	$C4-C$ $C5-B$ $C6-A$	$C4-B$ $C5-A$ $C6-C$

дования фаз генератора и сети. При этом варианты возможного подсоединения монтируемого генератора приведены в табл. 1.

Все варианты подсоединения генератора равноценны, и выбор того или другого определяется исключительно удобством прокладки соединительных шин от выводов к шинам действующего распределительного устройства. Если порядок следования фаз сети не прямой (A, B, C), а обратный (A, C, B), то в табл. 1 следует поменять местами буквы B и C .

Проверка чередования фаз синхронного компенсатора. Проверка производится в процессе монтажа статора при снятых торцевых щитах аналогично описанному выше способу определения чередования фаз генератора. Проверкой устанавливают порядок чередования фаз на выводах статора и намечают такое подключение синхронного компенсатора к сети, которое позволяет получить заданное направление вращения ротора. Это важно для обеспечения нормальной циркуляции масла в подшипниках.

При подключении выводов синхронного компенсатора к фазам сети руководствуются следующими соображениями. Если прослеживанием мест входа в пазы статора начал обмоток (при движении наблюдателя, находящегося со стороны вводов, вдоль окружности статора по часовой стрелке) будет установлено, что места входа расположены в очередности $C1, C2, C3$, то для осуществления вращения ротора синхронного компенса-

тора вправо необходимо к выводам С1, С2, С3 подвести напряжение прямого порядка следования фаз А, В, С соответственно, а для осуществления вращения влево — обратного порядка следования фаз А, С, В.

Проверка чередования фаз силовых трансформаторов. В соответствии с ГОСТ 11677–75 вводы у трансформаторов располагают так, чтобы чередование их (слева направо), если смотреть со стороны вводов высшего напряжения, было:

у трехфазных трансформаторов:

$0 - A - B - C$ — вводы обмоток ВН;

$0 - a - b - c$ — вводы обмоток НН;

$0 - A_m - B_m - C_m$ — вводы обмоток СН;

у однофазных трансформаторов:

$A - x$ — вводы обмоток ВН;

$a - x$ — вводы обмоток НН;

$A_m - X_m$ — вводы обмоток СН.

Проследить, правильно ли подсоединены концы обмоток к соответствующим вводам, без вскрытия трансформатора не представляется возможным. Поэтому правильность обозначений вводов трехфазных трансформаторов и полярность вводов однофазных трансформаторов устанавливаются при проверке групп соединений, которая производится при монтаже и капитальном ремонте трансформаторов с частичной или полной сменой обмоток.

Проверка чередования фаз ВЛ. Сооружение новой ВЛ электропередачи производится на основании проектной документации, содержащей среди прочих документов трехлинейную схему линии (по всей длине) с транспозицией проводов и заранее нанесенной расцветкой фаз. На этой схеме расположение проводов на ближайшей к линейному portalу ОРУ опоре предусматривают в том порядке, который обеспечил бы совпадение фаз линии с соответствующими фазами оборудования подстанции. Особое значение это имеет при прокладке новых линий между действующими подстанциями. Транспозиция проводов в этом случае выполняется с учетом фактического расположения оборудования и порядка чередования фаз на ОРУ с обоих концов линии.

Чтобы избежать ошибок при производстве монтажных работ на линиях, установлен порядок, при котором организация, принимающая линию в эксплуатацию, обязана вести технический надзор за ее строительством в соответствии с проектной документацией. Проверка чередования фаз новой линии состоит в том, что приемочная комиссия сверяет выполнение работ с имеющейся документацией. Особенно тщательно проверяется

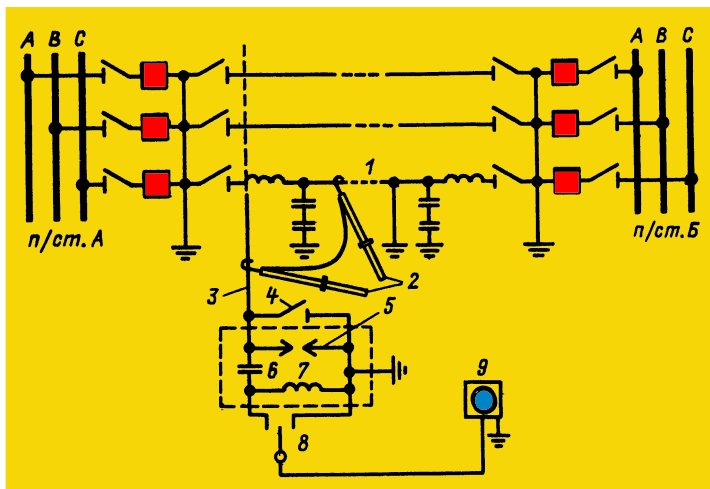


Рис. 24. Проверка локационным искателем чередования фаз воздушной линии:

1 — проверяемая фаза линии; 2 — изолирующая штанга; 3 — испытательная шина; 4 — заземляющий нож; 5 — защитный разрядник; 6 — защитный конденсатор; 7 — катушка индуктивности; 8 — перекидной рубильник; 9 — локационный искатель

монтаж проводов на транспозиционных опорах и на подходах линии к подстанции.

В ряде случаев проверку чередования фаз ВЛ производят при помощи локационного искателя. Схема проверки приведена на рис. 24.

На подстанции Б заземляют один из проводов проверяемой линии. На подстанции А с помощью изолирующих штанг поочередно подключают локационный искатель к проводам проверяемой линии и каждый раз наблюдают на экране ЭЛТ характер записи сигнала, отраженного от конца линии. Получение сигнала о наличии заземления на проводе позволяет обозначить его так, как обозначена фаза, к которой подключен локационный искатель на подстанции А. Затем на подстанции Б снимают заземление с провода, обозначение которого установлено, и накладывают заземление на другой провод. Со стороны подстанции А отыскивают провод, имеющий заземление на его противоположном конце, и присваивают ему соответствующее обозначение. После установления обозначения фазы второго

провода обозначение фазы третьего становится очевидным, однако на практике обозначение фазы третьего провода обычно устанавливают тем же способом, что и первых двух. Если установленные обозначения фаз линии совпадают с обозначением фаз линейных разъединителей на подстанции *Б*, фазировку считают оконченной. В противном случае изменяют порядок чередования проводов на вводе линии.

Проверка чередования фаз силовых кабелей. Простейшим способом отыскания в конце кабеля токоведущих жил, соответствующих определенным фазам его начала, является способ проверки ("прозвонки") жил при помощи телефонных трубок, например при проверке силовых кабелей, прокладываемых между различными помещениями станций и подстанций.

Схема присоединения телефонных трубок показана на рис. 25. В качестве одного из проводов для установления связи используют заземленные конструкции (заземленную металлическую оболочку кабеля), к которым подсоединяют телефонные трубки. Далее, с одной из сторон кабеля провод от батарейки соединяют с токоведущей жилой (допустим, фазой *С*). С другой стороны кабеля вторым проводом от телефонной трубки поочередно касаются токоведущих жил, каждый раз подавая голосом сигнал в трубку. Найдя жилу, по которой будет получен отзыв проверяющего, ее помечают как фазу *С* и в том же порядке продолжают поиск других жил. Вместо обычных телефонных трубок целесообразно применение телефонных гарнитуров, пользование которыми освобождает руки проверяющих для работы.

Для проверки чередования фаз достаточно широко используют мегаомметр, схема включения которого показана на

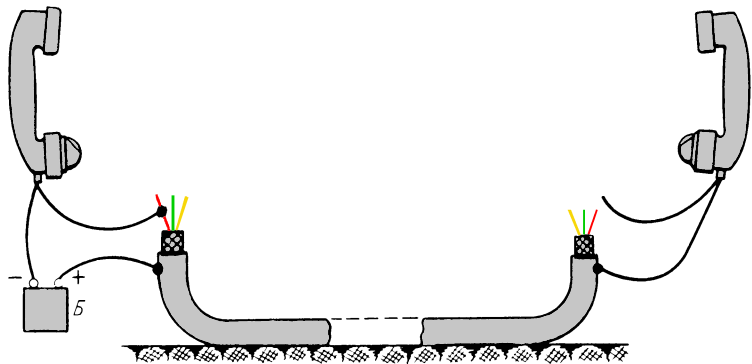


Рис. 25. Схема присоединения телефонных трубок при фазировке кабеля

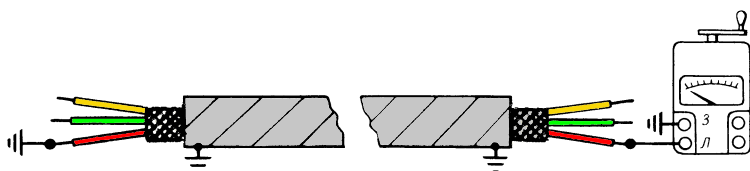


Рис. 26. Схема присоединения мегаомметра при фазировке кабеля

рис. 26. Для этого поочередно заземляют жилы в начале кабеля, а в конце производят измерение сопротивления изоляции жил относительно земли.

Заземленную жилу обнаруживают по показаниям мегаомметра, так как сопротивление ее изоляции на землю будет равно нулю, а двух других жил — десяткам и даже сотням мегаом.

При этом способе проверки трижды устанавливают и снимают заземления. Кроме того, персонал, находящийся у концов кабеля, должен иметь между собой связь, чтобы координировать свои действия. Все это относится к недостаткам такого способа проверки. Более совершенным является способ измерений

по схеме, приведенной на рис. 27. Одну из трех жил кабеля (назовем ее фазой *A*) жестко соединяют с заземленной оболочкой, другую жилу (фазу *C*) заземляют через сопротивление 8–10 МОм. В качестве сопротивления обычно используют трубку с резисторами указателя УВНФ. Третью жилу (фазу *B*) не заземляют, она остается свободной. С другого конца кабеля мегаомметром измеряют сопротивление жил относительно земли. Очевидно, что фазе *A* будет соответствовать жила, сопротивление которой на землю равно нулю, фазе *C* — жила, имеющая

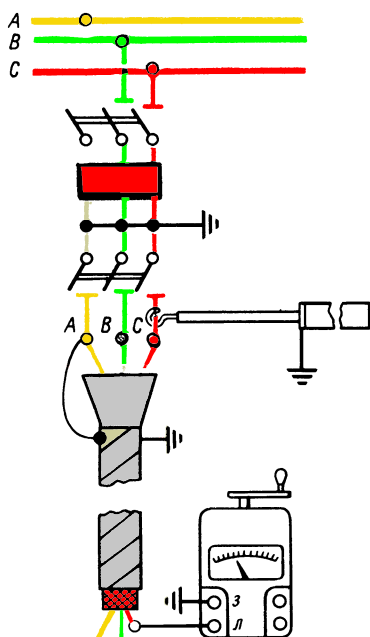


Рис. 27. Схема присоединения мегаомметра и дополнительного резистора при фазировке кабеля

сопротивление на землю 8–10 МОм, и фазе *В* — жила с бесконечно большим сопротивлением.

Условия безопасности при производстве фазировки кабелей. Фазировка производится только на отключенной со всех сторон кабельной линии. При этом должны быть приняты меры против подачи на кабель рабочего напряжения. Перед началом фазировки при помощи мегаомметра весь персонал, находящийся вблизи кабеля, предупреждается о недопустимости прикосновения к токоведущим жилам.

Соединительные провода от мегаомметра должны иметь усиленную изоляцию (например, провод типа ПВЛ). Присоединение их к токоведущим жилам производится после того, как кабель будет разряжен от емкостного тока. Для снятия остаточного заряда кабель заземляют на 2–3 мин.

Проверка чередования фаз силовых кабелей по расцветке изоляции жил. Токоведущие жилы силовых кабелей с изоляцией из пропитанной бумаги расцвечивают навитыми на их изоляцию лентами цветной бумаги. Одну из жил, как правило, опоясывают красной лентой, другую — синей, а изоляцию третьей специально не расцвечивают — она сохраняет цвет кабельной бумаги. При изготовлении кабелей жилы скручивают между собой так, что на протяжении одного шага скрутки каждая жила меняет свое положение в площади сечения, делая один оборот вокруг оси кабеля. Рассматривая площади сечений с обоих концов кабеля, можно обнаружить, что по отношению к наблюдателю фазы в сечениях чередуются в разных направлениях (рис. 28). Эти особенности конструкции кабелей учитывают при фазировке и соединении жил.

Допустим, что необходимо произвести фазировку и соединение жил двух концов трехфазного кабеля. Фазировка в данном случае элементарно проста. Она заключается в том, что из шести жил выбирают пары, имеющие одинаковую расцветку. Эти жилы замечают и готовят к соединению. Для соединения необходимо, чтобы оси жил одинаковой расцветки совпадали, а направление чередования фаз в площади сечения одного конца кабеля было зеркальным отражением другого (рис. 29, а).

