

КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН БИЛИМ БЕРҮҮ ЖАНА ИЛИМ МИНИСТРЛИГИ
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Кара-Балта шаарындагы И. Раззаков атындагы Кыргыз мамлекеттик техникалык
университетинин филиалы

Филиал Кыргызского государственного Технического университета
им. И. Раззакова в г. Кара-Балта

КҮНДӨЛҮК
ДНЕВНИК

практика боюнча

по практике Предквалификационной
студент Фисалда ЖТТУ им. И. Раззакова г. Кара-Балта
(Аты жөнү)
студента (ки) Бемосу Денесе Бакиевыч
(Ф.И.О.) электротехника
тобу _____ багыты (направление) и электротехника
кесиби (специальность)
Фисалда ЖТТУ им. И. Раззакова в г. Кара-Балта
факультети, институту (наименование факультета, института)

Практиканы өтүүчү жайы _____
Мекеменин аталышы (наименование предприятия, организации)

Практиканын календарлык мөөнөтү
Календарные сроки практики

Окуу планы боюнча башталышы " _____ " аягы " _____ "
(По учебному плану начало) " 27. 01. 2021 " конец " 29. 02. 2021 "

Практикага келген мөөнөтү " _____ " _____ 20 _____ ж.
Дата прибытия на практику " 27 " января 20 20 г.

Практиканы аяктаган мөөнөтү " _____ " _____ 20 _____ ж.
Дата выезда с места практики " 29 " февраль 20 20 г.

Филиалда бекитилген жетекчи
Руководитель от филиала

Минбар _____ даража, кызматы _____
Кафедра ТИИТ Звание, должность преподаватель
Аты жөнү _____
Фамилия Аликулов Имя Азгоруш
Отчество Исмаилович
Кара-Балта ш.
г. Кара-Балта



Кафедра башчысы
Зав. кафедрой Бурганова
« 27 » 10 ж. 2020 г.

Практикага тапшырма:
Задание на практику:

1. Адистик боюнча дөөктүрөөнө

2. Эндүрүштүк маркетинг жана экономика боюнча
По экономиксе и маркетингу произволства

3. Эмгекти коргоо боюнча
По охране труда Эмгекчи берүүлөөнөсү
и охраны труда.

4. Жеке тапшырма
Индивидуальное задание согласно задания
на ВНР работы

Практиканы өтүү үчүн
Кубөлүк
Удостоверение
на прохождение практики

Студенти Боевбеке А.В.
Студент(ка) Фиевбеке Ж.Т.Учуев. И.Давраманова В.С.Кара-
(факультет, институт) Бамба.

Багыты _____
Направление дөөктүрөөнөсү и дөөктүрөөнөсү

Адистиги _____
Специальность дөөктүрөөнөсү

Топтор _____
Группы 99-4-16

Иш сапары _____
Командирлугу в _____
Ишкана, шаар

Практиканы өтүү үчүн _____
Для прохождения предварительная практика

Мөөнөтү « 27 » 10 ж. 2020 ж. « 29 » 10 ж. 2020 ж.
Буйрук № _____ от _____

Приказ № 4/1 от 24.10.2020г.

П.О. _____ ОИ боюнча жетектөөчү адис
М.П. _____ Ведущий специалист по учебной работе

Практиканы өтүү
ГРАФИГИ

Жуманын № недели	Мөөнөтү Сроки	Аткарылган иштердин жана цехтин, участоктун кыскача мүнөздөө Цех, участок и краткая характеристика выполненных работ
1.	27.01.2021. по 31.01.2021.	Иштерди аткаруу үчүн
2.	01.02.2021. по 04.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн
3.	06.02.2021. по 11.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн
4.	13.02.2021. по 17.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн
5.	20.02.2021. по 24.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн
6.	27.02.2021. по 29.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн

Практиканын жетекчилеринин колу:
Подписи руководителей практики от:

Филиалдан _____ колу

Филиал Брел. Араггүчев Б.Э.
(ф.и.о., должность, подпись)

Ишканалардан _____ колу

Предприятия Бадмаев Т.В.
(ф.и.о., должность, подпись)



Жумалык аткарылган иштердин жазылышы
жана жетекчинин пикири
Еженедельная запись

Фактически выполненной работы и отзыв руководителя

Жума Неделя	Мөөнөтү Сроки	Практиканын мазмуну Содержание практики	Жетекчинин коруктуңдусу
1.	27.01.2021.	Брел. Араггүчев	Брел. Араггүчев
	31.01.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн	Брел. Араггүчев
2.	01.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн	Брел. Араггүчев
	04.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн	Брел. Араггүчев
3.	06.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн	Брел. Араггүчев
	17.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн	Брел. Араггүчев
4.	19.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн	Брел. Араггүчев
	17.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн	Брел. Араггүчев
5.	20.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн	Брел. Араггүчев
	24.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн	Брел. Араггүчев
6.	27.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн	Брел. Араггүчев
	29.02.2021.	Т.В. Бадмаевдин иштерин аткаруу үчүн	Брел. Араггүчев

ПРАКТИКАНЫН ЖАЛПЫ СУРООЛОРУ
ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ПРАКТИКИ

Маданий-массалык жана коомдук саясий, экскурсияларга катышуу
(Участье в экскурсиях, общественно-политической и культурно-массовой работе)

Студенттин коомдук саясий жана маданий массалык иштерге катышуусуна
ишкананын берген корутундусу
(Заключение предприятия об участии студента (ки) в общественно-политических и культурно-массовых мероприятиях)

Учуремизге работага в керектеде,
цеелестерседейликте дискурслер
нереветнай, персоналдыктерсеветнай.

Ишкананын окулу _____
Представитель предприятия, (кызматы, колу)(должность, подпись)
организации _____

Практиканы өтүү туралуу
Корутундук

Заключение о прохождении практики

Студент _____
показал себя с положительной
стороны. Делает работу на высшем уровне
качества. Сбор документов и текущий
ремонт. Освоил работу по освоению
трассы от деревьев засаена
объект работ одобрен в кабин-
кетеа, во время проведения
практики нарушен трудом
дисциплина не была. Работа была
выполнена без нарушения правил
техники безопасности.

Филиалда тарабынан практиканын жетекчиси
(Руководитель практики от филиала) _____

Өндүрүштөн _____
(Производства) _____

Кафедрада практиканын өтүшүнүн жыйынтыгы каралган
(Отчет рассмотрен на кафедре)

“ _____ ” _____ 20 _____ ж.

Баасы _____
(Оценка)

Комиссия: _____

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

ФИЛИАЛ КЫРГЫЗСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. И. РАЗЗАКОВА
В Г. КАРА-БАЛТА

Кафедра «Техники и информационных технологий»

Отчет по

_____ практике

Студента гр. Бердосов Денис Васильевич. 79-1-16

Сроки прохождения практики 27.01.2020г. по 29.02.2020г.

Организация (фирма, предприятие) Центр семейной
медицина Майского района

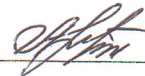
Руководитель практики от университета Ахемценов А.Э.

Руководитель практики от организации Боднаевна Д.

Оценка при защите отчета _____



Замечания к отчету нет смысла
методика 202









ВВЕДЕНИЕ

Опыт эксплуатации электрических сетей показывает, что из числа повреждений изоляций линий и оборудования главное место занимают повреждение изоляции одной фазы относительно земли. В сетях с глухозаземленной нейтралью эти повреждения приводят к обременительным для эксплуатации отключениям. В связи с этим установлена, что сети 3—60 кВ должны работать с изолированной либо компенсированной нейтралью в зависимости от величины емкостного тока замыкания на землю. Однако и для сетей 110 кВ может возникнуть необходимость перехода на режим работы с компенсированной нейтралью если электромагнитное влияние токов однофазного короткого замыкания наносит значительный ущерб ответственным линиям связи или автоблокировочным цепям железных дорог или же когда из-за высоких удельных сопротивлений грунта не может быть обеспечена четкая и селективная работа релейной защиты.

Вопросы выбора, установки и эксплуатации дугогасящих аппаратов не сложны, однако из-за отсутствия достаточных руководящих материалов в этой области ошибки, допускаемые в эксплуатации, часто приводят к опасным смещениям нейтрали, колебанием напряжения на нейтрали и всякого рода мнимым замыканиям на землю, развивающимся в аварии.

Эксплуатацией воздушных и кабельных сетей, работающих с компенсированными нейтралью неоднократно отмечались случаи одновременного повреждения изоляции линии и оборудования в различных точках сети, массовое срабатывание трубчатых разрядников, разрушение вентильных разрядников при дуговых замыканиях на землю или обрывах проводов, обуславливающих появление значительной несимметрии емкостей фаз сети относительно земли.

Между тем эксплуатация дугогасящих аппаратов, заключающаяся в постоянном контроле за работой, своевременным и правильным выборе настроек в зависимости от изменения конфигурации сети, должна обеспечивать:

Быструю ликвидацию повреждения на землю, предотвращая тем самым продолжительное воздействие дуговых перенапряжений на изоляцию сети;

Продолжительную работу сети с замыканием на землю, позволяющая отыскивать и выделять поврежденный участок без снижения нагрузки и потери потребителей.

ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ СЕТЕЙ И СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ПАРАМЕТРАМИ РЕЖИМА

Особенностью сетей, работающих с нейтралью, замкнутой через настроенную индуктивность (компенсированные сети), является значительное влияние параметров сети и дугогасящих аппаратов на напряжения фаз относительно земли при нормальном состоянии и токи через место повреждения при замыканиях а землю.

Этими параметрами являются:
емкости фаз относительно земли;
индуктивности аппаратов,
предназначенных для создания индуктивного тока через места повреждений при возникновении замыканий на землю;

активные проводимости утечек сети и активные потери дугогасящих аппаратов.

На Рис. 1,1 приведена трехфазная схема замещения компенсированной сети, которая при отключенной дугогасящей катушке представляет собой сеть, работающую с изолированной нейтралью.

В этой схеме:

C_1, C_2 и C_3 — емкости фаз относительно земли;

L_k — индуктивность дугогасящей катушки;

r_1, r_2, r_3 — сопротивления утечек фаз линейной и подстанционной изоляции;

r_0 — активное сопротивление, определяющее активную составляющую тока компенсации, обусловленную активными потерями в дугогасящей катушке;

U_1, U_2 и U_3 — фазовые напряжения сети;

U_0 — напряжение на нейтрали;

I_1, I_2, I_3 и I_0 — емкостные токи в фазах и ток нулевой последовательности в земле.

Для выяснения основных соотношений между напряжениями и токами и их зависимостей от основных параметров целесообразно рассмотреть работу сети, когда замыкание на землю отсутствует, а также работу сети при замыкании на землю.

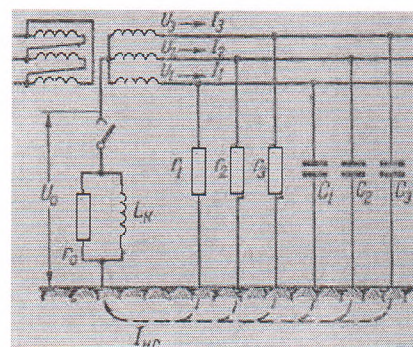


Рис. 1,1. Схема замещения компенсированной сети.

1,1. Сеть с изолированной нейтралью при отсутствии замыкания на землю

Работа сети с изолированной нейтралью характеризуется наличием на нейтрали некоторого напряжения относительно земли, называемого напряжением несимметрии УНС. Это напряжение возникает главным образом вследствие неравенства величин емкостей фаз относительно земли из-за несимметричного расположения проводов над землей. При одинаковых фазовых напряжениях и проводимостях утечек сети напряжение несимметрии определяется суммарным емкостным током и полной проводимостью относительно земли.

$$\begin{aligned} U_{\text{НС}} &= U_{\Phi} \frac{j\omega C_1 + a^2 j\omega C_2 + a j\omega C_3}{j\omega(C_1 + C_2 + C_3) + \frac{3}{r}} \\ &= U_{\Phi} \frac{C_1 + a^2 j\omega C_2 + a C_3}{(C_1 + C_2 + C_3)} \times \frac{1}{1 - j \frac{3}{r\omega(C_1 + C_2 + C_3)}} \\ &= U_{\Phi} \cdot u_0 \frac{1}{1 - jd} \end{aligned}$$

В этом выражении, как и в дальнейшем, принимается чередование векторов напряжений по направлению вращения часовой стрелки; положительный отсчет углов — против направления вращения часовой стрелки.