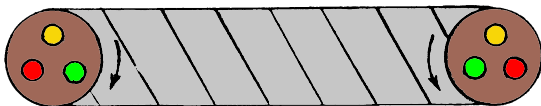


Рис. 28. Чередования фаз в сечениях кабеля. Стрелками показаны направления обхода фаз

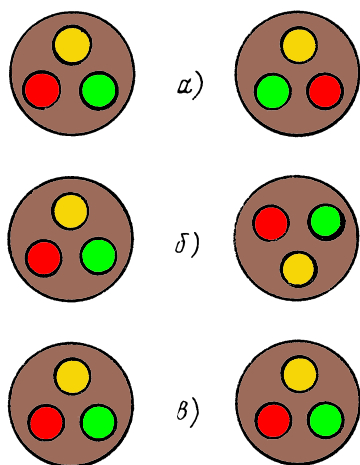


Рис. 29. Некоторые варианты чередования расцветочных жил в сечениях двух кабелей:

а — соединение жил одинакового цвета возможно; *б* — то же после поворота сечения на 180° ; *в* — соединение трех жил по их цветам невозможно

При укладке кабелей в траншею вероятность совпадения осей жил невелика. Чаще всего фазы одного цвета оказываются повернутыми относительно друг друга на некоторый угол, значение которого может достигать до 180° (рис. 29, б). Кабели

с несовпадающими осями одинаково расцветочных жил при монтаже (или ремонте) подкручивают вокруг оси, пока не будет зафиксировано точное совпадение осей жил. Однако сильное подкручивание не безопасно. Оно вызывает механические напряжения в защитных и изоляционных покровах кабелей и влечет за собой снижение надежности в работе.

Для того чтобы по цвету совпали все соединяемые между собой жилы, направления чередований фаз в сечениях кабелей должны быть противоположными. Это проверяется заранее, до укладки кабеля в траншею, если на его концах отсутствуют метки с указанием направления чередования фаз. Заметим, что у кабелей с чередованием фаз, направленным в одну сторону, по цвету совпадает только одна жила, а две другие не могут совпадать (рис. 29, в).

Преимущество способа соединения кабелей одинаково расцветочными жилами состоит в том, что фазировка здесь не является самостоятельной операцией, она выполняется в ходе самих работ, а процесс прокладки, ремонта и эксплуатации кабелей приобретает более стройную систему и требует меньших трудозатрат [4, 5]

Проверка чередования фаз силовых кабелей прибором ФК-80. Для фазировки на две жилы кабеля на питающем его конце накладываются два излучателя: на фазу *A* — излучатель непрерывного сигнала *И1*, на фазу *B* — излучатель прерывистого сигнала *И2*, фаза *C* остается свободной (рис. 30). Заземление с кабельной линии не снимается — оно не мешает проведению

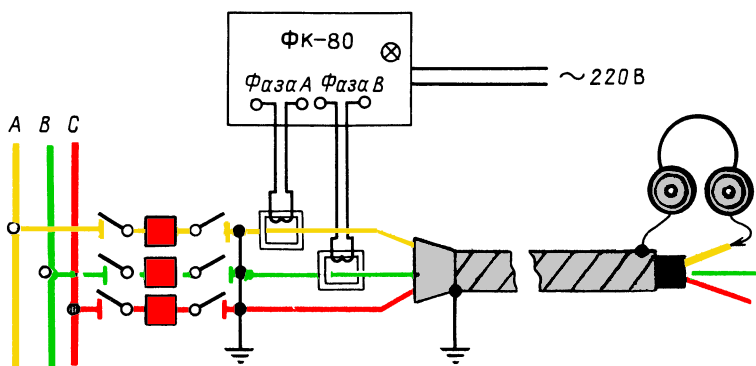


Рис. 30. Применение прибора ФК-80 при фазировке кабеля

фазировки. На время фазировки или задолго до этого прибор ФК-80 включается в сеть 220 В. Излучатели наводят в жилах кабеля соответствующие ЭДС. На другом конце линии телефонные трубки подсоединяют одним проводом к заземлению (заземленной оболочке кабеля), а другим проводом поочередно касаются токоведущих жил кабеля.

Принадлежность жилы кабеля той или иной фазе определяется по характеру звука в телефонных трубках. Если будет услышан непрерывный сигнал — трубки подключены к фазе А, прерывистый — к фазе В и отсутствие звука укажет, что трубки подключены к фазе С.

Наводимая в жилах кабеля ЭДС звуковой частоты (ее значение не превышает 5 В) не является помехой для выполнения ремонтных работ на кабельной линии.

5. ПРЯМЫЕ МЕТОДЫ ФАЗИРОВКИ

Фазировка трансформаторов, имеющих обмотки НН до 380 В, без установки перемычки между зажимами. Этим методом фазировать силовые трансформаторы, вторичные обмотки которых соединены в звезду с выведенной нулевой точкой, а также измерительные трансформаторы напряжения, имеющие вторичные обмотки с заземленной нейтралью. Фазировку производят с помощью вольтметра со стороны обмотки НН. Вольтметр должен быть рассчитан на двойное фазное напряжение, так как появление такого напряжения между зажимами фазироваемых трансформаторов не исключено.

Фазируемые трансформаторы включают по схеме, представленной на рис. 31. Нулевые точки вторичных обмоток при этом должны быть надежно заземлены или присоединены к общему нулевому проводу, что следует проверить перед началом фазировки. Объединение нулевых точек необходимо для создания между фазируемыми трансформаторами электрической связи, образующей замкнутый контур для прохождения тока через прибор.

Прежде чем приступить к фазировке, проверяют симметричность напряжений трансформаторов. Для этого вольтметр поочередно подключают к зажимам $a_1 - b_1$; $b_1 - c_1$; $c_1 - a_1$; $a_2 - b_2$; $b_2 - c_2$; $c_2 - a_2$. Если значения измеренных напряжений сильно отличаются друг от друга, проверяют положение переключателей ответвлений обоих трансформаторов. Переключением ответвлений уменьшают разницу напряжений. Фазировка допускается, если разность напряжений не превышает 10%.

После проведения перечисленных операций приступают собственно к фазировке. Сущность ее заключается в отыскании выводов, между которыми разность напряжений практически близка к нулю. Для этого провод от вольтметра присоединяют к одному из выводов первого трансформатора, а другим проводом поочередно касаются трех выводов второго трансформатора (например, измеряют напряжение между выводами $a_1 - a_2$; $a_1 - b_2$; $a_1 - c_2$). Дальнейший ход фазировки зависит от полученных результатов. Если при одном из измерений (допустим, между выводами $a_1 - a_2$) показание вольтметра было близким к нулю, то эти выводы замечают, а вольтметр присоединяют ко второму выводу (например, b_1) первого трансформатора и измеряют напряжение между выводами $b_1 - b_2$; $b_1 - c_2$. Если опять одно из показаний вольтметра (например, между выводами $b_1 - b_2$) окажется близким к нулю, то фазировку считают законченной (рис. 32, а). Особой необходимости в измерении напряжения между выводами $c_1 - c_2$ нет, так как при двух нулевых показаниях вольтметра ($a_1 - a_2$ и $b_1 - b_2$) напряжение между третьей парой фаз, естественно, должно быть близким к нулю. Однако для подтверждения полученных результатов о совпадении фаз все же производят измерение между $c_1 - c_2$. Выводы, между которыми не было разности напряжений, соединяют при включении трансформаторов на параллельную работу. У каждого полюса коммутационного аппарата такие выводы должны находиться непосредственно друг против друга.

Если после измерения ($a_1 - a_2$; $a_1 - b_2$; $a_1 - c_2$; $b_1 - a_2$; $b_1 - b_2$; $b_1 - c_2$) ни одно из показаний вольтметра не было

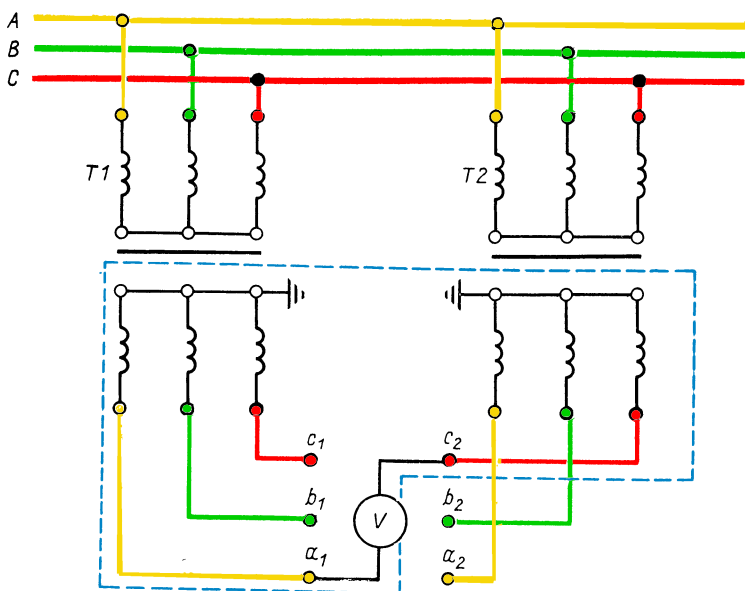


Рис. 31. Схема фазировки трансформаторов, имеющих заземленные нулевые точки вторичных обмоток (штриховой линией показан путь прохождения тока через прибор при несовпадении фаз)

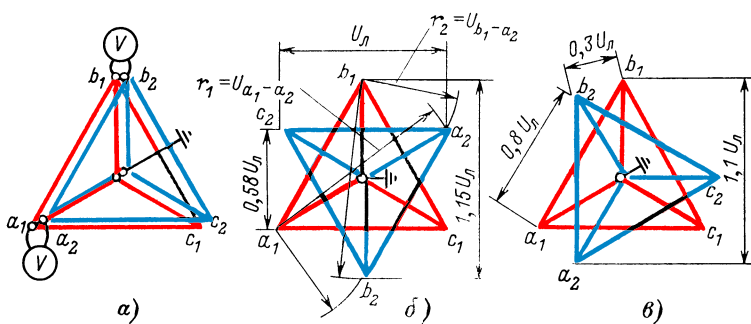


Рис. 32. Векторные диаграммы напряжений обмоток НН фазуемых трансформаторов при совпадении фаз (а), при сдвиге векторов на 180° , например при группах соединений Д/У_Н-11 и Д/У_Н-5 (б); при сдвиге векторов на 30° группы соединений (У/У_Н-0 и Д/У_Н-11) (в)

близким к нулю, то это говорит о том, что фазированные трансформаторы принадлежат к разным группам соединений и их включение на параллельную работу недопустимо. Фазировку на этом прекращают. На основании измерений строят векторные диаграммы и по ним судят, можно ли включить трансформаторы параллельно и какие пересоединения необходимо для этого выполнить.

Характерными являются два случая. В первом из них

$$\begin{aligned}U_{a_1 - a_2} &= 1,15 U_{\text{л}}; \quad U_{a_1 - b_2} = 0,58 U_{\text{л}}; \\U_{a_1 - c_2} &= 0,58 U_{\text{л}}; \quad U_{b_1 - a_2} = 0,58 U_{\text{л}}; \\U_{b_1 - b_2} &= 1,15 U_{\text{л}}; \quad U_{b_1 - c_2} = 0,58 U_{\text{л}}.\end{aligned}$$

Типичная для этого случая векторная диаграмма представлена на рис. 32, б. Из рисунка видно, что векторы вторичных напряжений повернуты на 180° , а напряжение между зажимами $a_1 - a_2$ равно двойному фазному напряжению $U_{a_1 - a_2} = 2U_{\text{ф}} = 2/\sqrt{3}U_{\text{л}} = 1,15U_{\text{л}}$. Если оба фазированных трансформатора принадлежат к нечетным группам, то для включения их параллельно следует у одного из них пересоединить шины на выводах обмоток ВН и НН, т. е. произвести двойную перемаркировку фаз. Для трансформаторов четных групп (а также четной и нулевой) необходимо внутреннее пересоединение обмоток. Во втором случае

$$\begin{aligned}U_{a_1 - a_2} &= 0,3 U_{\text{л}}; \quad U_{a_1 - b_2} = 0,8 U_{\text{л}}; \\U_{a_1 - c_2} &= 1,1 U_{\text{л}}; \quad U_{b_1 - a_2} = 1,1 U_{\text{л}}; \\U_{b_1 - b_2} &= 0,3 U_{\text{л}}; \quad U_{b_1 - c_2} = 0,8 U_{\text{л}}.\end{aligned}$$

На типичной векторной диаграмме (рис. 32, в) векторы напряжений сдвинуты на 30° . Такой угол сдвига может быть у трансформаторов четной (или нулевой) и нечетной групп. Фазировка таких трансформаторов невозможна, и включение их на параллельную работу не может быть выполнено ни при каких условиях. Поэтому всегда следует проверять схемы и группы соединений обмоток трансформаторов, прежде чем приступать к их фазировке.