U_{Φ} — абсолютная величина нормального фазового напряжения.

Единичные векторы

$$1: a = -\frac{1}{2} + j \frac{\sqrt{3}}{2} \text{ и } a^2 = -\frac{1}{2} - j \frac{\sqrt{3}}{2}$$

определяют сдвиг на 120° между фазовыми напряжениями U_1 , U_2 и U_3 , т. е. $U_1 = U_{\Phi}$; $U_2 = a^2 U_{\Phi}$ и $U_3 = a U_{\Phi}$

и 0 — степень несимметрии сети, обусловленная неравенством емкостей фаз относительно земли;

d — коэффициент успокоения сети, обусловленный соотношением между активной и емкостной проводимостями.

Кратко проанализируем основные параметры, к которым относятся степень несимметрии и коэффициент успокоения.

А. Степенью несимметрии сети называется отношение напряжения несимметрии сети к нормальному фазовому напряжению либо отношение тока несимметрии $I_{\text{НС}}$ к полному емкостному току.

Ничтожным влиянием коэффициента успокоения при этом пренебрегаем.

Степень несимметрии указывается: а) в процентах

$$u_0 = \frac{u_{\text{нс}}}{u_{\phi}} \cdot 100 = \frac{I_{\text{нс}}}{I_C} 100 = \left[\frac{C_1 + a^2 C_2 + a C_3}{C_1 + C_2 + C_3} \right] \cdot 100[\%]$$

(ток несимметрии может протекать в том случае, если нейтраль сети имеет глухое заземление; он обуславливается напряжением несимметрии сети и полной емкостной проводимостью фаз относительно земли);

б) в относительных единицах

$$u_0 = \frac{1 + a^2 m_2 + a m_3}{1 + m_2 + m_3} = \frac{a^2 \Delta C_2 + a \Delta C_3}{3C_1 + \Delta C_2 + \Delta C_3} \quad (1,3)$$

Где $m_2 = \frac{C_2}{C_1}$ и $m_3 = \frac{C_3}{C_1}$

—отношения емкостей соответствующих 1 фаз к наибольшей емкости C_1 принятой за единицу.

Коэффициенты m всегда положительны; они равны или меньше единицы. Абсолютные величины уменьшения емкости соответствующей фазы

$$\Delta C_2 = C_2 - C_1 \quad \Delta C_3 = C_3 - C_1$$

отнесенные к принятой за единицу емкости C_1 будут:

$$\frac{\Delta C_2}{C_1} = \frac{C_2 - C_1}{C_1} = m_2 - 1 \quad \text{и} \quad \frac{\Delta C_3}{C_1} = \frac{C_3 - C_1}{C_1} = m_3 - 1$$

ΔC_2 и ΔC_3 — всегда отрицательны.

По абсолютной величине они равны или меньше единицы (m и ΔC — соответственно относительное и абсолютное уменьшения емкости фазы).

Если несимметрия сети обуславливается уменьшенной емкостью одной фазы, то степень несимметрии будет:

$$u_{01} = \frac{m - 1}{m + 2} a^2$$

Если же несимметрия возникает вследствие одинакового уменьшения емкостей двух фаз, то степень несимметрии

$$u_{02} = \frac{m - 1}{m + 2} 1$$

Если, например, нетранспонированная линия 35 кВ построена на П-образных опорах с горизонтальным расположением проводов, то при расстоянии между проводами 3 м емкости крайних проводов относительно земли будут на 10% больше емко

$$u_{01} = \frac{m_2 - 1}{m_2 + 2} a^2 = -\frac{0.1}{2.9} a^2 \approx 0.035 a^2$$

Следовательно, величина напряжения несимметрии составляет около 0.7 кВ.

Как показали многочисленные расчеты и измерения в эксплуатируемых воздушных сетях, степень несимметрии следовательно, и напряжение несимметрии не выходят из пределов 0,5 + 1,5%. Величины, превышающие 1%, обычно имеют место! при делениях воздушных сетей на части, транспозиции линии которых выполнены на шинах подстанций. Степень несимметрии кабельных линий равна нулю, так как I жилы фаз расположены симметрично относительно оболочки. Степень несимметрии является векторной величиной, определяющей фазовое положение напряжения несимметрии в треугольнике линейных напряжений.

Построение диаграммы осуществляется следующим образом.

Половины сторон треугольника линейных напряжений I a a²- прилегающие к фазовому напряжению 1, которые действует на емкость C₁, делятся в соотношениях

Построение диаграммы осуществляется следующим образом.

Половины сторон треугольника линейных напряжений I a a², прилегающие к фазовому напряжению 1, которые действует на емкость C₁, делятся в соотношениях

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{C_2}{C_1} = m_2 \text{ и } \frac{U_1}{U_3} = \frac{C_3}{C_1} = m_3$$

где U₁ U₂ и U₃ отрезки сторон 1 a и 1a² треугольника, измеряемые соответственно от вершин 1,a² и a.

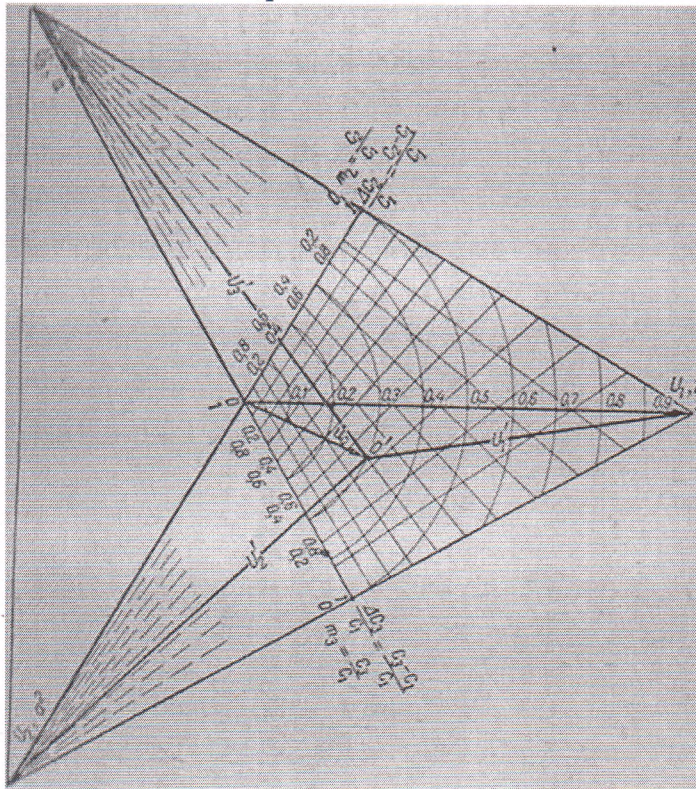


Рис. 1,2 Диаграмма для определения степени несимметрии |u₀|. (с, — наибольшая емкость, принятая за единицу) - АС₀ и ДС, — уменьшения емкостей фаз; т₂ и т, (- относительные уменьшения емкостей фаз

Предполагая отключенной емкость C₃, будем иметь:

$$U_1 + U_2 = U_{12} \text{ и } U_2 = U_1 \frac{1}{m_2}$$

откуда

$$U_1 \frac{U_{12} \cdot m_3}{1 + m_2}$$

же, предполагая, что емкость C_2 отключена получим линейное напряжение U_{13} распределенным по емкостям C_2 и C_3 . В этом случае

$$U_1 + U_3 = U_{13}; U_3 = U_1 \frac{1}{m_3}$$

$$\text{и } U_1 = \frac{U_{13} \cdot m_3}{1 + m_3}$$

Далее деление отрезка $1a$ производится тем же порядком что и отрезка $1a_2$.

Точки пересечения прямых, проведенных из вершин a и a_2 , являются концами векторов $и0$, которые в масштабе фазовых напряжений представляют собой напряжения при различных соотношениях емкостей фаз Γ'

Двухфазные отключения (равноценные подключению одной фазы) приводят к изменению степени несимметрии от 0 до +1 и напряжению несимметрии от 0 до U_{ϕ} .

Как видно из диаграммы, при однофазных отключениях нулевая точка сети перемещается в направлении, противоположном фазовому напряжению. Пределом перемещения является точка пересечения отрицательного направления соответствующего фазового напряжения с противолежащим линейным напряжением.

При двухфазных отключениях (с равными m) нулевая точка сети перемещается вдоль напряжения фазы, емкость которой не изменилась в результате отключения.

Таким образом, в сети, работающей с изолированной нейтралью, под фазные отключения или подключения могут приводить к появлению напряжения на нейтрали (УМС), искажающего напряжения фаз относительно земли.

Эти искажения в эксплуатации отмечаются показаниями вольтметров контроля изоляции и часто принимаются за неполные замыкания на землю. Однако, если характерной особенностью неполного замыкания на землю является уменьшение напряжения поврежденной фазы и — в общем случае — Неодинаковое увеличение напряжений здоровых фаз, то для пофазных отключений, приводящих к несимметрии фазовых напряжений, характерным является следующее:

а) Отключение частично или полностью одной фазы приводит к увеличению напряжения на фазе, емкость которой уменьшилась в результате отключения; например,

$$U_3 - U_{нс} = U_{\phi}(1 - u_0)$$

Предельная величина напряжения этой фазы будет 1,5

Напряжение двух других фаз относительно земли уменьшается одинаково:

$$[U_2] = [U_1] = U_{\phi}\sqrt{1 - u_0} + u_0^2$$

и предельная величина этих напряжений будет:

$$\frac{\sqrt{3}}{2} U_{\phi} = 0.865 U_{\phi}$$

б) Отключения частично или полностью сразу двух фаз (или подключение одной фазы) приводят к одинаковому увеличению напряжений на фазах, емкости которых уменьшились в результате отключения, т. е.

$$[U_2] = [U_3] = U_{\phi}\sqrt{1 + u_0} + u_0^2$$

Предельная величина напряжения этих фаз равна линейному напряжению.

Напряжение относительно земли фазы, емкость которой осталась без изменения, уменьшается до предельной величины, равной нулю (как при полном замыкании на землю).

Б. Коэффициентом успокоения сети является отношение активной проводимости сети к емкостной.

Коэффициент успокоения указывается следующим образом:

а) В процентах

$$d_{\%} = \frac{g_1 + g_2 + g_3}{\omega(C_1 + C_2 + C_3)} \cdot 100[\%]$$

Поскольку проводимости обуславливают соответственно активную и емкостную составляющие тока замыкания на землю, то, помножив числитель и знаменатель на величину фазового напряжения, получим выражение коэффициента успокоения:

$$d_{\%} = \frac{I_r}{I_c} \cdot 100[\%] \quad (1,6)$$

где g_1, g_2, g_3 и $\omega C_1, \omega C_2, \omega C_3$ — активные и емкостные проводимости фаз относительно земли;

I_r и I_c — активная и емкостная составляющие тока замыкания на землю.

$$T_c = \frac{C_1}{g_1} = \frac{C_2}{g_2} = \frac{C_3}{g_3} = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{g_1 + g_2 + g_3}$$

поэтому

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{g_2}{g_1} = m_2 \quad \text{и} \quad \frac{C_3}{C_1} = \frac{g_3}{g_1} = m_3$$

При пофазных отключениях активные и емкостные проводимости уменьшаются в одинаковой степени. Постоянная времени сети остается неизменной, т. е. '

В относительных единицах

$$d = \frac{g_1(1+m_2+m_3)}{\omega C_1(1+m_2+m_3)} = \frac{g_1}{\omega C_1} = \frac{1}{r\omega C_1} = \frac{I_r}{I_c}$$

представляет собой отношение активной составляющей тока замыкания на землю к полному емкостному току.

Из приведенных соотношений следует, что при по фазных отключениях (частичных или полных) коэффициент успокоения сети остается постоянным.

Как показали измерения, коэффициент успокоения воздушных сетей с нормальным состоянием изоляции не выходит из пределов 3, т-5%. Меньшая величина относится к сетям 604-110 кВ, оплывая— к сетям 15-4-35 кВ.

При загрязнении и увлажнениях коэффициент успокоения может увеличиваться до 10%.

Для кабельных сетей коэффициент успокоения обычно не выходит из пределов 24-4%. Однако при наличии в сети кабелей с состарившейся изоляцией коэффициент успокоения может достигать 10%

1.2 Сеть с компенсированной нейтралью при отсутствии замыкания на землю

Подключение к сети дугогасящей катушки приводит к образованию колебательного контура (Рис. 1,1). Этот контур состоит из последовательно соединенных индуктивности дугогасящей катушки LK и суммарной емкости фаз сети относительно земли

$(C_1+C_2+C_3)$.

Элементами, обуславливающими затухание контура, являются:

- а) проводимости утечек $\left(\frac{3}{r}\right)$
- б) активные потери в дугогасящих аппаратах и трансформаторах, к которым они подключены $\left(\frac{1}{r_0}\right)$

Потери в сопротивлениях проводов и активные потери, вызываемые током, протекающим в земле, не оказывают практического влияния и поэтому могут не учитываться.

Напряжением, воздействующим на колебательный контур, является напряжение несимметрии сети УНС, которое обуславливает тем большие напряжения на индуктивности и емкостях, чем ближе настройка контура к резонансу. Напряжение на индуктивности дугогасящей катушки является одновременно напряжением смещения нейтрали U_0 . Это напряжение

обусловливается суммарным током и полной проводимостью относительно земли:

$$U_0 = \frac{U_1 \left(j\omega C_1 + \frac{1}{r_1} \right) + U_2 \left(j\omega C_2 + \frac{1}{r_2} \right) + U_3 \left(j\omega C_3 + \frac{1}{r_3} \right)}{j\omega(C_1 + C_2 + C_3) - j\frac{1}{\omega L_K} + \frac{1}{R}}$$

При симметричных фазовых напряжениях и равенстве проводимостей утечек фаз напряжение смещения нейтрали будет:

$$U_0 = U_\phi \frac{j\omega(C_1 + a^2 C_2 + a C_3)}{j\omega(C_1 + C_2 + C_3) - j\frac{1}{\omega L_K} + \frac{1}{R}}$$

где

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_0} + \frac{3}{r}$$

полная активная проводимость на землю.

Отношение напряжения смещения нейтрали к фазовому напряжению называется степенью смещения Нейтрали, т. е.,

$$U = \frac{U_0}{U_\phi} = \frac{u_0}{\frac{\omega(C_1 + C_2 + C_3) - \frac{1}{\omega L_K}}{\omega(C_1 + C_2 + C_3)} - j\frac{1}{R\omega(C_1 + C_2 + C_3)}}$$

Первый член знаменателя представляет собой отношение полной реактивной проводимости колебательного контура к полной емкостной проводимости фаз, относительно земли является степенью расстройки контура и по отношению резонансному состоянию.

Второй член знаменателя является коэффициенте м успокоения (d) компенсированной сети.

Поэтому степень смещения нейтрали может быть выражение так

$$u = \frac{u_0}{v - jd}$$

Степень расстройки выражается в процентах либо в относительных единицах.

Преобразовывая выражение степени расстройки, получим:

$$v = 1 - \frac{1}{\omega L_K \cdot \omega(C_1 + C_2 + C_3)} = 1 - K$$

где K отношение настроенной индуктивной проводимости дугогасящих аппаратов к емкостной проводимости сети— называется степенью настройки.

Изменение индуктивной проводимости

$$\frac{I}{\omega L_K}$$

при постоянной ёмкостной проводимости $\omega(C_1 + C_2 + C_3)$ может обуславливать три режима компенсированной сети:

а)

$$\frac{I}{\omega L_K} < \omega(C_1 + C_2 + C_3)$$

— степень расстройки ν имеет положительные значения.

Сеть работает с недокомпенсацией. При

$$\frac{I}{\omega L_K}$$

=0 степень

расстройки имеет предельную величину +1, т. е. сеть переходит в режим работы с изолированной нейтралью.

б)

$$\frac{I}{\omega L_K} = \omega(C_1 + C_2 + C_3)$$

— расстройка отсутствует.

К

В сети имеет место резонансная настройка. В этом случае через нейтраль протекает максимальный ток несимметрии, определяющие напряжением несимметрии сети и активными проводимостями.

в) $\frac{I}{\omega L_K} > \omega(C_1 + C_2 + C_3)$ — степень расстройки имеет отрицательные значения.

В этом случае сеть работает с перекомпенсацией. При,

$$\frac{I}{\omega L_K} = \infty$$

степень расстройки имеет предельную величину $-\infty$, т. е. сеть переводится в режим работы с глухо заземленной нейтралью. Через нейтраль будет протекать ток несимметрии с h_i , обусловленный неравенством емкостных проводимостей фаз относительно земли.

Все эти режимы имеют место при изменениях настроек дугогасящих аппаратов, когда конфигурация компенсированной остается неизменной.

Предельный режим недокомпенсации может возникнуть при аварийном отключении трансформатора, к нейтрали которого подключена дугогасящая катушка.

Поскольку компенсирующая мощность установленных в сети дугогасящих аппаратов обычно имеет ограниченную величину, только изменением их настройки достигнуть степени расстройки, приближающейся к $-\infty$, невозможно.

С другой стороны, изменение емкостной проводимости сети; $\omega(C_1 + C_2 + C_3)$ при постоянной индуктивной проводимости.

Также характеризуется тремя режимами компенсированной сети:

а) $\omega(C_1 + C_2 + C_3) < \frac{I}{\omega L_K}$ степень расстройки имеет отрицательные значения. Сеть работает с перекомпенсацией. По мере уменьшения емкостной проводимости сеть переходит к предельной перекомпенсации, которая ограничивается мощностью дугогасящих аппаратов.

б) $\omega(C_1 + C_2 + C_3) = \frac{I}{\omega L_K}$ расстройка отсутствует;

в) $\omega(C_1 + C_2 + C_3) > \frac{I}{\omega L_K}$ степень расстройки имеет положительные значения. Сеть работает с недокомпенсацией. По мере увеличения емкостной проводимости режим сети приближается к режиму работы с изолированной нейтралью.

Целесообразно рассматривать только такие предельные режимы компенсированных сетей, которые практически возможны] при эксплуатации. Например:

а) Отключение половины линий сети в результате выделения части района на раздельную работу; по фазные отключения возникающие из-за обрывов проводов или вследствие по фазных оперативных действий.

В таких случаях емкостная проводимость сети может уменьшаться в 1,5 — 2 раза.

б) Дополнительное подключение линий от другого сетевого района или объединение сетевых районов может привести к увеличению емкостной проводимости в 1,3 — 1,5 раза.

Степени расстройки и настройки K могут быть выражены величинами емкостного тока сети и тока компенсации включенных дугогасящих аппаратов. Для этого числители и знаменатели выражений v и K через проводимости необходимо умножить на фазовое напряжение сети. Получим:

$$u = \frac{I_C - I_K}{I_C} \text{ и } K = \frac{I_K}{I_C}$$

Разность токов представляет собой нескомпенсированный ток, обусловленный результирующей реактивной проводимостью.

Из (1,9) видно, что степени расстройки и настройки в относительных единицах являются отношениями реактивной составляющей тока замыкания на землю и индуктивного тока дугогасящих аппаратов сети к полному емкостному току.

Для компенсированных сетей величина коэффициента успокоения d имеет несколько большие значения, чем для сетей, работающих с изолированной нейтралью, из-за активных потерь дуга гасящих аппаратах (в меди обмоток и стали сердечников),

Исходя из схемы замещения дугогасящего аппарата (Рис. 1,1), сопротивления r_0 , соответствующее потерям, определяют из простого отношения компенсирующей мощности

$$Q_K = I_K U_\Phi$$

В активной мощности потерь

$$P_K = I_r U_K$$

Если потери составляют $p\%$ компенсирующей мощности, то

$$\frac{I_K}{I_r} = \frac{r_0}{\omega L_K} = \frac{100}{p\%}$$

отсюда

$$r_0 = \omega L_K \cdot \frac{100}{p\%}$$

В применяемых дугогасящих аппаратах потери составляют 1,5 и 2% компенсирующей мощности.

Коэффициент успокоения компенсированной сети будет:

$$d = \frac{1}{R_\omega (C_1 + C_2 + C_3)} = \frac{3}{r_\omega (C_1 + C_2 + C_3)} + \frac{1}{r_0 \omega (C_1 + C_2 + C_3)}$$

и так как

$$\frac{1}{r_0} = \frac{p\%}{\omega L_K \cdot 100}$$

то

$$d = d' + pK, \quad (1,10)$$

d' — коэффициент успокоения сети, работающей с изолированной нейтралью.

при резонансной настройке, когда

$$\omega L_K = \frac{1}{\omega (C_1 + C_2 + C_3)}$$

$$d = d' + p$$

поэтому коэффициент успокоения в компенсированной сети 1,5/2% больше коэффициента успокоения сети, работающей с изолированной нейтралью. Он незначительно изменяется с изменением настройки и поэтому его принимают обычно постоянным.

Абсолютные величины степени смещения нейтрали и напряжения смещения нейтрали определяются по формуле (1,8), т. е.

$$u = \frac{u_0}{\sqrt{u^2} + \sqrt{d^2}}$$

$$U_0 = [uU_\Phi] = \frac{U_{\text{НС}}}{\sqrt{u^2 + d^2}}$$

если u , d и v выражены в процентах, то напряжение смещения нейтрали

$$U_0 = \frac{100 \cdot u_{\text{НС}}}{\sqrt{u_{\%}^2 + d_{\%}^2}}$$

где $U_{\text{НС}}$ в киловольтах.

При резонансной настройке сети, когда $u = 0$ ($K=1$), напряжение смещения нейтрали

$$U_0 = \frac{100 \cdot U_{\text{НС}}}{d_{\%}} = \frac{U_{\text{НС}} \cdot I_C}{I_R} \quad (1,12)$$

Если принять $d = 5\%$ (эта величина чаще всего имеет место в эксплуатируемых компенсированных сетях), то смещение нейтрали не может превзойти напряжение несимметрии! более чем в 20 раз. Если же напряжение несимметрии составляет 1 % нормального фазового напряжения, то напряжение! смещения нейтрали при резонансной настройке будет составлять не более 20% фазового напряжения.

На Рис. 1,3 приведена круговая диаграмма степени смещения нейтрали двух сетей, имеющих однофазные

$$\left(u_1 = \frac{u_{01}}{u - jd} \right)$$

двухфазные

$$\left(u_2 = \frac{u_{02}}{u - jd} \right)$$

несимметрии в зависимости от расстройки компенсации.

Линии одной сети имеют горизонтальное расположение проводов. Сеть совершенно не имеет транспозиций. Как указывалось выше, степень несимметрии такой сети равна 3,5% (из диаграмме — окружности A_1 и A_2). Резонансная настройка в этой сети приводит к смещению нейтрали, составляющему 70% нормального фазового напряжения.

Как видно из круговой диаграммы, наибольшее напряжение относительно земли одной из фаз (например, 03) возникает при настройке, отличающейся от резонансной примерно на 1%.¹ В этом случае (например, при перекомпенсации) нейтрал! сети смещается в точку O' . Фазовое напряжение U_3 достигает наибольшей величины, равной 1,68 U_Φ (96,5% нормального линейного напряжения).

Как показали многочисленные измерения, сети со степенью несимметрии 3,5% в эксплуатации не встречаются, и поэтому случай является теоретическим пределом смещения нейтрали.