Техника построения векторных диаграмм показана на рис. 32, б. Треугольник линейных напряжений первого трансформатора строят произвольно, а точки вершин второго треугольника находят путем засечек радиусами, численно равными напряжениям между зажимами

$$a_1 - a_2 \text{ и } b_1 - a_2; \quad a_1 - b_2 \text{ и } b_1 - b_2.$$

Фазировка трансформаторов, имеющих обмотки НН до 380 В, с установкой перемычки между двумя выводами. Этот метод применяют при фазировке трансформаторов, вторичные обмотки которых не имеют нулевого вывода. Фазировку производят на стороне НН с помощью вольтметра. Его шкала должна быть рассчитана на двойное линейное напряжение. До включения фазлируемых трансформаторов под напряжение мегаомметром проверяют сопротивление изоляции вторичных обмоток относительно земли. Обмотки не должны иметь никаких соединений с землей, так как двойное замыкание на землю при наличии перемычки между выводами может привести к КЗ. Перемычка (желательно с сопротивлением 3–5 кОм) устанавливается между двумя любыми зажимами одного и другого трансформатора (рис. 33). Ее наличие не представляет никакой опасности для трансформаторов, поскольку при этом не образуется замкнутой цепи для прохождения тока КЗ. Замкнутая цепь создается включением вольтметра, который, как известно, обладает сопротивлением десятки тысяч ом, и проходящий через него ток ничтожно мал.

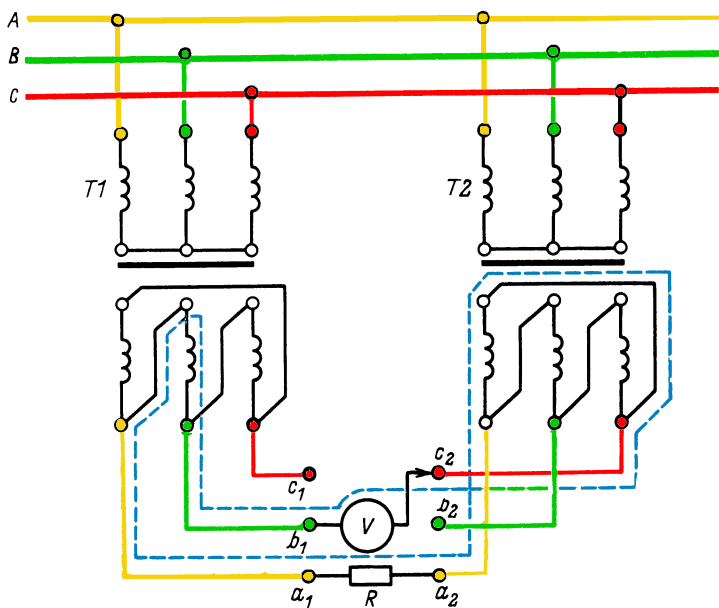


Рис. 33. Схема фазировки трансформаторов с установкой перемычки между их зажимами (R – резистор 3–5 кОм)

Для фазировки трансформаторы включают под напряжение со стороны ВН, после чего на зажимах НН каждого трансформатора вольтметром проверяют симметрию напряжений, подведенных для фазировки. Всего производится шесть измерений.

Фазировку выполняют в два приема. Сначала измеряют напряжение между одним из свободных выводов первого трансформатора $T1$ и двумя свободными выводами второго трансформатора $T2$, например между выводами $b_1 - b_2$ и $b_1 - c_2$. Затем измеряют напряжение между вторым свободным выводом и теми же выводами второго трансформатора ($c_1 - b_2$ и $c_1 - c_2$). Данные измерений зависят от того, между какими парами выводов установлена перемычка. Возможны три варианта ее установки: $a_1 - a_2$; $b_1 - a_2$; $c_1 - a_2$. И каждому из этих вариантов при одинаковых группах соединений фазировемых трансформаторов будут соответствовать следующие показания вольтметра:

Соединяемые

зажимы $a_1 - a_2$ $b_1 - a_2$ $c_1 - a_2$

Напряжение между

зажимами . . .	$U_{b_1 - b_2} = 0$	$U_{a_1 - b_2} = 2U_n$	$U_{a_1 - b_2} = 1,73U_n$
	$U_{b_1 - c_2} = U_n$	$U_{a_1 - c_2} = 1,73U_n$	$U_{a_1 - c_2} = 2U_n$
	$U_{c_1 - b_2} = U_n$	$U_{c_1 - b_2} = 1,73U_n$	$U_{b_1 - b_2} = U_n$
	$U_{c_1 - c_2} = 0$	$U_{c_1 - c_2} = U_n$	$U_{b_1 - c_2} = 1,73U_n$

Построенные по этим данным векторные диаграммы напряжений обмоток НН приведены на рис. 34. Из рис. 34, *а* непосредственно следует, что трансформаторы имеют одинаковые группы соединений и параллельное включение их возможно при соединении между собой выводов a_1 и a_2 , b_1 и b_2 , c_1 и c_2 . Так как две другие векторные диаграммы (рис. 34, *б*, *в*) построены для тех же трансформаторов, то и они позволяют сделать такой же вывод. Поэтому фазировку обычно заканчивают, как только получают данные одного из трех вариантов измерений и строят векторную диаграмму, аналогичную указанной на рис. 34, *а*, *б*, *в*.

Заметим, что характерным для этого случая фазировки (вариант соединения одноименных выводов $a_1 - a_2$) является получение двух нулевых показаний вольтметра при каждом приеме измерений. Однако тут же оговорим, что два нулевых показания могут быть получены и при разных группах соединений, когда векторы напряжений сдвинуты на 240° . Но при этом

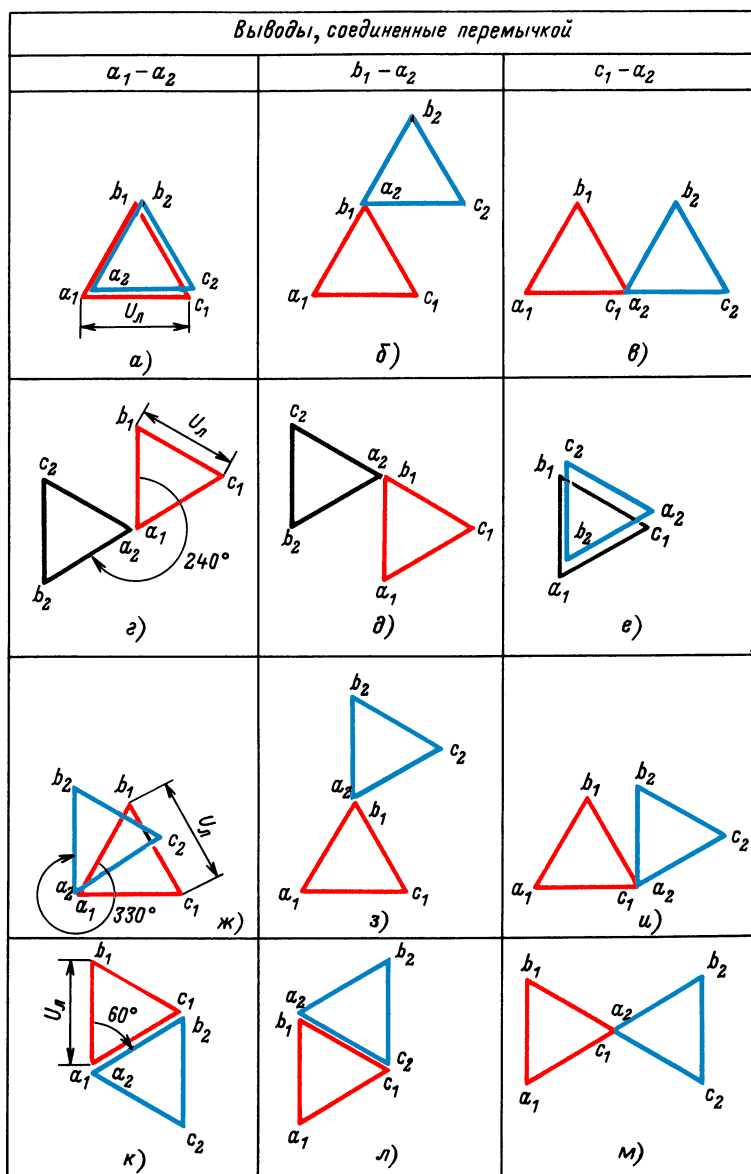


Рис. 34. Векторные диаграммы напряжений при фазировке трансформаторов:
 а, б, в — при одинаковых группах соединений; г, д, е — при сдвиге векторов на 240° ; ж, з, и — то же на 330° ; к, л, м — то же на 60°

соединенными перемычкой должны быть зажимы c_1 и a_2 :

Соединяемые

зажимы $a_1 - a_2$

$b_1 - a_2$

$c_1 - a_2$

Напряжение между

зажимами . . .	$U_{b_1 - b_2} = 1,73 U_{\text{л}}$	$U_{a_1 - b_2} = U_{\text{л}}$	$U_{a_1 - b_2} = 0$
	$U_{b_1 - c_2} = U_{\text{л}}$	$U_{a_1 - c_2} = 1,73 U_{\text{л}}$	$U_{a_1 - c_2} = U_{\text{л}}$
	$U_{c_1 - b_2} = 2 U_{\text{л}}$	$U_{c_1 - b_2} = 1,73 U_{\text{л}}$	$U_{b_1 - b_2} = U_{\text{л}}$
	$U_{c_1 - c_2} = 1,73 U_{\text{л}}$	$U_{c_1 - c_2} = 2 U_{\text{л}}$	$U_{b_1 - c_2} = 0$

Векторные диаграммы приведены на рис. 34, *г, д, е*. Параллельное включение таких трансформаторов возможно только после пересоединения шин, подведенных к трансформатору, т. е. после циклической перемаркировки фаз.

О невозможности параллельного включения трансформаторов свидетельствуют такие показания вольтметров, когда при всех трех вариантах установки перемычки не получается ни одного нулевого показания, например:

Соединяемые

зажимы $a_1 - a_2$

$b_1 - a_2$

$c_1 - a_2$

Напряжение между

зажимами . . .	$U_{b_1 - b_2} = 0,5 U_{\text{л}}$	$U_{a_1 - b_2} = 1,9 U_{\text{л}}$	$U_{a_1 - b_2} = 1,4 U_{\text{л}}$
	$U_{b_1 - c_2} = 0,5 U_{\text{л}}$	$U_{a_1 - c_2} = 1,9 U_{\text{л}}$	$U_{a_1 - c_2} = 1,9 U_{\text{л}}$
	$U_{c_1 - b_2} = 1,4 U_{\text{л}}$	$U_{c_1 - b_2} = 1,9 U_{\text{л}}$	$U_{b_1 - b_2} = 0,5 U_{\text{л}}$
	$U_{c_1 - c_2} = 0,5 U_{\text{л}}$	$U_{c_1 - c_2} = 1,4 U_{\text{л}}$	$U_{b_1 - c_2} = 1,4 U_{\text{л}}$

Из векторных диаграмм, приведенных на рис. 34, *ж, з, и* и построенных для этого случая, видно, что векторы линейных напряжений сдвинуты на 30° . Такой угол будет получен, если трансформаторы относятся к нечетной и четной (или нулевой) группам соединений, например $Y/Y-0$ и $Y/D-11$, а их параллельное включение невозможно.

Если в процессе фазировки в двух из трех вариантов установки перемычки получается по одному нулевому показанию, то это указывает на допустимость параллельного включения, но только после некоторых изменений в схеме. У трансформаторов нечетных групп со сдвигом векторов вторичных напряжений на 60° (рис. 34, *к, л, м*) необходимо произвести двойную перемаркировку фаз (см. рис. 12).