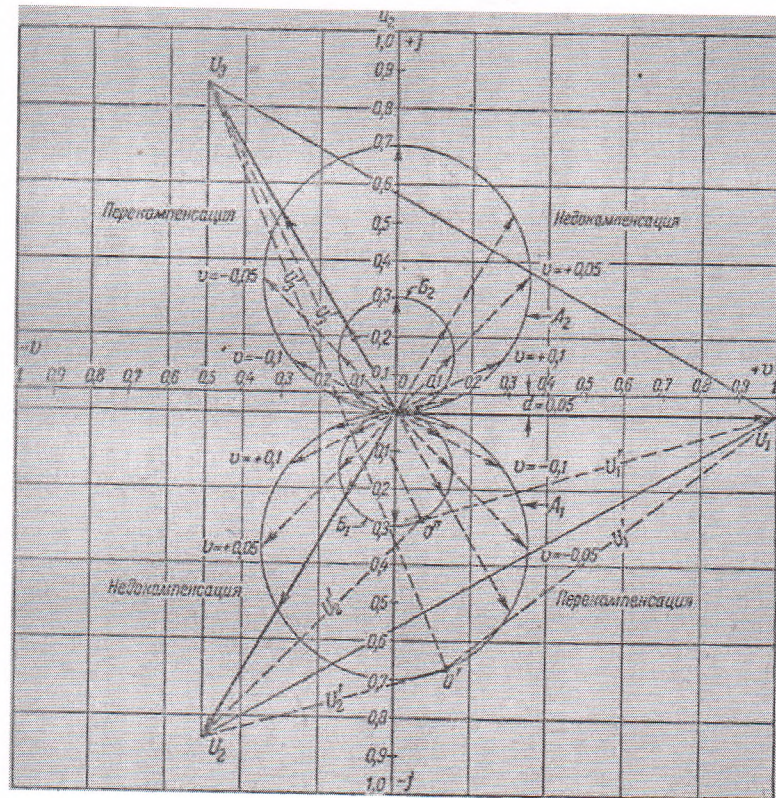


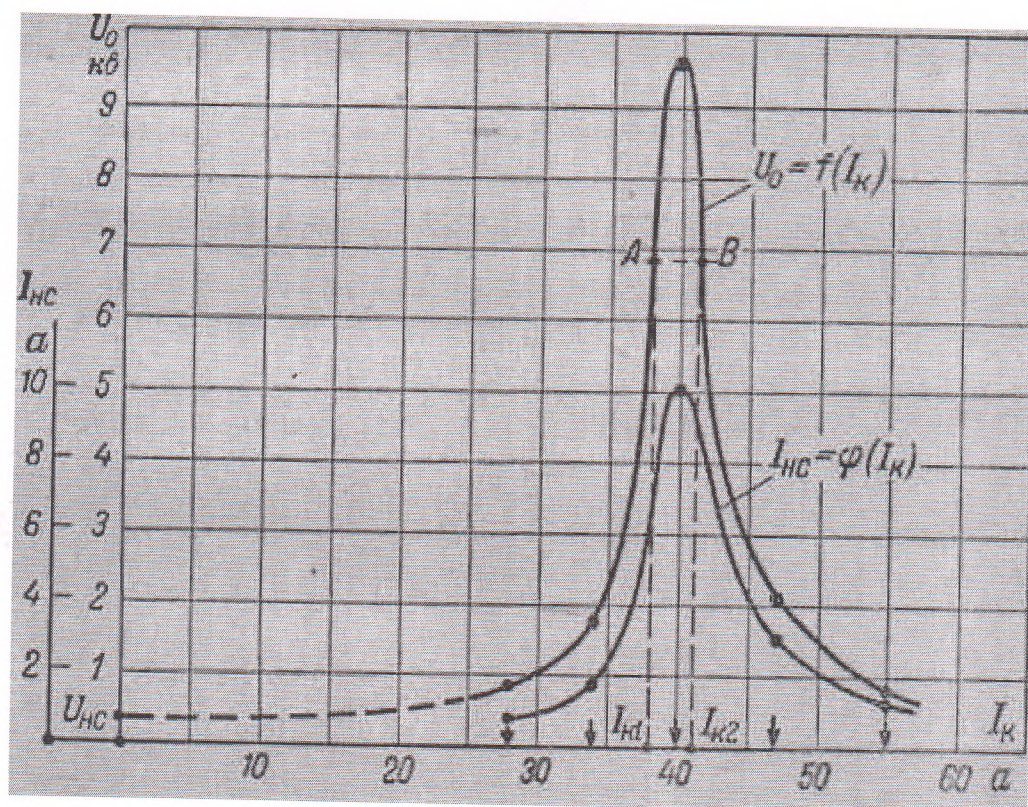
Рис.1.3. Круговая диаграмма степеней смещения нейтрали и, (при однофазной несимметрии «, 1 = - 0,035 и -0,015) и i2 (при двухфазной несимметрии «02 = 0,035 и 0,015) в зависимости от степени расстройки v при d = 0,05. (U и O'' — положения нейтрали, обуславливающие наибольшие напряжения относительно земли фазы 3.

Практический предел степени несимметрии сети равен 1,5% (па диаграмме — окружности B1 и B2). Для этой сети резонансная настройка приводит к смещению нейтрали, составляющему 30% нормального фазового напряжения.

При степени расстройки примерно 1% (например, в сторону перекомпенсации) нейтраль сети смещается в точку O'' и одно из фазовых напряжений (например, U3) достигает наибольшей величины, равной 1,28 Uф (74,3% нормального линейного напряжения). По измеренным Uа и Uнс можно определить коэффициент d, а затем, зная величину емкостного тока, найти активную составляющую тока замыкания на землю:

$$I_R = dI_C = \frac{U_{НС}}{U_0} I_C$$

На Рис. 1,4 приводятся кривые изменения напряжения смещения нейтрали и тока несимметрии в зависимости от на-|стройки дугогасящей катушки. Кривые имеют резонансную



форму. Они построены по опытным данным, полученным при измерениях в действующей компенсированной сети 60 кВ, в которой установлена дугогасящая катушка мощностью 2 003 кВА

Емкостный ток сети равен 40 а.

При резонансной настройке, когда напряжение на индуктивности равно и противоположно напряжению на емкости, действующее напряжение несимметрии $U_{\text{нс}}$ расходуется только на активное падение напряжения, т. е.

$$U_{\text{нс}} = I_{\text{нс}} \cdot R$$

Резонансная кривая смещения нейтрали позволяет, с одной стороны, оценить наибольшую величину напряжения на нейтрали $U_{0\text{н}}$ и полный емкостный ток сети и, с другой стороны, определить активную составляющую тока замыкания на землю, а следовательно, коэффициент успокоения d и степень несимметрии: сети uQ .

Пользуясь свойством резонансной кривой, для определения активной составляющей проводим линию, параллельную оси абсцисс с координатами $\frac{U_{0\text{н}}}{\sqrt{2}}$. Эта линия имеет точки А и В пересечения с резонансной кривой, соответствующие токам компенсации $I_{\text{к1}}$ и $I_{\text{к2}}$

Из выражения смещения нейтрали по (1,7), (1,9) и (1,11)

$$U_0 = \frac{U_{nc}}{\sqrt{\left(\frac{I_R}{I_C}\right)^2 + \left(\frac{I_C - I_K}{I_C}\right)^2}} = \frac{U_{nc} \cdot I_C}{\sqrt{I_R^2 + (I_C - I_K)^2}}$$

$$I_{K1} = I_C - \sqrt{I_C^2 \left(\frac{V \cdot 2U_{nc}}{U_{0н}}\right)^2 - I_R^2}$$

$$I_{K2} = I_C + \sqrt{I_C^2 \left(\frac{V \cdot 2U_{nc}}{U_{0н}}\right)^2 - I_R^2}$$

$$U_{0н} = \frac{U_{nc} \cdot I_C}{I_R}$$

после подстановки этого значения в подкоренное выражения получим;

$$I_{K1} = I_C - I_R, \quad I_{K2} = I_C + I_R$$

и следовательно

$$I_R = \frac{I_{K2} - I_{K1}}{2}$$

из Рис. 1,4 видно;

$$I_R = \frac{41 - 38.2}{2} \approx 1.4a$$

$$d = \frac{1.4}{40} \cdot 100 \approx 3.5\%$$

$$U_{nc} = U_0 \cdot d = 9.6 \cdot 0.035 = 0.336kV$$

$$u_0 = \frac{U_{nc}}{U_{\Phi}} \cdot 100 = \frac{0.336}{36.4} \cdot 100 = 0.92\%$$

Таким образом, построенная по результатам измерений кривая изменения нейтрали зависимости от настройки дугогасящих аппаратов оценить все основные величины, определяющий рациональный выбор настройки в эксплуатации.

1,3. Транспозиции линий

Как оказалось, по мере приближения настройки компенсации в резонансной смещении нейтрали нарастает тем больше, чем большую степень несимметрии имеет сеть и чем меньше в сети активной проводимости на землю.

Поэтому может оказаться, что наиболее выгодная с точки зрения компенсации емкостных токов в месте повреждения резонансная или близкая к резонансной настройка недопустима из-за значительного напряжения смещения нейтрали.

Поскольку нормальные активные проводимости па землю определяются уровнем изоляции, соответствующим рабочему напряжению сети, единственным способом снижения напряжения смещения нейтрали является снижение степени несимметрии сети при помощи транспозиции — выравнивания емкостей фаз относительно земли.

Емкости проводов линии становятся практически одинаковыми в том случае, если длина провода каждой фазы в каждом из трех положений (два крайних и среднее) одинакова. В этом случае $u_0 \approx 0$.

Предельная величина напряжения смещения нейтрали при нормальном состоянии сети и резонансной настройке компенсации равна 15% нормального фазового напряжения (см. § 4,1).

Если принять средний коэффициент успокоения 5%, — то норма степени несимметрии сети будет: $u_0 = u_0\% \cdot d = 15 \cdot 0,05 = 0,75\%$.

При переводе сети в режим работы с компенсированной нейтралью и стремлении получить наиболее полную компенсацию емкостных токов в месте повреждения необходимо установить путем измерений или расчетом степень несимметрии сети и наметить при необходимости места транспозиций линий.

В случае коротких линий без транспозиции (например, линии 35 кВ) транспонирование должно осуществляться на шинах подстанций.

В магистральных сетях, например 60 и ПО кВ, имеющих длинные линии, устанавливаются транспозиционные опоры.

Степени несимметрии линий 35—ПО кВ с горизонтальным расположением проводов и расстоянием между ними 3—4 м практически принимаются равными 3,5%.

Оценка степени несимметрии (помимо непосредственных измерений) может быть произведена по среднему положению проводов фаз.

Например, если сеть имеет произвольные присоединения проводов линий к шинам подстанций (Рис. 1,5), то, пользуясь выражением степени несимметрии для отдельных линий или участка сети, имеем:

$$u_{01} = \frac{(l_1 + l_2 + 0.9l_3 + l_4 + l_5) + a^2(0.9l_1 + l_2 + l_3 + 0.9l_4 + l_5) + a(l_1 + 0.9l_2 + l_3 + l_4 + l_5)}{l_1 + l_2 + 0.9l_3 + l_4 + l_5 + 0.9l_1 + l_2 + l_3 + 0.9l_1 + l_3 + l_1 + 0.9l_2 + l_3 + l_4 + l_5}$$

Учитывая, что полная длина линий

$$l = \sum_1^5 l$$

$$1 - 4 - a^2 - a = 0$$

получим

$$u_{01} = -\frac{0.1}{2.9} \cdot \frac{l_3 + a^2(l_1 + l_4) + a(l_2 + l_5)}{l}$$

Относительные длины проводов фаз 1, 2 и 3 продолжения составляют;
 $n_1 = \frac{l_3}{l}; n_2 = \frac{l_1+l_4}{l}; n_3 = \frac{l_2+l_5}{l}$

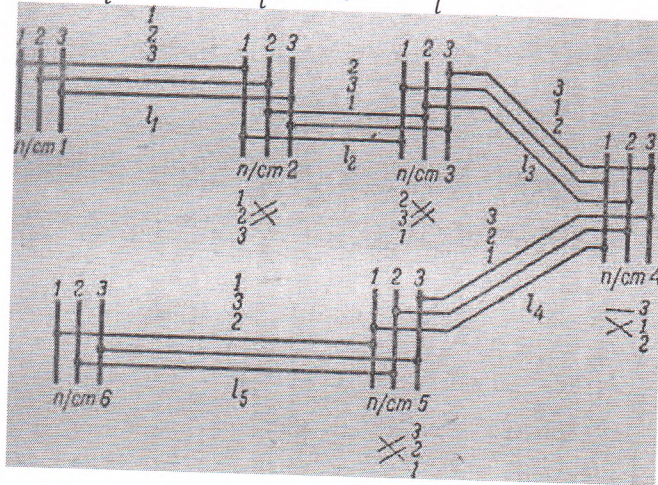


Рис.1,5. Сеть 35 кВ с произвольным присоединением проводов линий к шинам подстанций.