Фазировка кабельных и воздушных линий 6–10 кВ, имеющих между собой электрическую связь. Принципиальная схема, поясняющая метод фазировки, представлена на рис. 35. В качестве указателя напряжения используется указатель типа УВНФ

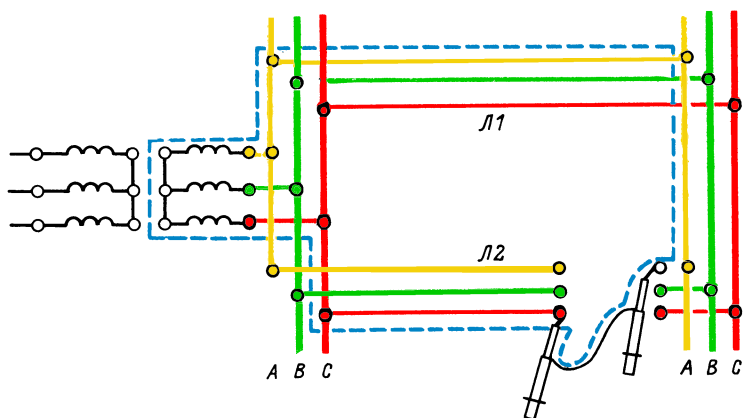


Рис. 35. Схема фазировки линий, имеющих непосредственную электрическую связь (не через трансформатор)

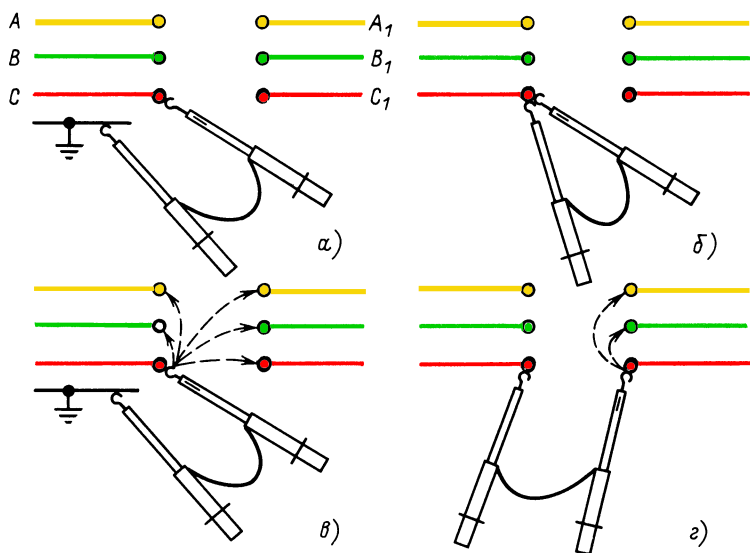


Рис. 36. Последовательность операций при фазировке линий 10 кВ указателем УВНФ:

a — проверка исправности указателя при встречном включении; $б$ — то же при согласном; $в$ — проверка наличия напряжения; $г$ — фазировка

(см. рис. 19). Фази́ровка производится в следующей последовательности. На выводы разъединителя или выключателя с каждой из его сторон подают фазируемые напряжения. Проверяют исправность указателя напряжения. Для этого щупом трубки, содержащей резистор, касаются заземления, а щуп другой трубки на несколько секунд подносят к одному из зажимов аппарата, находящемуся под напряжением (рис. 36, а). При этом неоновая лампа должна загореться. Затем щупами обеих трубок касаются одной токоведущей части (рис. 36, б). Лампа указателя при этом не должна гореть. Проверяют напряжение на всех шести выводах коммутационного аппарата, как показано на рис. 36, в. Проверка производится для того, чтобы исключить ошибку в случае фазировки линии, имеющей обрыв (например, вследствие перегорания предохранителя). Абсолютные значения напряжений между фазой и землей здесь не играют роли, так как при фазировке присоединение указателя будет производиться или на линейное напряжение (несовпадение фаз) или на разность напряжений между одноименными фазами (совпадение фаз), которая практически близка к нулю. Поэтому о наличии напряжения судят просто по свечению лампы указателя.

Процесс собственно фазировки состоит в том, что щупом одной трубки указателя касаются любого крайнего вывода аппарата, например фазы C , а щупом другой трубки — поочередно трех выводов со стороны фазируемой линии (рис. 36, г). В двух случаях касаний ($C - A_1$ и $C - B_1$) лампа будет ярко загораться, в третьем ($C - C_1$) гореть не будет, что укажет на одноименность фаз.

После определения первой пары одноименных выводов щупами поочередно касаются других пар выводов, например $A - A_1$ и $A - B_1$. Отсутствие свечения лампы в одном из касаний укажет на одноименность следующей пары выводов. Совпадение фаз третьей пары выводов $B - B_1$ проверяют только в целях контроля — фазы должны совпасть.

Одноименные фазы соединяют на параллельную работу. Если одноименные фазы у разъединителя или выключателя не находятся друг против друга, то с установки снимают напряжение и пересоединяют шины в том порядке, который необходим для совпадения фаз.

Фази́ровка кабельных и воздушных линий 6–10 кВ, не имеющих между собой непосредственной электрической связи. Метод применяют при фазировке линий, отходящих от разных подстанций, которые в свою очередь питаются от одной син-

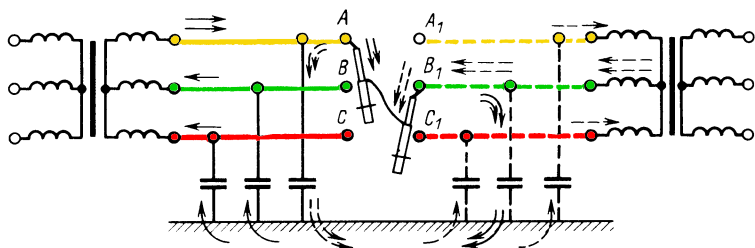


Рис. 37. Схема прохождения тока через указатель при фазировке линий, не имеющих между собой непосредственной электрической связи

хронно работающей сети. Иногда этот метод представляют как фазировку двух трансформаторов по линиям, проложенным между ними. Однако в отличие от фазировки трансформаторов напряжением до 380 В в данном случае не требуется ни заземления нулевых точек обмоток, ни установки временных перемычек между выводами. Замкнутые контуры для прохождения тока через прибор образуются благодаря присутствию в схеме элементов, обладающих электрической емкостью. Схема фазировки двух линий показана на рис. 37. Из схемы видно, что через прибор при подключении его к разноименным фазам будет проходить ток, равный геометрической разности емкостных токов фазирзуемых частей установки.

В качестве прибора — индикатора напряжения при фазировке — применяют указатель напряжения типа УВНФ. Его сигнальная лампа светится при встречном включении и гаснет при согласном включении, когда фазы совпадают. Последовательность и содержание операций по фазировке не отличаются от тех, которые были описаны при изложении методов фазировки кабельных и воздушных линий 6–10 кВ, имеющих между собой электрическую связь.

Помимо фазировки линий этот метод применяют и для фазировки силовых трансформаторов.

Фазировка линий и трансформаторов 6–10 кВ, защищенных предохранителями. Принципиально индикаторами напряжения при фазировке могут служить серийные указатели напряжения типа УВН-80 или УВН-10, применяемые в электроустановках в обычных условиях для определения наличия или отсутствия напряжения на токоведущих частях. Важно только, чтобы условия их применения гарантировали пороги зажигания при согласном и встречном включении. У указателей УВНФ это было достигнуто соответствующим подбором резисторов и шунтиро-

ванием сигнальной лампы конденсатором. Пользоваться указателем для фазировки рекомендуется, как правило, в комплекте с токоограничивающим резистором, назначение которого состоит в том, чтобы предотвратить возникновение КЗ в случае ошибочных действий персонала с указателем в процессе самой фазировки, так как при этом не исключено приближение отдельных его частей к заземленным конструкциям, выпадение указателя из рук оператора и т. д. Пусконаладочное управление треста "Спецэлектромонтаж" для фазировки линий 6–10 кВ, включаемых через предохранители, использует рабочие части указателей напряжения УВН-80 без добавочных резисторов. На указатели надевают согнутые из латуни скобы (рис. 38), при помощи которых их устанавливают на место вынутых трубок предохранителей трех фаз. Установку указателей производят при снятом напряжении или под напряжением при помощи изолирующих клещей. После проверки наличия напряжения на всех фазах наблюдают за свечением ламп указателей, используемых для фазировки. При совпадении фаз лампы не светятся.

Силовые трансформаторы для фазировки включают под напряжение со стороны НН.

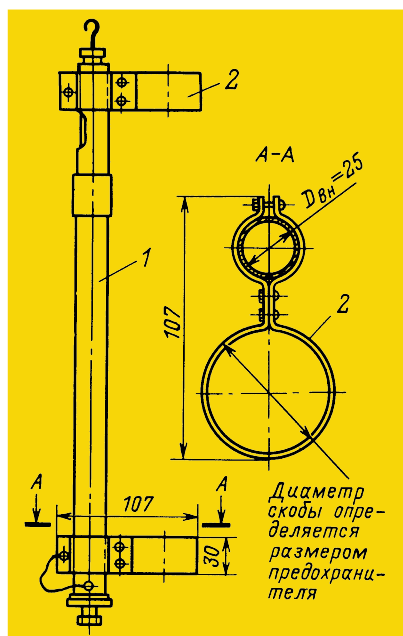
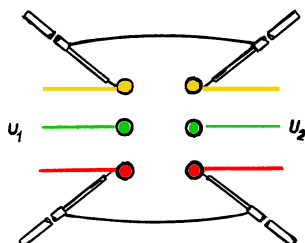


Рис. 38. Установка скоб на указателе напряжения УВН-80 для фазировки в установках 6–10 кВ:

1 – рабочая часть УВН-80;
2 – скоба из латуни

Рис. 39. Подключение указателя Мосэнерго к выводам разъединителей при фазировке линии 35–110 кВ



Рабочие части указателей напряжения УВН-80 в эксплуатационных условиях испытывают напряжением 20 кВ. Очевидно, что такое испытательное напряжение и методика применения указателей напряжения без дополнительных резисторов обеспечивает необходимые условия безопасного проведения фазировки в установках до 10 кВ.

Фазировка кабельных и воздушных линий 35–110 кВ. Для фазировки применяют указатель напряжения типа УВНФ-35-110 (см. рис. 20). Фазировку производят на отключенных разъединителях (или отделителях), выводы которых находятся под напряжением: с одной стороны от шин РУ, с другой — от фазированной линии. Сначала на всех фазах разъединителей проверяют наличие напряжения прикосновением щупов указателя к фазе и к заземленной конструкции. При наличии напряжения лампа

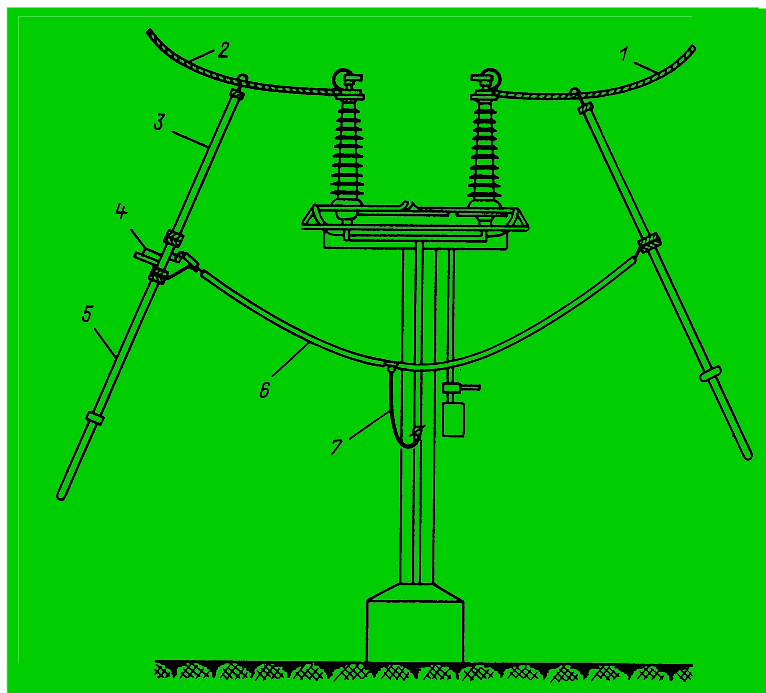


Рис. 40. Фазировка указателем напряжения Ленэнерго прямым методом: 1 — провод от линии; 2 — провод со стороны шин подстанции; 3 — трубка с резисторами; 4 — микроамперметр; 5 — изолирующая штанга; 6 — соединительный проводник; 7 — заземляющий провод

указателя должна загораться. Затем на крайних фазах разъединителей проверяют совпадение напряжений по фазе (рис. 39). На средней фазе проверку не производят. Если лампа указателя не загорается при фазировке на крайних фазах, то фазировку считают законченной — фазы совпадают. При свечении лампы указателя на обеих крайних фазах или только на одной фазировку прекращают — фазы не совпадают.

Путь прохождения тока через указатель зависит от того, в каком режиме работает установка. В сетях с заземленной или с компенсированной нейтралью ток проходит через нулевые точки трансформаторов, в сетях с изолированной нейтралью — через емкости на землю токоведущих частей установки. Фазировка возможна при отсутствии в сети замыкания на землю.

Последовательность операций и действий при фазировке линий указателем Ленэнерго, принципиальная схема которого приведена на рис. 21, состоит в следующем. Прежде всего собирают указатель: к изолирующим штангам привинчивают трубки с резисторами и соединяют их проводником; заземляющий проводник присоединяют к контуру заземления подстанции. Затем мегаомметром проверяют значения сопротивлений резисторов. Проверяют работоспособность указателя. Для этого один из проверяющих касается щупом указателя заземленной конструкции, а второй проверяющий другим щупом касается провода, находящегося под напряжением. При этом стрелка микроамперметра должна установиться на делении шкалы, соответствующем фазному напряжению. Далее проверяют работу указателя при согласном включении путем присоединения обоих щупов указателя к одному и тому же проводу. Стрелка микроамперметра при этом не должна отклоняться от нуля шкалы прибора.

Производят фазировку, касаясь щупами указателя проводов каждой фазы разъединителей так, как это показано на рис. 40. При совпадении фаз напряжений стрелка прибора не должна значительно отклоняться от нуля шкалы. Возможно лишь небольшое отклонение стрелки, что объясняется некоторой разностью фазированных напряжений либо сдвигом напряжений по углу при фазировке линий большой протяженности. При несовпадении напряжений по фазе стрелка прибора отклонится до конца шкалы.

Оба указателя напряжений для фазировки (Мосэнерго и Ленэнерго) хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации. Они надежны, удобны и портативны. Применение их особенно целесообразно при проведении монтажных и реконструктивных работ на линиях, а также на подстанциях с упрощенными схе-

мами. В высоковольтных сетях Ленэнерго ежегодно проводится не менее 50 фазировок прямым методом на напряжении 35 и 110 кВ с применением указателя [3].

Фазировка на подстанциях с упрощенной схемой. На стороне высшего напряжения (110 кВ) таких подстанций, как правило, отсутствуют не только выключатели, но и трансформаторы напряжения, что исключает применение косвенного метода фазировки со стороны ВН. Кроме того, включение нового оборудования в работу часто производится поэтапно: сначала включают в работу одну линию и один трансформатор, а потом с ростом нагрузки — другой трансформатор и другую линию. В этих условиях фазировка оборудования косвенным методом на стороне НН также не может быть выполнена без отключения потребителей и освобождения секции сборных шин. При невозможности отключения потребителей фазировку оборудования выносят на смежные подстанции, используя для этого соединяющие подстанции воздушные линии. Но это требует создания сложных схем с обязательным выделением резервной системы шин на смежной подстанции.

Недостатки косвенных методов отсутствуют в случае фазировки оборудования прямым методом. Покажем это на примере. Пусть на подстанции (рис. 41) включены в работу транс-

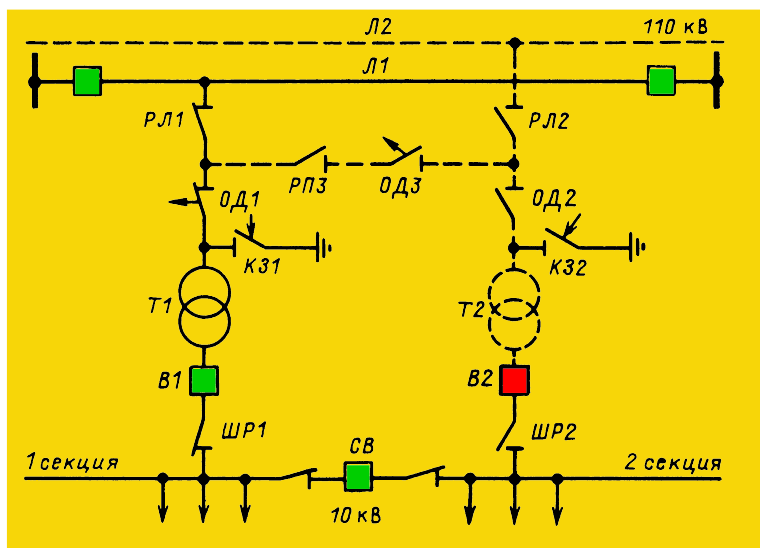


Рис. 41. Схема подстанции 110 кВ с отделителями и короткозамыкателями

форматоры *T1* и линии потребителей, питающиеся от 1 и 2 секций сборных шин 10 кВ. Закончен монтаж и готовы к включению трансформатор *T2* и линия *Л2* с ответвлением на подстанцию. Необходимо выполнить фазировку шинного моста 110 кВ и ответвления от линии *Л2*. Для этого на линейные разъединители *РЛ2* подают напряжение: со стороны шинного моста — включением отделителей *ОД3* и разъединителей *РП3* и со стороны линии *Л2* — включением ее под напряжение от шин питающей подстанции. Фазировку выполняют прямым методом на линейных разъединителях *РЛ2* с помощью указателя напряжения. В случае несовпадения фазированных напряжений с линии *Л2* снимают напряжение, на ответвлении меняют местами провода и вновь производят фазировку. Фазировка трансформатора *T2* также может быть выполнена прямым методом при помощи указателя напряжения на шинных разъединителях *ШР T2*.

Условия безопасности при производстве фазировки указателями напряжения. Прежде чем приступить к производству фазировки, необходимо убедиться в выполнении как общих требований техники безопасности по подготовке рабочего места так и специальных требований по работе с измерительными штангами на оборудовании, находящемся под напряжением.

Электрические аппараты, на выводах которых будет производиться фазировка, еще до подачи на них напряжения должны быть надежно заперты, должны быть также приняты меры, предотвращающие их включение.

Указатели напряжения перед началом работы под напряжением должны быть подвергнуты тщательному наружному осмотру. При этом обращается внимание на то, чтобы лаковый покров трубок и изоляция соединительного провода не имели видимых повреждений и царапин. Срок годности указателя проверяется по штампу периодических испытаний. Не допускается применять указатели, срок годности которых истек.

При работах с указателем напряжения обязательно применение диэлектрических перчаток. В ходе фазировки не рекомендуется приближать соединительный провод к заземленным частям. Располагать рабочие и изолирующие части указателей следует так, чтобы не возникла опасность перекрытия по их поверхности между фазами или на землю.

Фазировку указателем напряжения нельзя производить во время дождя, снегопада, при тумане, так как изолирующие части его могут увлажниться, что приведет к их перекрытию.

6. КОСВЕННЫЕ МЕТОДЫ ФАЗИРОВКИ

Проверка совпадения фаз сборных шин и маркировка выводов вторичных обмоток трансформаторов напряжения при включении новых РУ. Расцветка сборных шин в новых РУ производится в соответствии с указаниями ПУЭ. Маркировка выводов вторичных обмоток трансформаторов напряжения выполняется наладочными организациями на основании паспортной и проектной документации. Проверка соответствия маркировки выводов вторичных обмоток трансформаторов напряжения расцветке сборных шин может быть осуществлена путем подачи от сети по одной из питающих линий напряжения в РУ. Напряжение подается пофазно, т.е. сначала по фазе *A*, затем *B* и, наконец, по фазе *C*. При этом каждый раз проверяются соответствие расцветки фаз в РУ фазам энергосистемы и одновременно маркируются вторичные цепи по появлению напряжения на выводах той или иной фазы трансформатора напряжения, подключенного к сборным шинам. Вторичные обмотки других трансформаторов напряжения в дальнейшем фазируют с тем трансформатором напряжения, маркировка которого уже проверена. Фазировка производится теми же методами, что и фазировка силовых трансформаторов напряжением до 380 В. Выбор метода зависит от схемы вторичной обмотки: заземлена ее нулевая точка или одна из фаз. В первом случае для фазировки применяют вольтметр со шкалой на двойное фазное напряжение, во втором — на двойное линейное напряжение, так как при заземлении фазы вторичных обмоток на выводы вольтметра может быть подано напряжение $2U_{\text{л}}$.

В эксплуатации фазировку трансформаторов напряжения, у которых заземлены не нулевые точки, а фазы вторичных обмоток (например, фазы *'b'*), и это не вызывает никаких сомнений, выполняют при помощи фазоуказателя И-517 или ФУ-2. В данном случае это допустимо, так как фазы *b* фазиремых напряжений жестко соединены и требуется установить лишь совпадение напряжений одноименных фаз *a*, а также фаз *c*. Если они не совпадают, диск фазоуказателя при подаче на выводы напряжения от первого трансформатора напряжения будет вращаться в одном направлении, а при подаче напряжения от второго трансформатора напряжения — в другом. Ни в каких других случаях фазировки трехфазных цепей пользоваться только фазоуказателем нельзя, так как при одном и том же направлении вращения диска фазоуказателя между одноименными фазами напряжений может быть сдвиг по углу даже при одном и том же порядке следования фаз (см. рис. 2, б).

Трансформаторы напряжения одного класса напряжения фазируют при питании от одного источника. Если, например, необходимо проверить совпадение фаз двух трансформаторов напряжения, включенных со стороны ВН на разные системы шин (или секции), то для этого шины соединяют между собой включением шиносоединительного (или секционного) выключателя и затем производят фазировку.

Фазировка вторичных цепей измерительных трансформаторов напряжения и тока с цепями реле в схемах релейной защиты и автоматики. При включении новых подстанций не ограничиваются только проверкой правильности расцветки сборных шин, маркировки выводов вторичных обмоток трансформаторов напряжения и фазировкой их между собой. Необходима также фазировка зажимов вторичных обмоток измерительных трансформаторов тока и напряжения с зажимами реле. Дело в том, что для некоторых видов реле (например, реле направления мощности, реле сопротивления) требуется вполне определенное сочетание фаз тока и напряжения, а для реле токовых дифференциальных защит имеет значение не только фаза, но и направление вектора тока. Поэтому после окончания фазировки трансформаторов напряжения между собой обычно приступают к фазировке цепей напряжения на панелях релейной защиты и автоматики.

Для этого подают напряжение от трансформаторов напряжения, подключенных к сборным шинам, к панели защиты и измеряют значения фазных и линейных напряжений, а также проверяют порядок следования их фаз. Для исключения ошибок фазоуказатель и его соединительные провода должны иметь единую маркировку. Включение приборов показано на рис. 42. Вместо отдельных приборов (вольтметра и фазоуказателя) при фазировках часто пользуются прибором ВАФ-85.

Для проверки соответствия обозначений фаз напряжения, подводимого от трансформаторов напряжения, маркировке, выполненной на панели защиты, напряжение на эту панель подают пофазно, сверяя каждый раз обозначение фазы напряжения с обозначением маркировки на панели.

В том случае, когда у трансформаторов напряжения заземлена не нулевая точка обмоток НН, а фаза (например, фаза *b*), сначала отыскивают заземленную фазу и только потом проверяют правильность маркировки вводных зажимов на панели. Для этого вольтметром измеряют напряжение каждой фазы относительно земли. При измерении напряжения между заземленной фазой и землей стрелка прибора не должна отклоняться

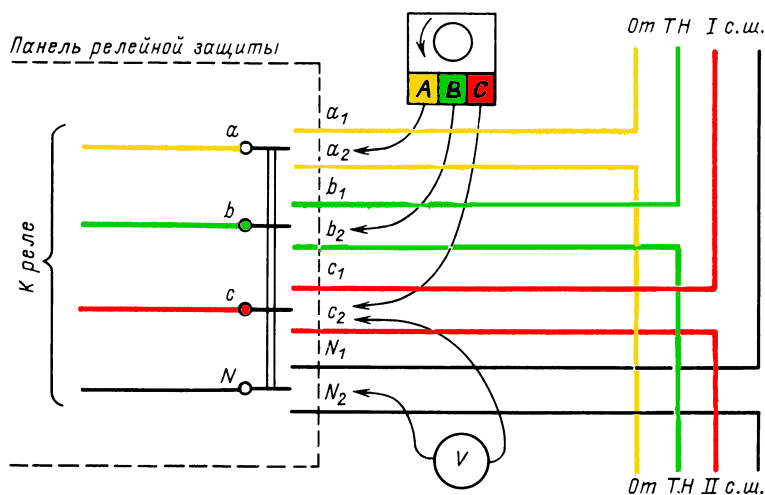


Рис. 42. Схема включения приборов при фазировке цепей напряжения на панели устройства релейной защиты:

$a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ — вводные зажимы на панели защиты

от нуля, а при измерениях на двух других фазах вольтметр покажет линейное напряжение.

Правильность маркировки вводных зажимов в данном случае устанавливают при помощи фазоуказателя, подключая его к одноименным зажимам на панели ($A - a_1$; $B - b_1$; $C - c_1$, а также $A - a_2$; $B - b_2$; $C - c_2$) и наблюдая за направлением вращения диска. Если при подключении фазоуказателя к вводным зажимам a_1, b_1, c_1 , а затем к зажимам a_2, b_2, c_2 диск будет вращаться в одном и том же направлении, считают, что маркировка вводных зажимов выполнена правильно.