при этом степень не симметрии

$$u_{01} = 3.5(n_1 + a^2n_2 + an_3)[\%]$$

Подставляя значения операторов a и a^2 и учитывая, что

$$n_1 + n_2 + n_3 = 1$$

для любой воздушной сети имеем:

$$u_{01} = 3.5\sqrt{1 - 3(n_1n_2 + n_2n_3 + n_1n_3)}[\%] \quad (1,13)$$

Для получения предельной величины 0,75% необходимо уточнить условие

$$n_1n_2 + n_2n_3 + n_1n_3 \geq \frac{1 - \left(\frac{0,75}{3,5}\right)^2}{3} \approx 0,318$$

Если сеть 35 км (Рис. 1,5) имеет полную длину линий $l = 132$ км, а $l_1 = 34$ км, $l_2 = 16$ км, $l_3 = 24$ км, $l_4 = 28$ км и $l_5 = 30$ км, то $n_1 = 0,182$, $n_2 = 0,47$ и $n_3 = 0,348$.

степень не симметрии

$$u_{01} = 3.5\sqrt{1 - 3(0,182 \cdot 0,47 + 0,47 \cdot 0,348 + 0,182 \cdot 0,348)} = 0,86 > 0,75\%$$

$$n_1n_2 + n_2n_3 + n_1n_3 = 0,313 < 0,318$$

При идеальной транспозиции сети

$$n_1 = n_2 = n_3 = \frac{1}{3}$$

Поэтому улучшение транспозиции производится выравниванием длин проводов фаз в среднем положении и, следовательно уменьшением разности между коэффициентами n .

Если, например, $n_1 > n_2 > n_3$ то длины $(n_1 - 0,333)l$ и $(n_2 - 0,333)l$ проводов в среднем положении фаз 1 и 2 следует перевести в крайние положения, заменив их проводом, фазы 3.

Такой перевод осуществляется на шинах подстанции либо на транспозиционных опорах.

Для снижения степени несимметрии необходимо перевести провод фазы 2 длиной

$$(n_2 - 0,333)l = (0,47 - 0,333) \cdot 132 = 18 \text{ км}$$

из среднего положения в крайнее, поставив вместо него провод фазы 1. Это можно осуществить на линии $l_4 = 28$ км. После переопиновки на подстанциях 4 и 5

$$n_1 = 0,394; n_2 = 0,258; n_3 = 0,318$$

$$u_{01} = 3,5\sqrt{1} - 3(0,394 \cdot 0,258 + 0,258 \cdot 0,348 + 0,394 \cdot 0,348) = 0,35\%$$

Это показывает, что даже таким простым мероприятием можно достигнуть значительного снижения степени несимметрии сети.

Степень несимметрии сети, в которой имеются полностью транспонированные линии, а также кабели, определяется путем умножения величины степени несимметрии для нетранспонированной части сети на коэффициент

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{3\omega C_{mp} \cdot U_{\phi}}{2,9\omega C_0 U_{\phi}}} = \frac{1}{1 + \frac{I_{cmp}}{I_{св}}} \quad (1,14)$$

где I_{cmp} и $I_{св}$ — полные емкостные токи транспонированных линий (воздушных и кабельных) и соответственно нетранспонированной части сети.

На Рис. 1,6 дана схема сети 35 кВ, на которой положение; проводов и длины линий в километрах указаны цифрами. В сети имеются кабель ОСБ-3 X 95 длиной 6,1 км и одна полностью транспонированная линия (подстанция 1 ÷ подстанция 4) длиной 36 км.

Остальные линии сети имеют произвольное расположение проводов. Их полная длина равна 190 км.

Для этой части сети относительные величины средних Положений проводов будут:

$$n_1 = 0,184; n_2 = 0,622; n_3 = 0,194; \text{ степень несимметрии } \% \quad 1,52\%$$

Если поменять местами на линии подстанция 1— подстанция 5 провода фаз 1 и 2, а на линии подстанция 2-подстанция 4 провода фаз 2 и 3, то

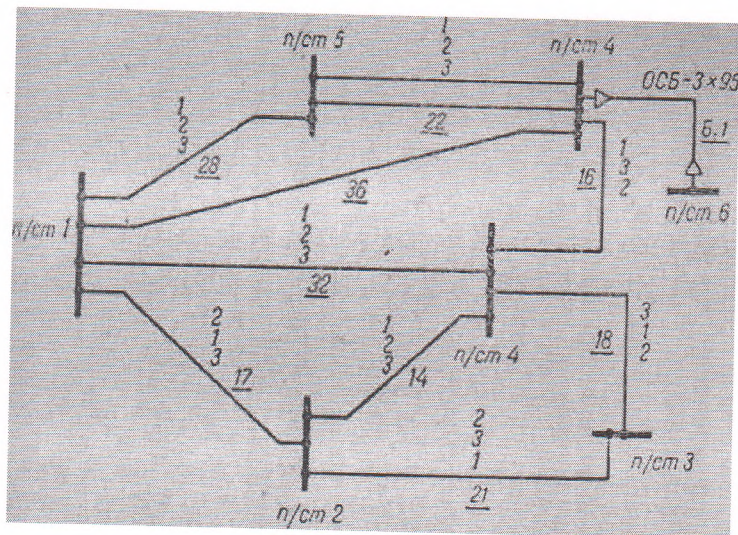


Рис. 1,6. Сеть 35 кВ с кабелем и транспонированной линией.

степень несимметрии будет снижена до 0,5 %.

Однако без этих мероприятий степень несимметрии всей сети снижается за счет наличия кабеля и транспонированной линии

$$I_{\text{сmp}} = 4,1 \cdot 6,1 + 0,1 \cdot 36 = 28,6 \text{ а.}$$

Емкостный ток нетранспонированной части сети равен около 19 а поэтому

Емкостной ток кабеля и этой линии

$$\varphi = \frac{1}{1 + \frac{I_{\text{сmp}}}{I_{\text{св}}}} = \frac{1}{1 + \frac{28,6}{19}} = 0,4$$

и степень несимметрии всей сети будет

$$u_{01} = u_{01} \cdot \varphi = 1,52 \cdot 0,4 = 0,61\%$$

Отключения кабеля по каким-либо причинам приведет к увеличению степени несимметрии сети до 1,3%, но при этом значительно увеличится расстройка сети в сторону перекомпенсации смещения нейтрали будет все же уменьшено.

1,4 Смещение нейтрали при пофазных отключениях линии в компенсированных сетях

В компенсированных воздушных и кабельных сетях отмечались случаи весьма значительных повышении напряжений фаз относительно земли при обрывах проводов или по фазных испытаниях линий, в особенности имеющих большую длину.

Не единичны случаи, когда напряжения фаз достигали величины разрядных напряжений трубчатых и вентильных разрядников, а также мокроразрядных напряжений нормальной линейной изоляции.

Возникавшие в результате этого замыкания на землю в различных точках сети приводили к аварийным отключениям.

При анализе таких случаев часто упускается действительная причина аварии, которая возникает из-за неправильной установки настроек (ответвлений) дугогасящих аппаратов.

Первопричиной считается обычно появление в сети замыкания на землю, тогда как на самом деле это замыкание появляется уже как следствие перенапряжений, возникающих при пофазном отключении.

Кроме всякого рода пофазных операций, проводящийся в сетях (в том числе неодновременность размыкания контактов в выключателях), замыканию на землю часто предшествует обрыв провода.

За время падения провода до момента касания земли фаза разомкнута в месте повреждения (такая же последовательность развития места повреждения может иметь место при разрыве фазы кабеля, в особенности при растяжке соединительных муфт, до прожога изоляции от оболочки).

Этот разрыв фазы при одностороннем питании приводит к уменьшению емкости одной из фаз, а следовательно, к появлению несимметрии сети, которая может весьма значительно пре-3 выгнать нормальную (первоначальную) несимметрию сети.

Воздействие возникшего напряжения несимметрии (соизмеримого с фазовым напряжением) на колебательный контур (см. Рис.1,1) обуславливает появление значительного напряжения смещения нейтрали. В результате этого напряжения фаз относительно земли могут достигнуть опасных для изоляции величин.

Рассмотрение работы компенсированной сети при возникшей ненормальной несимметрии (пофазные отключения и подключения) можно производить без учета первоначальной несимметрии, предполагая равными первоначальные емкости фаз относительно земли ($C_1 = C_2 = C_3$).

Постоянно действующая степень несимметрии (нормальная несимметрия) является частным случаем и отличается своей незначительной величиной (1.5%).

Из (1,11) видно, что основными влияющими на U_0 величинами являются напряжение и степень несимметрии сети.

Коэффициент успокоения компенсированной сети d практически не зависит ни от степени несимметрии, ни от степени расстройки.

Если несимметрия сети обуславливается некоторым уменьшенным емкости одной фазы (например, C_3), то, как отмечалось, степень несимметрии в относительных единицах будет:

$$u_{01} = \frac{m-1}{m+2}$$

где

$$m = \frac{C_3}{C_3} = \frac{I_{C3}}{I_{C3}} (C_3, I_3 \text{ и } C_3 -$$

соответственно емкость фазы 3 после его уменьшения вследствие отключения после и до уменьшения емкости)

при двух фазном отключении (что эквивалентно подключению к одной фазе дополнительной емкости) степень несимметрии

$$u_{02} = \frac{m-1}{m+2}$$

При этом принято, что отключение приводит к одинаковому уменьшения емкостей двух фаз ($m_2 = m_3$).

Таким образом, степень несимметрии и 0 зависит от относительного изменения емкостей фаз при пофазных отключениях или подключениях (Рис. 1,7).