Фазировку трансформаторов напряжения на зажимах переключателя выполняют при помощи вольтметра. Необходимым условием для этого является предварительное соединение между собой нулевых точек или одноименных фаз вторичных обмоток фазуемых трансформаторов напряжения (см. выше).

На подстанциях с двумя системами сборных шин, когда цепи напряжения переключаются вспомогательными контактами шинных разъединителей, фазировку трансформаторов напряжения выполняют на вспомогательных контактах этих разъединителей. Кроме того, при поочередном включении шинных разъединителей на ту или другую систему сборных шин проверяют значения фазных и линейных напряжений на панелях защит и порядки следования фаз напряжений.

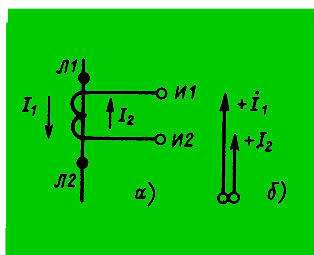


Рис. 43. Обозначения выводов обмоток трансформатора тока (а) и принятые в построениях векторных диаграмм положительные направления векторов тока (б)

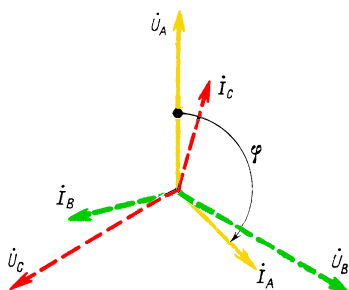


Рис. 44. Векторная диаграмма токов и напряжений первичной цепи

После окончания фазировки цепей напряжения на вводных зажимах и переключателе приступают к проверке подвода отдельных фаз напряжения к реле, расположенных на самой панели защиты. Для этого провод, идущий от одного из зажимов вольтметра, поочередно присоединяют к каждому зажиму напряжения на реле, а другой провод от вольтметра — к каждому полюсу переключателя. При подключении вольтметра к зажимам одноименных фаз его показание будет равно нулю, а при подключении к разноименным фазам или к нулевой точке вольтметр покажет соответственно линейное и фазное напряжение.

Правильность подключения к реле токовых цепей, идущих от трансформаторов тока, определяется "прозвонкой" токопроводящих жил сигнальных кабелей и проводов на панелях защит. При этом проверяют и принимают во внимание обозначения (маркировку) выводов первичных и вторичных обмоток трансформаторов тока, с тем чтобы по этим обозначениям можно было определить направление вторичного тока, зная направление первичного.

В СССР принято обозначать начала и концы первичных обмоток трансформаторов тока буквами Л1 и Л2, а начала и концы вторичных — И1 и И2 (рис. 43). Соединение вторичных обмоток трансформаторов тока в заданные схемы выполняется также с учетом их обозначений.

Окончательная проверка правильности подключения к реле на панелях защит цепей тока и напряжения производится после

включения электрической цепи под нагрузку. На это время защита электрической цепи осуществляется специально настроенными временными защитами. Основным методом проверки является метод снятия векторных диаграмм тока и напряжения. Сущность его состоит в следующем. Измеряются значения тока и напряжения одной из фаз первичной цепи, например \dot{I}_A и \dot{U}_A ; измеряются значения и направления активной P_A и реактивной Q_A мощностей (по показаниям щитовых измерительных приборов, включенных в другие цепи тока и напряжения и заведомо проверенных), проходящих по цепи (линии, трансформатору и т. д.). На основании этих измерений строится векторная диаграмма первичной цепи и определяются углы сдвига векторов тока относительно одноименных напряжений. На рис. 44 показана векторная диаграмма токов и напряжений первичной цепи. При ее построении сначала был построен вектор напряжения \dot{U}_A , а затем — по значению и в зависимости от направления активной и реактивной мощности — вектор тока \dot{I}_A . Положительным направлением активной и реактивной мощности считается направление от шин станции или подстанции, отрицательным — к шинам.

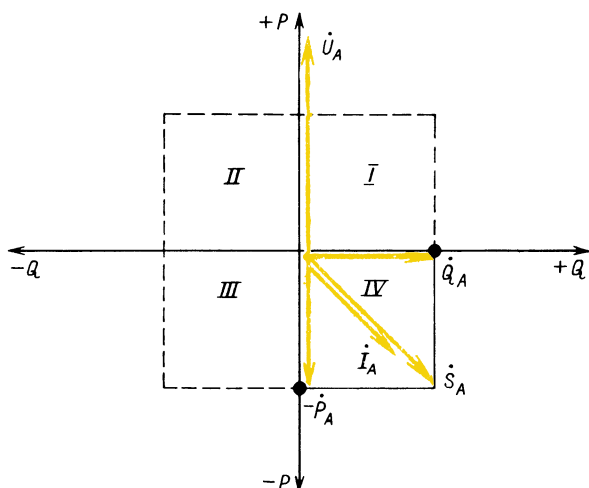


Рис. 45. Положение вектора первичного тока \dot{I}_A на координатной плоскости относительно вектора фазного напряжения \dot{U}_A при различных направлениях активной и реактивной мощности. Принято, что вектор фазного напряжения \dot{U}_A совпадает с положительным направлением активной мощности

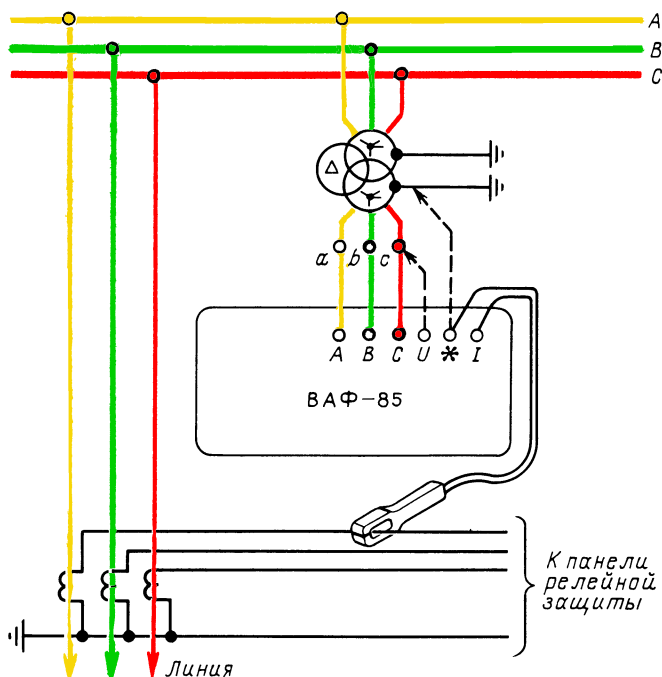


Рис. 46. Схема включения прибора ВАФ-85 для измерений, используемых в построениях векторных диаграмм

На рис. 45 показаны те квадранты координатной плоскости, в которых должен быть расположен вектор полной мощности S , а значит, и тока при различных направлениях активной и реактивной мощности. Так, если активная мощность направлена к шинам $-P$, а реактивная от шин $+Q$, то векторы полной мощности и тока должны быть расположены в IV квадранте.

Затем с помощью прибора ВАФ-85, схема включения которого показана на рис. 46, определяют последовательность фаз подведенных к прибору напряжений; измеряют значения фазных U_a , U_b , U_c и линейных U_{ab} , U_{bc} , U_{ca} напряжений, значения токов в фазах I_a , I_b , I_c и углы сдвига векторов тока φ_a , φ_b , φ_c относительно одного и того же вектора линейного напряжения, например вектора U_{ab} .

После этого строят векторную диаграмму вторичной цепи. На специальном бланке в определенном масштабе наносят вектор U_{ab} и от него под углами 120° и 240° — векторы U_{bc}

и U_{ca} . Строят векторы фазных напряжений, которые отстают от соответствующих векторов линейных напряжений на 30° .

Векторы тока I_a , I_b и I_c строят на диаграмме (относительно вектора U_{ab}) под углами, которые были измерены прибором ВАФ-85. На рис. 47 показана построенная указанным способом векторная диаграмма токов и напряжений вторичной цепи. Из диаграммы видно, что векторы тока сдвинуты относительно векторов одноименных напряжений на один и тот же угол φ . Это говорит о том, что порядки следования фаз напряжений и токов совпадают. Сравнение векторной диаграммы вторичной цепи с векторной диаграммой, построенной для первичной цепи, показывает, что векторы вторичных токов I_a , I_b , I_c расположены в тех же квадрантах и под теми же углами φ относительно векторов вторичных напряжений, что и векторы первичных токов относительно векторов первичных напряжений. Это позволяет сделать вывод о том, что фазы напряжений и токов первичной и вторичной цепей согласованы и что вторичные цепи подведены к реле в устройстве релейной защиты правильно.

Фазировка трансформаторов и линий при двойной системе шин. Этим методом фазируют трансформаторы и линии всех классов напряжения. В РУ, где все системы шин находятся

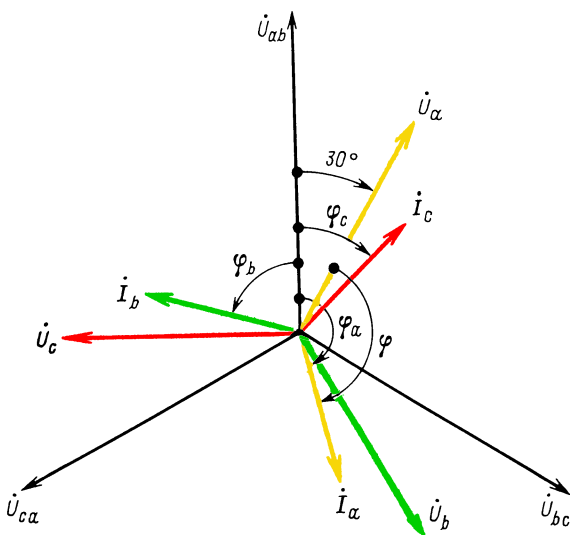


Рис. 47. Векторная диаграмма токов и напряжений вторичной цепи, построенная по данным измерений прибором ВАФ-85

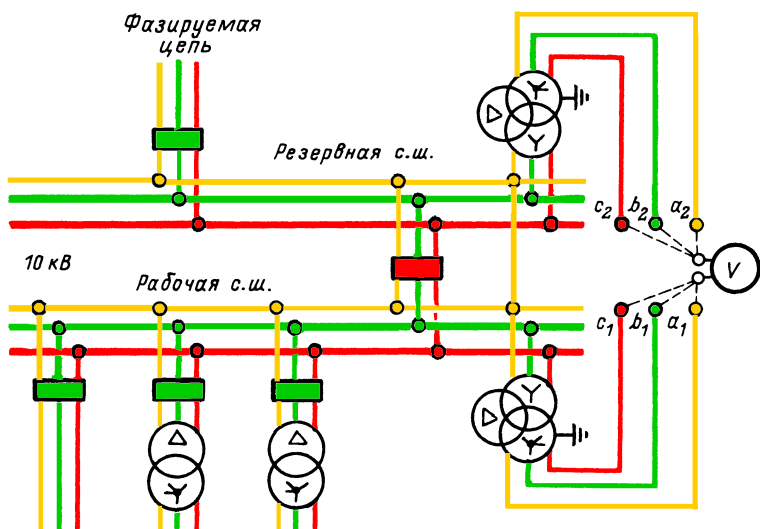


Рис. 48. Схема фазировки косвенным методом на выводах вторичных обмоток трансформаторов напряжения

в работе, для производства фазировки освобождают одну из систем шин, т. е. выводят ее в резерв. При включенном шинно-соединительном выключателе вольтметром проверяют совпадение фаз вторичных напряжений трансформаторов напряжений рабочей и резервной систем шин. Затем отключают шинно-соединительный выключатель и снимают с его привода оперативный ток. На резервную систему шин включают цепь, фазировку которой следует произвести (рис. 48). По фазировочной цепи с противоположного конца подают напряжение и производят фазировку на выводах вторичных цепей трансформаторов напряжения рабочей и резервной систем шин. Для этого вольтметром производят шесть измерений в следующей последовательности: $a_1 - a_2$; $a_1 - b_2$; $a_1 - c_2$; $b_1 - a_2$; $b_1 - b_2$; $b_1 - c_2$. При совпадении фаз a_1 и a_2 , b_1 и b_2 , c_1 и c_2 (нулевые показания вольтметра) фазировку заканчивают и включением шинно-соединительного выключателя, защиты на котором должны находиться в положении "отключение", сфазированную цепь включают на параллельную работу. Если при измерении напряжения между одноименными выводами будут получены не нулевые, а иные результаты, то измерения прекращают, фазировочную цепь отключают и производят пересоединение токоведущих

частей, добиваясь совпадения фаз. После этого фазировку производят заново.