После уменьшения емкостей одной или двух фаз из-за отключений емкостные токи сети соответственно будут:

$$I_{C1} = \omega C U_{\phi} (m+2)$$

$$I_{C2} = \omega C U_{\phi} (m+2m)$$

тогда как при одинаковых емкостях фаз

$$I_C = 3\omega C U_{\phi}$$

и поскольку настройка дугогасящих аппаратов сети остается неизвестной степень настройки

$$K = \frac{I_K}{I_C}$$

увеличивается до нового значения

$$K' = \frac{I_K}{I'_C}$$

Соответственно степень расстройки изменится в сторону перекомпенсации от величины $\nu = 1 - K$ до величины $\nu' = 1 - K'$

Из отношения

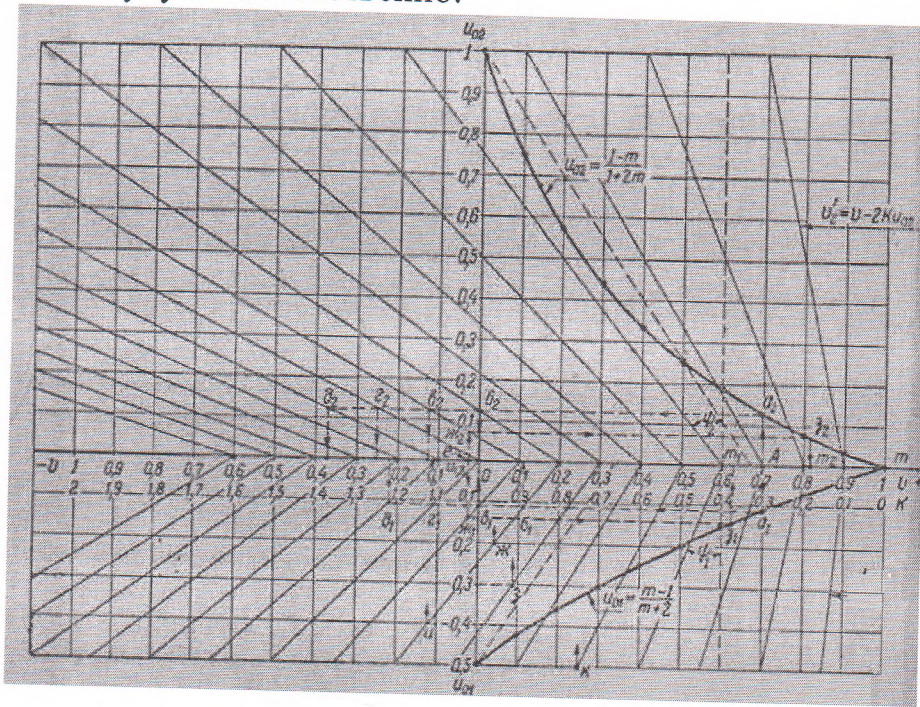
$$\frac{I'_{C1}}{I_C} = \frac{m+2}{3} \quad \frac{I_{C2}}{I_C} = \frac{1+2m}{3}$$

Получаем новые степени настройки:

$$K'_1 = \frac{I_K}{I_C} \cdot \frac{3}{m+2} = K \cdot \frac{3}{m+2}$$

$$K'_2 = \frac{I_K}{I_C} \cdot \frac{3}{1+2m} = K \frac{3}{1+2m}$$

Новые степени расстройки при уменьшении емкостей одной и двух фаз будут соответственно:



При выбранной первоначальной степени расстройки u у возникающие при пофазных отключениях емкостей (однофазна и двухфазных) изменения степеней расстроек прямо пропорциональны появляющимся степеням несимметрии u_{01} и u_{02} .

Эти зависимости в виде семейства прямых линий $v=f(u)$ приводятся на Рис. 1,7.

Прямые линии

$$v = f(u_0)$$

начинаются на горизонтальной ос при первоначально выбранной степени расстройки v при $u_{01} = u_{02} = 0$ (при 1 сеть симметрична) и оканчиваются соответственно при $u_{01} = -0,5$ и $u_{02} = +1$ (при $m = 0$ полное одной или двух фаз), в точках для которых (1,15)

$$u_1 = u - 0.5K = 1 - 1.5K \quad u'_2 = u - 2K = 1 - 3K$$

Наклон этих прямых относительно вертикальной оси определяется первоначальной настройкой K , т. е. e' .

$$tg' \varphi_1 = K \quad \text{и} \quad tg' \varphi_2 = 2K$$

Если в сети была установлена резонансная настройка ($K = 1$ и $u=0$), то при отключении полностью одной фазы ($u_{01} = 0.3$ и $u_{02} = +1$) новая степень расстройки будет $u_{01} = 0.3$ и $u_{02} = -2$, т. е. сеть переходит в режим перекомпенсации.

На пример, в сети 35 кВ с полным емкостным током 27 а 19а и на фазу) из-за обрыва провода на одной фазе произошло емкостного тока на 2,7 а.

Относительное изменение емкостного тока $m = \frac{I_C''}{I_C} = \frac{9-2.7}{9} = 0.7$

Появившаяся несимметрия $u_{01} \approx -0,11$ (точка a_1) приведет и изменению степени расстройки в сторону перекомпенсации величину $K \cdot u_{01} \approx 0.11K$

При первоначальных степенях расстроек в сети, равных +0,2+0,1; 0 и — 0,1, вновь возникающие степени расстроек будет соответственно: +0,11; 0; — 0,11 и —0,22 (точки б1 в1 г1 д1). Таким образом, резонансная настройка может получиться, если первоначальная степень расстройки равна +0,1 (т. е. если первоначально сеть работала с недокомпенсацией).

С уменьшением емкостного тока фазы 2 той же сети на величину (та же точка А с относительным изменением емкостного тока 0,7) приведет к степени несимметрии сети $u_{02} = 0,25$ (точка a_2).

Такая же степень несимметрии сети может возникнуть при подключении одной фазы линии (например, в целях по фазных испытания) с емкостной проводимостью, обуславливающие ток

$$I_C'' = \frac{I_C'}{m} = \frac{2.7}{0.7} = 3.86a$$

Настройка изменяется в сторону перекомпенсации на величину 0,25K

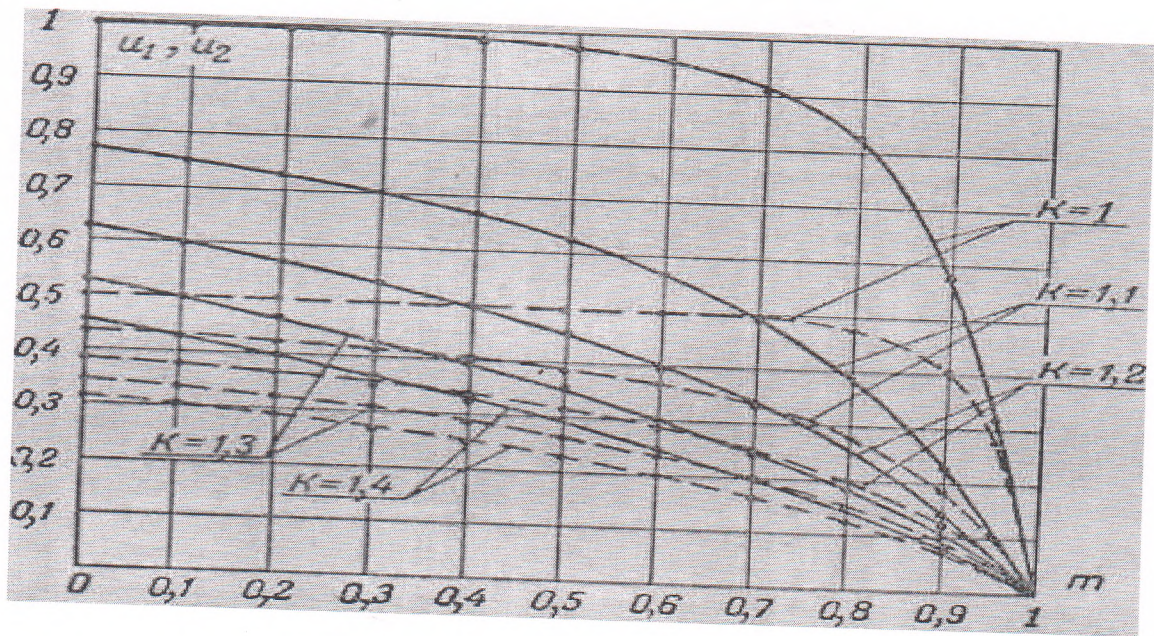
При тех же первоначальных степенях расстроек новые степени расстройки соответственно будут: 0; —0,125; —0,23

Резонансная настройка сети возникнет в том случае, если первоначальная степень принятой расстройки равна +0,2.

Поскольку абсолютная величина степени смещения нейтрали при пофазных отключениях

$$u_{1,2} = u_{01,2} / (\sqrt{d^2} + ((u)_{1,2}'))$$

Используя зависимости $u_{01,2} = f(m)$ и $u_{1,2} = \varphi(u_{01,2})$ можно определить степень смещения нейтрали при возникающих одно, или двухфазных несимметриях сети.



На Рис. 1,8 построены кривые степени смещения нейтрал в зависимости от относительного изменения емкостей τ фа при однофазных (сплошные линии) и двухфазных (пунктирные) отключениях по формуле

$$u_{1,2} = \frac{u_{01,2}}{\sqrt{d^2 + u_{1,2}^3}}$$

в том случае, если в сети произойдет уменьшение емкости только одной фазы

Для удобства построения круговой диаграммы целесообразно преобразовать уравнения степени смещения нейтрали

$$u_{1,2} = \frac{u_{01,2}}{u'_{1,2} - jd} = \frac{1}{\frac{u'_{1,2}}{u_{01,2}}}$$

но так как и

$$\begin{aligned} u'_1 &= u + Ku_{01} \\ u'_2 &= u + 2Ku_{02} \end{aligned}$$

то для однофазной несимметрии

$$u_1 = \frac{1}{K + \frac{u - jd}{u_{01}}}$$

и для двухфазной несимметрии

$$u_2 = \frac{1}{-2K + \frac{u - jd}{u_{02}}}$$

(однофазное отключение).

Предельная величина степени смещения нейтрали, равная единице (когда $U_0 = U_{\phi}$), возникает при отключении полностью одной фазы ($\tau = 0$).

Однако для оценки опасности напряжений фаз относительно земли (действующих на изоляцию) необходимо иметь представление не только об абсолютной величине напряжения нейтрали, но и о положении вектора этого напряжения в треугольнике линейных напряжений. Для этого удобно пользоваться круговой диаграммой смещения нейтрали сети

Из теории о геометрических местах известно, что зеркально отображение прямой, выраженной знаменателем дроби, преобразовывается в окружность степени смещения нейтрали.

При построении круговой диаграммы принято, что

а) однофазная несимметрия создается за счет уменьшения емкости фазы 1 ($u_{01} = \frac{m-1}{m+2} \cdot 1$; на диаграмме нанесена предельная величина $u_{02} = -0.5$)

б) двухфазная несимметрия создается за счет одинакового уменьшения емкостей фаз 2 и 3 либо за счет увлечения емкостной фазы 1 ($u_{02} = \frac{m-1}{m+2} \cdot 1$ на диаграмме нанесена предельная величина $u_{02} = +1$)

Прямая v' — геометрическое место точек степеней расстройки возникающих при несимметриях (i_{01} и i_{02}).

Прямая, проведенная из точки v' через начало координат окружности смещения нейтрали, определяет смещение нейтрали определяется смещенной нейтрали как по величине, так и по направлению.

Смещение нейтрали начинается с нуля при $i_{1.2} = v(u_{01} = 0)$ и заканчивается при $i_1 = 1 - 1,5K$ и $i_2 = 1 - 3K$

не рабочие части окружностей проведены пунктиром.

Из круговой диаграммы (полуокружность $v = 0$) видно, что увеличением степени несимметрии i_{01} вектор i_1 поворачивается против направления вращения часовой стрелки. Нейтрали сети перемещается по полуокружности.

напряжении относительно земли одной из фаз (например, й3) растет и при степени несимметрии $i_{01} = -0,056,5$ (точка а полу окружности) U_3 становится равным линейному напряжению, Увеличение степени несимметрии до $i_{01} = -0,14$ (от а до точки б) увеличивает напряжение U' до величины $I_{63} U_{ф}$.

При этом смещении нейтрали одно из фазовых напряжений примерно на 6%. Дальнейшее увеличение степени несимметрии до $i_{01} = -0,5$ (от точки б до точки в) несколько снижает напряжение U_3 .

Точка в является предельной для смещения нейтрали, так как

$$u'_1 = u + K u_{01} = 0 - 1 \cdot 0.5 = -0.5$$

И этой точке напряжение i_3 превышает линейное напряжение на 3%.

Таким образом, при резонансной настройке дугогасящих аппаратов уже относительное однофазное изменение емкости и сети (или емкостного тока)

$m = 0,84$ приводит одно из фазовых напряжений к величине, равной линейному напряжению.

Двух фазные несимметрии (полуокружность II) могут привести из фазовых напряжений к величине, примерно, равной $1,5U_{\Phi}$ (точка d на полуокружности II).