Фазировка трехобмоточных трансформаторов. Фазировку выполняют в два приема. Сначала трансформатор включают под напряжение со стороны ВН и производят фазировку со стороны обмотки НН так же, как фазировку двухобмоточного трансформатора. При совпадении фаз трансформатор со стороны НН отключают, включают на резервную систему шин со стороны СН и производят фазировку на этом напряжении. После получения положительных результатов в обоих случаях фазировки трансформатор считают сфазированным и его включают на параллельную работу тремя обмотками.

Фазировка трансформаторов и линий подъемом напряжения с нуля. Фазировку по этому методу удобно применять в том случае, когда подъем напряжения с нуля производят одновременно и для других целей, например для проверки релейной защиты.

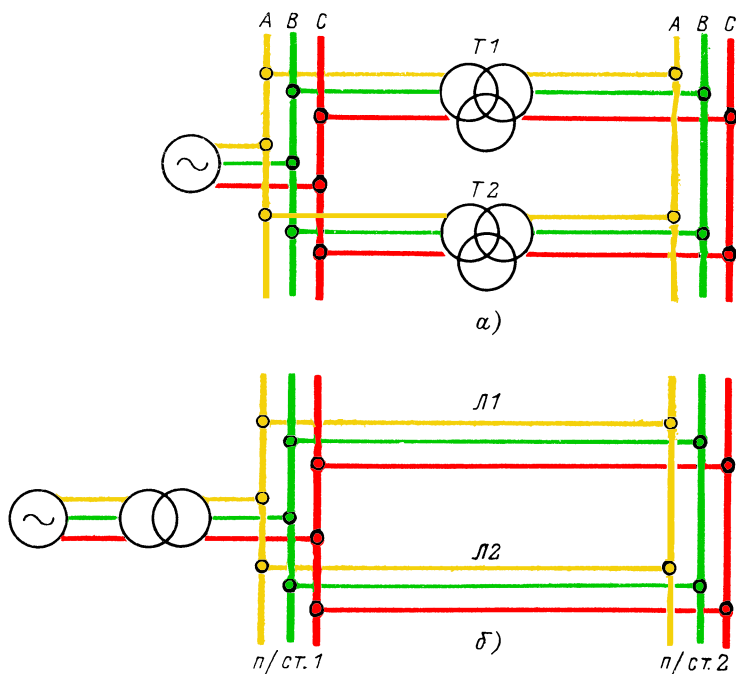


Рис. 49. Схема фазировки подъемом напряжения с нуля двух трансформаторов (а) и двух параллельных линий (б)

Схема фазировки двух трансформаторов представлена на рис. 49, а. Из схемы видно, что фазлируемый трансформатор $T1$ включен параллельно другому, сфазированному уже с сетью трансформатору $T2$. К обмоткам НН обоих трансформаторов подключен генератор. Перед фазировкой убеждаются в том, что фазлируемые трансформаторы имеют одинаковые коэффициенты трансформации (по положению переключающих устройств у ответвлений обмоток), в противном случае результаты фазировки могут быть ошибочными. Для производства фазировки генератор разворачивают до номинальной частоты вращения и медленно (с нуля) поднимают напряжение. При этом ведут наблюдение за амперметрами в цепи статора, по показаниям которых судят о совпадении фаз трансформаторов. Если показания амперметров близки к значению токов холостого хода (ХХ) — фазы трансформаторов совпадают. При несовпадении фаз амперметры покажут значительно больший ток, приближающийся с возрастанием напряжения к току КЗ.

Фазировка линии по этому методу может быть произведена в том случае, если имеется другая, параллельная ей линия (рис. 49, б). Фазлируемые между собой линии включают с каждой из сторон на одни и те же резервные шины подстанций 1 и 2, подключают генератор и поднимают напряжение с нуля. При несовпадении фаз по линиям начнет проходить ток КЗ, что легко обнаружить по показаниям амперметров. Этот метод является единственным методом, который может быть применен при фазировке параллельных кабелей ("пучков" кабелей, идущих от генераторов, трансформаторов и т. д.).

Фазировка генератора. Фазировку генератора нельзя производить методом фазировки трансформаторов и линий. Вектор напряжения генератора вращается относительно вектора напряжения сети с разностью частот генератора и сети, и выравнивать эти частоты на время, необходимое для производства всех операций по фазировке упомянутым методом, практически невозможно. Поэтому при фазировке проверяют и сравнивают лишь порядки следования фаз генератора и сети, а совпадение напряжений по фазе устанавливают каждый раз при включении генератора в сеть в процессе его синхронизации, когда в течение непродолжительного времени удастся получить разность частот вращения, близкую к нулю.

Включаемый в сеть генератор должен иметь тот же порядок следования фаз, что и генераторы системы. Это требование вызвано тем, что включение на параллельную работу генератора, имеющего обратный порядок следования фаз, недопу-

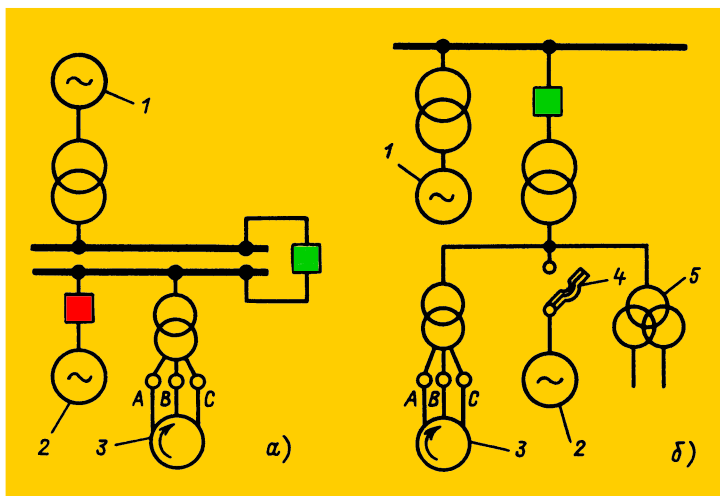


Рис. 50. Принципиальная схема фазировки генератора при включении на сборные шины (а); то же при блочной схеме (б):
1 — генераторы энергосистемы; 2 — фазуемый генератор; 3 — фазоуказатель; 4 — компенсаторы; 5 — трансформатор с. н.

стимо, так как его момент вращения направлен в противоположную сторону относительно момента вращения генераторов системы.

Порядок следования фаз проверяют фазоуказателем И-517 или ФУ-2, который подключают к выводам вторичных цепей шинных трансформаторов напряжения или трансформаторов напряжения, установленных на выводах генератора (при снятых компенсаторах, отключенных разъединителях или разобранный схеме "нуля" генератора). К какой фазе трансформатора напряжения будет подключен тот или другой вывод фазоуказателя, значения не имеет, важно, чтобы фазоуказатель не переключали до конца проверки.

Если генератор по нормальной схеме должен работать на шины станции (рис. 50, а), то для его фазировки освобождают одну из систем шин (или секций). К шинному трансформатору напряжения выделенной системы шин присоединяют фазоуказатель. На шины поочередно подают напряжение сначала от системы включением шиносоединительного выключателя при отключенном выключателе генератора, а потом от возбужденного и вращающегося на холостом ходу генератора при отключенном шиносоединительном выключателе. При подаче напряжения на шины каждый раз замечают направление вращения диска

фазоуказателя. Диск должен вращаться в одну и ту же сторону если порядок следования фаз проверяемого генератора и системы совпадает.

Если генератор предназначен для работы в блоке с трансформатором, его фазировку производят аналогично описанному выше методу, но на шинах ВН, к которым подключают блок. Если же освободить одну из систем шин невозможно или если генератор должен работать в блоке с трансформатором и линией (схема ГТЛ), фазировку выполняют на трансформаторах напряжения, установленных на выводах генератора (рис. 50, б). Для этого необходимо снять компенсаторы 4 (отключить генераторные разъединители, если они имеются в схеме, или разобрать схему "нуля" неподвижного генератора), включить трансформатор блока под напряжение со стороны системы и проверить направление вращения диска фазоуказателя. Затем трансформатор отключить от сети, присоединить снятые шинные компенсаторы (включить генераторные разъединители или собрать схему "нуля"), генератор развернуть до номинальной частоты вращения, возбудить и проверить порядок следования фаз у генератора.

После получения положительных результатов фазировки генератора с сетью проверяют правильность включения синхронизационных устройств, чтобы избежать несинхронного включения из-за неисправности цепей синхронизации. Сначала проверяют, работает ли синхроноскоп вообще. Для этого его подключают на заведомо несинхронное напряжение к зажимам трансформаторов напряжения сборных шин станции и вращающегося на холостом ходу генератора. Изменяя частоту вращения генератора, убеждаются в том, что приросты частоты вращения соответствуют направлению вращения стрелки синхроноскопа. При этом стрелка должна сделать один или несколько полных оборотов. Повороты стрелки на угол менее 360° не могут служить гарантией исправности синхронизационного устройства. Отклонения стрелки могут быть вызваны как неудовлетворительной работой регулирования турбины, так и обрывом цепи напряжения или неисправностью самого синхроноскопа.

Затем работу синхроноскопа проверяют на синхронном напряжении. Для этого генератор включают на резервную систему шин, а синхроноскоп подключают таким образом, чтобы его цепи были присоединены к трансформаторам напряжения резервной системы шин и генератора. Поскольку теперь к синхроноскопу будет подведено синхронное напряжение, его стрелка должна установиться на красной черте, что укажет на совпа-

дение фаз (синфазность) напряжений. Если она установится в любом другом положении, то это значит, что синхронизационное устройство неисправно и пользоваться им при включении генератора недопустимо.

Такую же проверку работы синхронизационного устройства производят и для другой системы шин станции. Ограничиваться фазировкой между собой трансформаторов напряжения резервной и рабочей систем шин в данном случае нельзя, так как ошибка в подключении синхроноскопа может быть допущена непосредственно на его выводах.

При блочном соединении генератора с трансформатором проверяется правильность работы схемы синхронизации на стороне ВН или при отсоединенных компенсаторах и подаче напряжения на генераторные трансформаторы напряжения от сети.

Включение синхронного генератора на параллельную работу способом точной синхронизации производят по показанию синхроноскопа, в правильной работе которого нет сомнений. При совпадении фаз вращающихся векторов напряжений сети и генератора стрелка синхроноскопа должна находиться на красной черте шкалы. Практически абсолютного совпадения частот генератора и сети достичь трудно, однако стремятся так подогнать частоту вращения генератора, чтобы стрелка синхроноскопа вращалась с частотой не более 2–3 об/мин. Чтобы включение генератора произошло точно в момент совпадения фаз, импульс на включение генераторного выключателя подают (автоматически или вручную) в то время, когда стрелка не дошла до красной черты на угол 10–12°. Это опережение учитывает собственное время включения выключателя.

Перед включением в работу блока генератор — трансформатор кроме фазировки генератора с сетью должна производиться фазировка отпаечного трансформатора собственных нужд (с. н.), подключенного к шинному мосту генератора, с источником резервного питания с. н. (резервным трансформатором, шинами с. н. станции). На действующей станции такая фазировка производится при отсоединенном генераторе и питании трансформатора с. н. от системы через трансформатор блока.

Следует иметь в виду, что в процессе такого рода фазировки в ряде схем могут фазироваться непосредственно между собой трансформаторы с разными группами соединений. На рис. 51, а представлена типичная схема блока генератор — трансформатор, где на напряжении 6 кВ должен фазироваться отпаечный трансформатор Т2, имеющий соединение обмоток Д/Д/Д-0-0 с резервным трансформатором с. н. Т3, обмотки которого соеди-

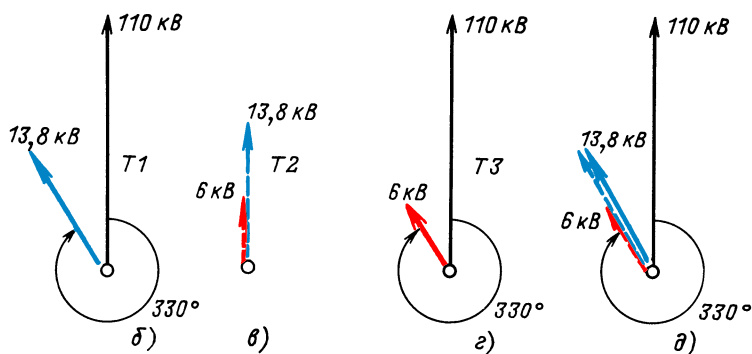
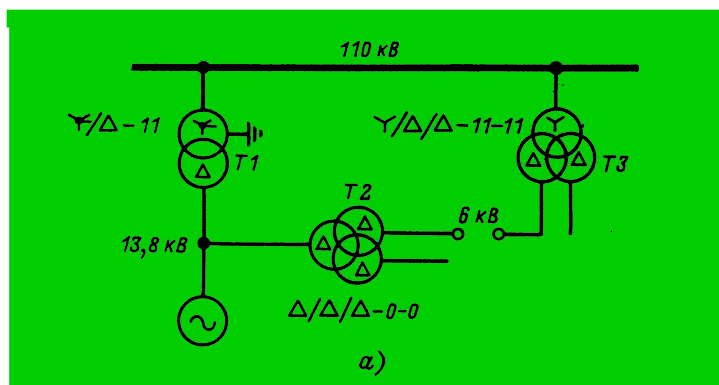


Рис. 51. Проверка углового сдвига напряжений параллельно включаемых трансформаторов с. н.:

а — схема включения трансформаторов с. н. блока генератор — трансформатор; б, в, г — векторные диаграммы сдвига векторов напряжений трансформаторов $T1$, $T2$ и $T3$ соответственно; д — совмещенная векторная диаграмма напряжений трансформаторов $T1$ и $T2$

нены по схеме У/Д/Д-11-11. Условия параллельной работы для такой схемы должны рассматриваться особо. Дело в том, что трансформатор $T3$ включается параллельно не с одним, а с двумя последовательно включенными трансформаторами $T1$ и $T2$ на напряжении 110 и 6 кВ. Ступень генераторного напряжения 13,8 кВ в расчет не принимается. Поэтому углы сдвига фаз векторов напряжений 6 кВ для обеих параллельных цепей следует брать относительно вектора напряжения 110 кВ. И если для трансформатора $T3$ угол сдвига векторов напряжений НН относительно ВН равен 330° (рис. 51, г), то такой же суммарный угол сдвига должны иметь трансформаторы $T1$ и $T2$. Про-

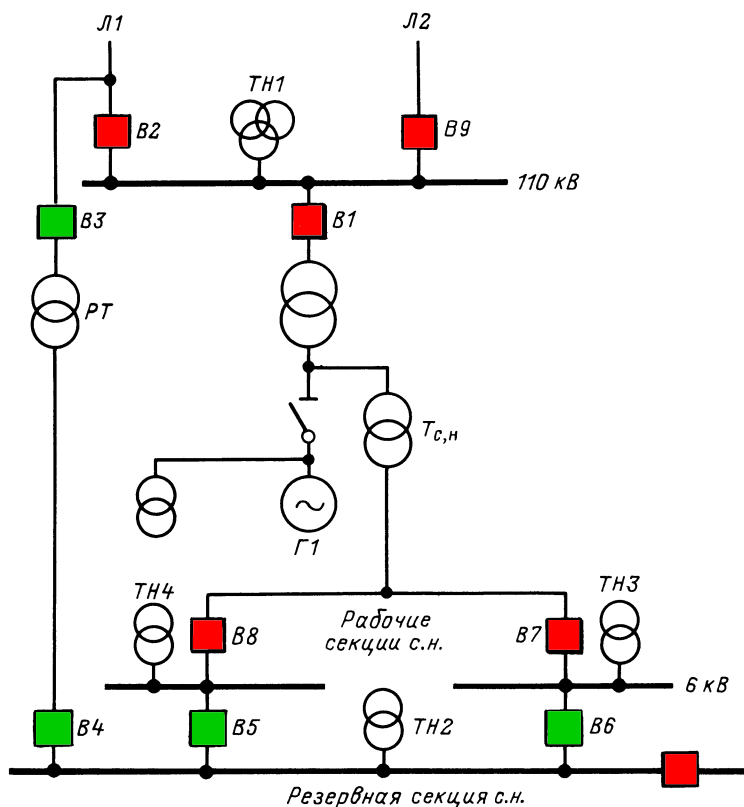


Рис. 52. Схема питания и резервирования собственных нужд тепловой станции блочного типа

верить суммарный угловой сдвиг можно совмещением векторных диаграмм $T1$ (рис. 51, б) и $T2$ (рис. 51, в). Из совмещенной диаграммы (рис. 51, д) видно, что угол сдвига между векторами 6 и 110 кВ также равен 330° , следовательно, параллельное включение трансформаторов $T1$ и $T2$ с трансформатором $T3$ возможно.

Фазировку рабочего и резервного источников питания на шинах РУ собственных нужд обычно разбивают на два этапа: фазировку рабочих и резервных секций шин и фазировку собственно рабочего и резервного источников питания. Порядок операций рассмотрим на примере ввода в работу первого блока генератор — трансформатор строящейся тепловой станции

(рис. 52). На такой станции разворот и включение в сеть вновь смонтированного генератора могут производиться только при питании электродвигателей механизмов с. н. (механизмов пылеприготовления, дымососов, вентиляторов, маслонасосов турбин и других насосов) от резервного трансформатора, подключенного непосредственно к сети энергосистемы (к сборным шинам ВН или к вводу одной из линий). Включение электродвигателей под напряжение для опробования и обкатки механизмов производится лишь после проверки маркировки выводов вторичных обмоток шинных трансформаторов напряжения и фазировки между собой резервных и рабочих шин РУ собственных нужд.

Напряжение для фазировки подают на резервную секцию шин от трансформатора *РТ* включением его выключателей *В3* и *В4*. Затем включают выключатели *В5* и *В6* и фазировку рабочие секции с резервной косвенным методом на выводах вторичных обмоток трансформаторов напряжения *ТН2-ТН3* и *ТН2-ТН4*. В случае совпадения фаз фазировку секций шин РУ с. н. считают законченной.

Для фазировки рабочего трансформатора $T_{с,н}$ и резервного *РТ* генератор должен быть выведен из схемы (отключены генераторные разъединители или сняты компенсаторы). К началу фазировки с рабочих секций снимают напряжение отключением выключателей *В5* и *В6* и с приводов этих выключателей снимают оперативный ток, чтобы исключить случайное включение (в КРУ тележки выключателей перемещают в контрольное положение). Включением выключателей *В2* и *В1* на трансформатор $T_{с,н}$ подают напряжение от энергосистемы. Затем включают выключатели *В7* и *В8* и производят фазировку трансформаторов $T_{с,н}$ и *РТ* на выводах вторичных обмоток трансформаторов напряжения *ТН2* и *ТН3*, *ТН2* и *ТН4*, совпадение фаз которых уже было проверено. Если фазы напряжений совпадут, на приводы выключателей *В5* и *В6* подают оперативный ток и включают их, тем самым включая трансформаторы $T_{с,н}$ и *РТ* на параллельную работу.

Для подготовки генератора к включению в сеть отключают выключатели *В7*, *В8* и *В1*. В процессе пуска генератора питание двигателей механизмов с. н. производят от резервного трансформатора *РТ* и только после включения генератора с. н. станции переводят на питание от рабочего трансформатора $T_{с,н}$, оставляя резервный трансформатор под АВР.

В заключение напомним, что при создании тех или иных схем фазировки необходимо соблюдать правила оперативных

переключений, в частности должны приниматься меры против ошибочного включения генератора в сеть без его синхронизации, даже если последовательности фаз совпадают. Достаточной гарантией в этом отношении является снятие оперативного тока с привода выключателя, отделяющего генератор от сети или от других работающих генераторов.

7. НЕСОВПАДЕНИЕ ЧЕРЕДОВАНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ ФАЗ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК ПРИ ИХ ФАЗИРОВКЕ

В начале брошюры отмечалось, что фазировкой устанавливается совпадение:

порядков следования фаз фазлируемых между собой электроустановок;

векторов одноименных напряжений по фазе (отсутствие между ними углового сдвига);

порядков чередования фаз на вводах коммутационного аппарата, включением которого электроустановки должны будут включаться на параллельную работу;

обозначений фаз (их расцветки).

Выполнение перечисленных условий является обязательным при включении электроустановок на параллельную работу.

На практике, однако, не редки случаи, когда фазлируемые электроустановки (например, электростанция по отношению к энергосистеме или одна энергосистема по отношению к другой) имеют различные порядки следования фаз или при одном и том же порядке следования фаз векторы их одноименных напряжений смещены по фазе на 120° или 240° . Нет необходимости называть причины таких несоответствий. Так уж сложилось исторически, и с этим приходится считаться при фазировке.

Возникает однако вопрос: как осуществляется в подобных случаях фазировка и соблюдаются ли при этом условия совпадения фаз?

Рассмотрим это на примере. Допустим, что необходимо провести фазировку и включить на параллельную работу две электроустановки, в одной из которых прямой, а в другой обратный порядок следования фаз. Соединяющим их элементом является линия электропередачи. Известно, что для включения двух электроустановок на параллельную работу совершенно необходимо, чтобы одна из них по отношению к другой имела один и тот же порядок следования фаз. Только в этом случае возможна их синхронизация.

Для того чтобы порядки следования фаз электроустановок

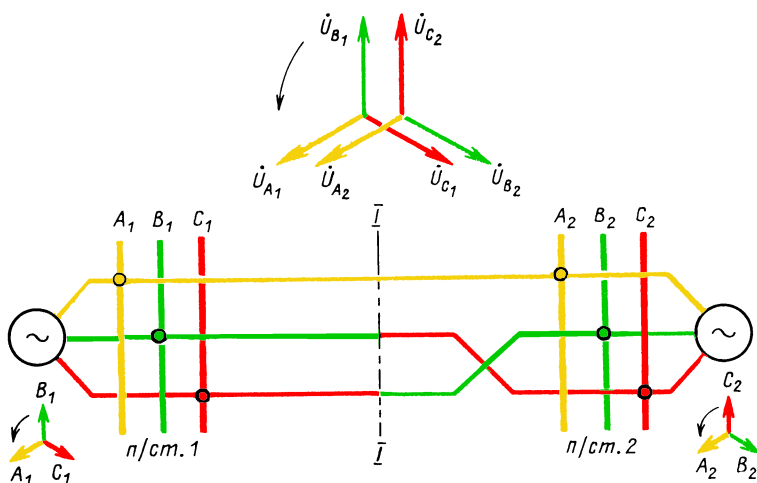


Рис. 53. Изменение порядка чередования фаз на линии при включении на параллельную работу двух электроустановок, имеющих прямой и обратный порядок следования фаз

совпали, например обратный порядок следования фаз одной электроустановки по отношению к другой стал прямым, на линии электропередачи изменяют порядок чередования фаз. Практически это осуществляется перемещением на линии проводов фаз на одной из опор, т. е. изменением их чередования в пространстве.

Таким образом, изменением порядка чередования фаз на линии изменяется порядок следования фаз одной электроустановки относительно другой, хотя абсолютные порядки следования фаз электроустановок остаются прежними (прямым и обратным). В этом проявляется взаимозависимость понятий порядка следования и чередования фаз.

На рис. 53 показана эта взаимозависимость и приведена совмещенная векторная диаграмма напряжений обоих порядков следования фаз. Из диаграммы видно, что векторы напряжений \dot{U}_{A1} и \dot{U}_{A2} совпадают по фазе и что никаких перемещений провода фазы A производить не требуется, а вот провода фаз B и C необходимо поменять местами.

После перемещения проводов на линии электроустановки можно фазировать и синхронизировать на параллельную работу. Однако тут же заметим, что обозначения фаз и их расцветка в каждом сечении линии (штрихпунктирная линия $I-I$ на

рис. 53) и на зажимах коммутационного аппарата не будут совпадать и изменить их никак нельзя. Об этих особенностях линии связи, соединяющей электроустановки, должен знать обслуживающий их персонал, чтобы избежать ошибок при эксплуатации и ремонте.

Аналогичным образом поступают и при фазировке электроустановок, работающих со смещением векторов одноименных напряжений на 120° или 240° . Необходимое изменение порядка чередования фаз на линии устанавливают при этом путем построения и совмещения векторных диаграмм напряжений обеих установок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каминский Е. А. Звезда, треугольник, зигзаг. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 104 с.
2. Мусаэлян Э. С. Наладка и испытание электрооборудования электростанций и подстанций. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Энергия, 1979. — 464 с.
3. Поляков В. С. Фазировка на напряжение 35–110 кВ. — Электрические станции, 1976, № 6, с. 76–77.
4. Фридкин И. А., Смирнов Л. П. Введение фиксированного порядка расцветки жил и маркировка концов силового кабеля. — Энергетик, 1972, № 6, с. 14–16.
5. Фридкин И. А., Смирнов Л. П. Расцветка жил кабеля, ее назначение и рекомендации по применению. — Энергетик, 1973, № 11, с. 30–33.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
Введение	4
1. Основные понятия и определения	6
2. Приборы и приспособления, употребляемые при фазировке	20
3. Методы фазировки	29
4. Предварительная фазировка (проверка чередования фаз)	30
5. Прямые методы фазировки	39
6. Косвенные методы фазировки	55
7. Несовпадение чередований и обозначений фаз электроустановок при их фазировке	71
Список литературы	3-я стр. обл.

25к.