Эти несимметрии менее опасны, чем однофазные.

При увеличении первоначальной расстройки от резонансной сторону перекомпенсации прямые зеркальных отображенные знаменателем формул смещения нейтрали переворачиваются против часовой стрелки центров построения A1 и A2. При этом окружности нейтрали и1 и и2 поворачиваются против часовой стрелки вокруг начала координат.

Диаметры окружностей увеличиваются, и векторы смещения уменьшаясь по величине, приближаются к направлению U_1

1,5. Замыкания на землю в сетях, работающих с изолированной и компенсированной нейтралью

А. Смещение нейтрали при замыканиях на землю

Подключение к фазе 1 дополнительной проводимости

$$\frac{1}{R_3}$$

несимметрии активных проводимостей сети, обуславливающей смещение нейтрали (Рис. 1,13).

При установившемся состоянии замыкания на землю имеется

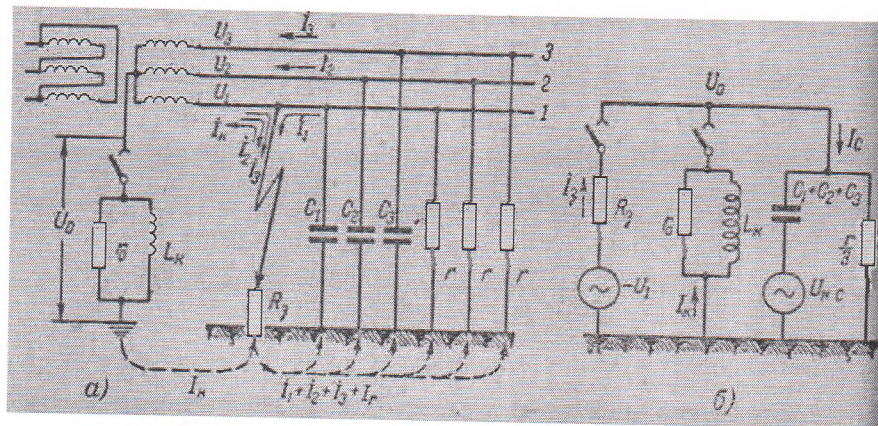
$$\begin{aligned} U_0 &= U_{\Phi} \frac{j\omega C_1 + a^2 j\omega C_2 + a j\omega C_3 + \frac{1}{R_3}}{j\omega(C_1 + C_2 + C_3) - j\frac{1}{\omega L_k} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R_3}} = \\ &= U_{\Phi} \frac{j\omega C_1 + a^2 j\omega C_2 + a j\omega C_3}{j\omega(C_1 + C_2 + C_3) - j\frac{1}{\omega L_k} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R_3}} + \\ &+ U_{\Phi} \frac{\frac{1}{R_3}}{j\omega(C_1 + C_2 + C_3) - j\frac{1}{\omega L_k} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R_3}} \end{aligned}$$

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{r_0} + \frac{3}{r}$$

Преобразовывая далее выражение U_0 , получим:

$$U_0 = U_{\Phi} \left[\frac{u_0}{u - j(d_3 + d)} + \frac{1}{1 + \frac{d + ju}{d_3}} \right] = U'_0 + U''_0$$

числитель коэффициент успокоения, равный отношению активной проводимости в месте повреждения к емкостной проводимости сети, т. е.



Напряжение смещения нейтрали при замыкании на землю представляет собой сумму двух смещений нейтрали, из которых: U_0 — от напряжения несимметрии $U_{нс}$ при подключении к фазе 1 дополнительной проводимости на землю (при отсутствии напряжения U_1);

U_0 — от действия напряжения U_1 подключенного через R в месте повреждения (при отсутствии напряжения несимметрии $U_{нс}$).

Смещение нейтрали обуславливается падением напряжения " параллельном контуре

$$R_0 = \frac{r_0 \cdot \frac{r}{3}}{r_0 + \frac{r}{3}}; L_K: (C_1 + C_2 + C_3)$$

при прохождении тока замыкания на землю.

Таким образом, результирующее смещение нейтрали получается а от наложения двух независимых между собой напряжений

Составляющая U_0 прямо пропорциональна существующей степени несимметрии сети, кроме того, она зависит от установленной степени расстройки компенсации сети и возникшей ММ Одной фазе активной проводимости. Абсолютная величина составляющей

$$|U'_0| = \frac{u_0}{\sqrt{(d_3 + d)^3 + v^2}} U_\Phi$$

Составляющая U''_0 зависит от установленной степени расстройки компенсации сети и возникшей дополнительной проводимости на поврежденной фазе. От степени несимметрии сети эта составляющая не зависит. Абсолютная величина ее

$$|U''_0| = \frac{d_3}{\sqrt{(d_3 + d)^3 + v^2}} U_\Phi$$

если $d_3 = \infty$, то независимо от величины u_0 имеем:

$$U'_0 = 0. U'' = U_\phi \text{ и } U_0 = U_\phi.$$

Если $d_3 = 0$, то

$$U' = U_\phi \frac{u_0}{v - jd} U'' = 0 \text{ и } U_0 = U_\phi \frac{u_0}{v - jd}$$

т.е. смещению нейтрали в пределах нормального режима (см. В 1,2 и Рис. 1,3).

») Поскольку знаменатель $U_0(1,19)$ содержит две независимые переменные (v и d_3), то, принимая одну из них постоянной изменяя другую, получим два семейства окружностей, через начало координат.

Центр окружностей U'_0 при $v = \text{const}$ и $d_3 = \text{var}$ находятся на действительной оси на расстоянии

$$\frac{u_0}{2v}$$

от начала координат

Центр окружностей U'_0 при $d_3 = \text{const}$ и $v = \text{var}$ расположены мнимой оси на расстоянии от начала координат.

$$\frac{u_0}{2d}$$

Круговая диаграмма для U'_0 приведена на состоит из окружности I смещения нейтрали (центр окружности располагается на оси $-j$ на расстоянии

$$\frac{u_{01}}{2d} = \frac{-0.015}{2 \cdot 0.05} = -0.15$$

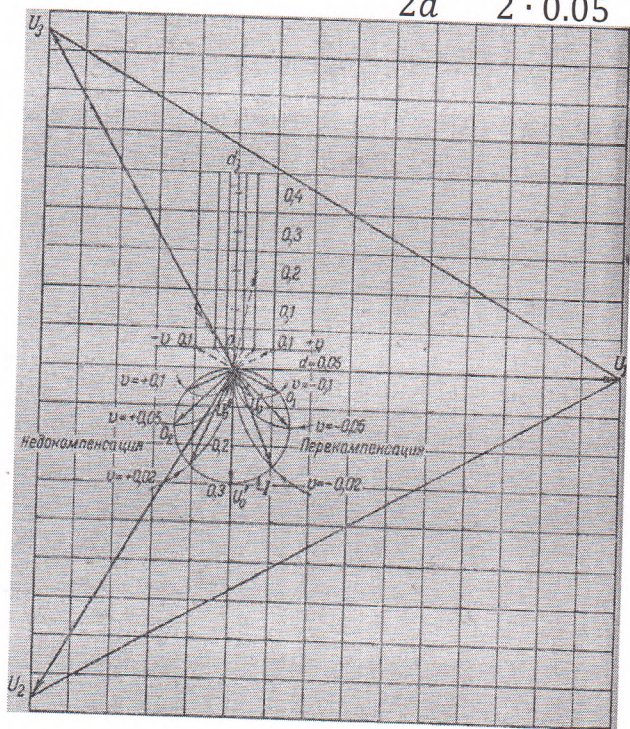


Рис. 1,14. Круговая диаграмма смещения нейтрали U_0 в зависимости от v d_3 при $d = 0,05$ и «01 = - 0,015.

и из семейства окружностей для $v = \pm 0,02 \pm 0,1$ при $d_3 = \text{var}$.

Для данной несимметрии сети окружность I является начальной для смещения нейтрали при появлении дополнительной активной проводимости на землю.

При установленной степени расстройки, как это обычно бывает, увеличение d сверх нормального d поворачивает вектор U_0 от нормального положения (например, от точек O_1 и O_2 соответственно при $u = -0,1$ и $u = +0,05$) в сторону начала координат (следуя за окружностями $u = -0,1$ и $u = +0,05$). Векторы приближаются по направлению к оси $-j$, уменьшаясь по величине.

Составляющая U_0 невелика и может иметь какое-то значение лишь при степенях расстройки $v = \pm 0,1$ и $d_3 < 0,25$

Однако в действующих сетях могут создаться условия, при которых u_0 приобретает значительную величину.

Развитие повреждения может, например, протекать следующим образом.

Вследствие отдаления части емкости фазы 1 при обрыве, сети появляется аварийная несимметрия

$$u_{01} = \frac{m-1}{m+2} = -0,1$$

При установленной в сети степени расстройки $u = +0,1$ эта несимметрия переводит сеть в режим с расстройкой $v_1 = v + Ku_{01} = 0,1 - 0,9 \cdot 0,1 = +0,01$, т. е. приближает к резонансу

До появления замыкания на землю (когда фаза только разорвана и $R_3 \approx \infty$

смещение нейтрали переходит на новую окружность центр которой располагается на расстоянии

$$-j \frac{u_{01}}{2d} = -j \frac{0,1}{2 \cdot 0,05} = -j1$$

от начала координат.

При замыкании фазы 1 на землю в зависимости от переходного сопротивления R_3 смещение нейтрали U_0 уменьшается, перемещаясь от своей новой величины по окружности радиусом

$$-j \frac{u_{01}}{2d} = -j \frac{0,1}{2 \cdot 0,01} = -5$$

целях упрощения эти окружности).

Если $d_3 = 1$ то

$$U'_0 = \frac{0,1U_\Phi}{\sqrt{(1+0,05)^2 + 0,01^2}} = 0,095U_\Phi$$

если нейтраль сети изолирована, то

$$U'_0 = U_\Phi \frac{u_{01}}{1 - j(d_3 + d)}$$

при этом

$$|U'_0| = \frac{u_{01}}{\sqrt{1 + (d_3 + d)^2}} U_\Phi$$

б) Знаменатель выражения U'_0 (1,19) также содержит две независимые переменные: v и d_3 . Круговая диаграмма U'_0 представляет собой два семейства окружностей, проходящих через начало координат.

Центры окружностей U_0 при $v = \text{const}$ и $d_3 = \text{var}$ находят на вертикальной прямой, проведенной на расстоянии $+0,5$ начала координат.

Расстояния центров окружностей от горизонтальной a определяются соотношением

$$\frac{d}{2v}$$

Центры окружностей

при $d_3 = \text{const}$ и $v = \text{var}$ располагаются на положительном направлении горизонтальной оси на расстоянии от начала координат, определяемом соотношением

$$\frac{1}{2 \left(1 + \frac{d}{d_3}\right)}$$

Круговая диаграмма для U''_0 приведена на Рис. 1,15. Точки пересечения окружностей постоянных d_3 и v дают смещения нулевой точки сети U_0 . Примером служат точки 01 и 02 соответственно для сети, работающей с перекомпенсацией ($u = -0,1$) при $d_3 = 0,1$, и для сети, работающей с недокомпенсацией ($v = +0,05$) при $d_3 = 0,2$.

Из круговой диаграммы и из выражения (1,19) видно, что если в сети установлена резонансная настройка, то в зависимости от величины R_3 нулевая точка сети перемещается вдоль соответствующего вектора фазового напряжения.

Вектор смещения нейтрали U''_0 совпадает по фазе с напряжением поврежденной фазы U_1^{\wedge}

Напряжения исправных фаз относительно земли будут:

$$|U'_2| = |U'_3| = U_\Phi \sqrt{1 + \frac{U_{\Phi}^{33}}{U_\Phi} + \left(\frac{U''_0}{U_\Phi}\right)^2}$$

при

$$\frac{U''_0}{U_\Phi} = +0,95 \text{ и } |U'_2| = |U'_3| \approx 1,68 U_\Phi$$

Например, для сети 35 кВ с полным емкостным током такое смещение нейтрали может иметь место при

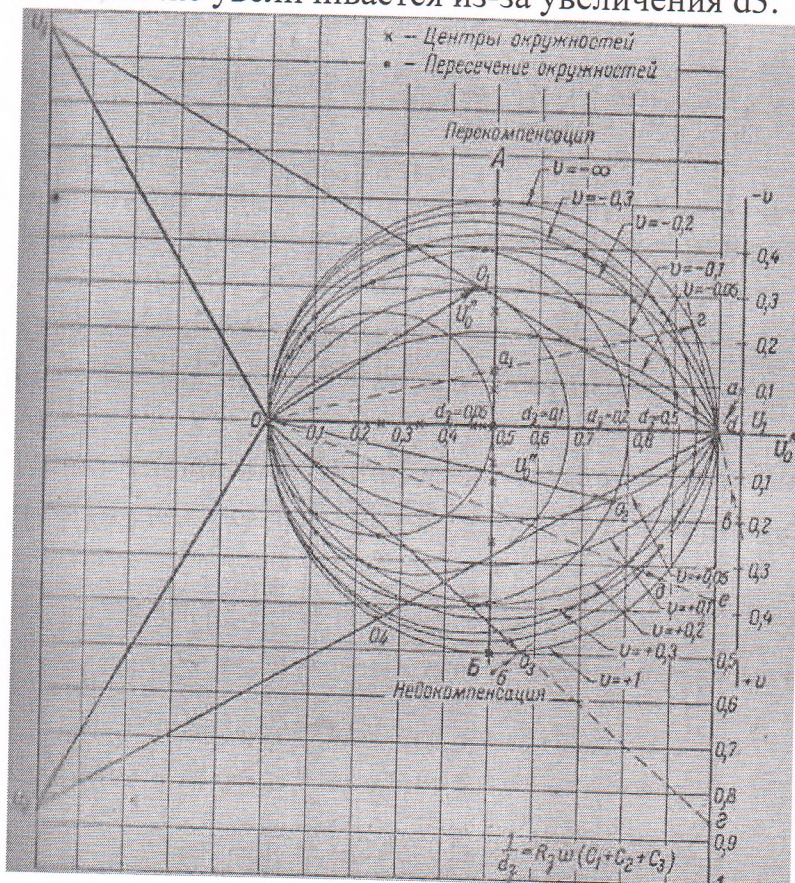
$$\frac{U_0''}{U_\Phi} = +0,95 \text{ и } |U_2'| = |U_3'| \approx 1.68U_\Phi$$

$$R_3 = \frac{U_\Phi}{I_C} = \frac{20000}{40} = 500 \text{ Ом}$$

Если замыкание на землю в той же сети произойдет че переходное сопротивление $R_3 = 3000 \text{ ом}$, то $d_3 = 0,0168$ В этом случае составляющая напряжения смещения нейтрали

При резонансной настройке будет иметь значительную величину равную $0,25U_\Phi$

При отключениях линий для отыскания места повреждения степень расстройки увеличивается в сторону перекомпенсации смещения нейтрали при этом все же увеличивается из-за увеличения d_3 .



Круговая диаграмма смещения нейтрали U_0 в зависимости от ν и d_3 при $d = 0,05$.

Если при резонансной настройке проводимость утечки одной из фаз увеличилась, например, в 3 раза ($R_3 = 10000 \text{ ом}$) d_3 от $0,0168$ до $0,05$ ($d_3 = d$) по (1,21)

$$U_0'' = \frac{U_\Phi}{1 + \frac{d}{d_3}} = 0.5U_\Phi$$

$$|U_2'| = |U_3'| = 0.765U_\Phi$$

Отметим, что при резонансной настройке даже незначительное изменение проводимости на землю какой-либо фазы приводит к заметному смещению нейтрали. Для эксплуатации—это положительная особенность резонансной настройки, так как появление ослабленного места в изоляции сети легко может быть отмечено вольтметрами контроля изоляции.

При расстройке в сторону недокомпенсации вектор U_0'' смещается по направлению вращения часовой стрелки, и наоборот при перекомпенсации.

По мере увеличения d_3 нулевая точка сети приближается к точке $-U_1$ замыкание переходит в металлическое. При работе сети с изолированной нейтралью влияние нормальных утечек d незначительно. Действительно, при $d = d_3 = 0,05$ имеем:

$$U_0'' = \frac{d_3 U_\Phi}{\sqrt{1 + (d_3 + d)^2}} = \frac{0,05 U_\Phi}{\sqrt{1 + 0,01}} \approx 0,05 U_\Phi$$

в этом случае

$$U_0'' = \frac{U_\Phi}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{d_3}\right)^2}} = \frac{U_\Phi}{\sqrt{1 + R_3^2 \cdot \omega^2 (C_1 + C_2 + C_3)^2}}$$

С уменьшением $\frac{1}{d_3}$ вектора смещения нейтрали перемещается против направления вращения часовой стрелки по полуокружности $u = +1$.

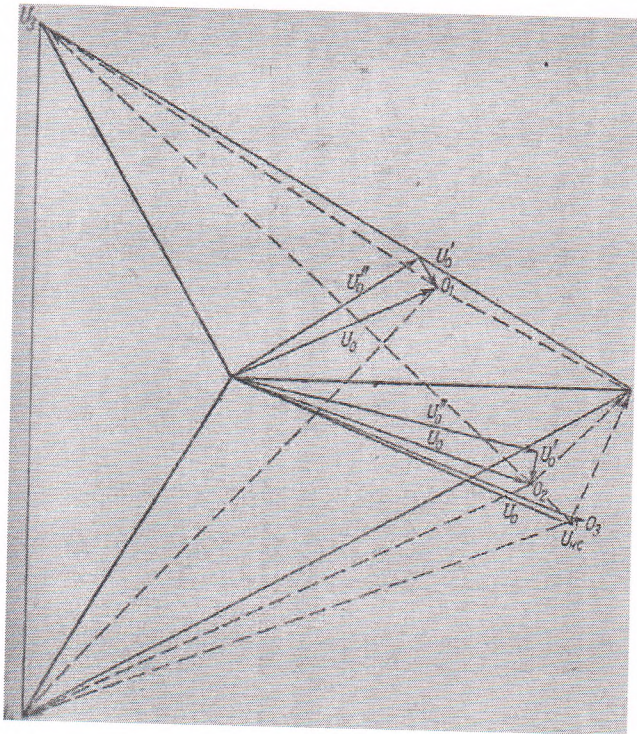
Когда $\frac{1}{d_3} = 0,865$ (точка Γ на вспомогательной прямой $\frac{1}{d_3} = R_3 \omega (C_1 + C_2 + C_3)$) и $U_0'' = 0,76 U_\Phi$ (точка O_3

на окружности $u = +1$) т.е. начиная с точки O_3 , смещение нейтрали приводит одно из фазовых напряжений к величине, равной, а затем и превышающей линейное напряжение. Наибольшая величина имеет место в точке d при $\frac{1}{d_3} = 0,375$. В этом случае $U_3' = 1,83 U_\Phi$ т.е. превышает линейное напряжения на 60% это наиболее опасное напряжения на фазе 3 появляется при условии если переходные сопротивление вместе повреждения имеет значения

$$R_3 = 0,375 \frac{1}{\omega (C_1 + C_2 + C_3)} = 0,375 \frac{U_\Phi}{I_C}$$

для сети 35 кВ с емкостным током 40а

$$R_3 = 0,375 \cdot \frac{20000}{40} \approx 187 \text{ ом}$$



При большем значении R_3 наиболее опасное смещение нейтрали имеет место при уменьшении емкостного тока сети (например, при отключении линий для отыскания места повреждения).

$j, / I''$ Векторная диаграмма результирующих смещений нейтрали $U_0 = U_0 + U''$ для режимов: $\mu = -0,1$ при $d_3 = 0,1$; $\gamma = +0,05$ при $d_3 = 0,2$; изолированная нейтраль при $d_3 = 2,66$.

Отметим точку 0_4 на окружности $\mu = +1$. Она расположена $U''_0 = -0,5U_\Phi \cdot a$ когда

$$\frac{1}{d_3} = \sqrt{3}$$

$$\frac{1}{d_3} = \sqrt{3 \frac{1}{\omega(C_1 + C_2 + C_3)}} = \sqrt{3} \frac{U_\Phi}{I_C}$$

рассматривая векторную результирующих смещения нейтрали видим, что при увеличении d_3 роль составляющих U_0 уменьшаете и если $d_3 > 1$ эти составляющие практически не оказываются Б. Токи в месте повреждения при замыканиях на землю

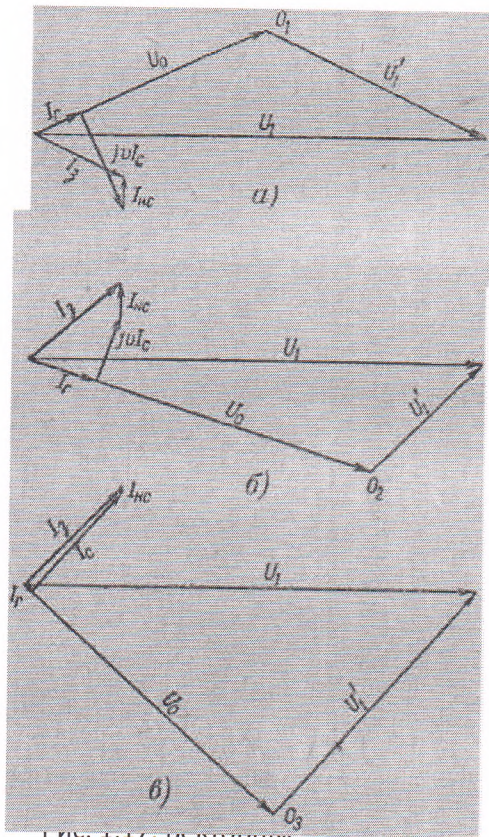


Рис. 1-17. Векторные диаграммы тока замыкания на землю в сети с $\epsilon_0 = 0,015$, $1C = 40$ а.

Как указывалось, при замыкании на землю возникает напряжение на нейтрали, воздействие которого на параметр сети (C, L и r) обуславливает прохождение ток? через место повреждение (Рис. 1-13, а и б).

Замыкание на землю эквивалентно как бы включению в месте повреждения генератора нулевой последовательности с синусоидальным напряжением.

Напряжение условного генератора в мест замыкания равно и противоположно напряжению; поврежденной фазы. Величина и фаза тока замыкания на землю определяются сопротивлением R и основными параметрами сети (v, d и ϵ_0).

Как известно, сумма токов, подтекающих месту повреждения, равна току через место повреждения, т. е.

$$I_1 + I_2 + I_3 + I_0 = 0 = \circ -$$

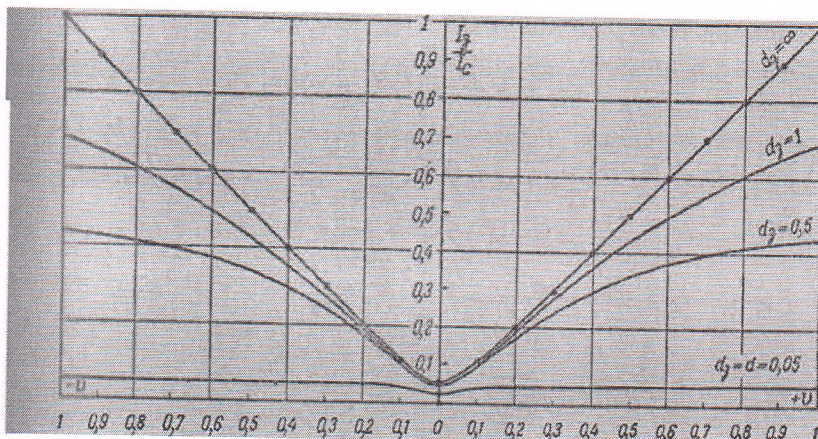
Выражаем токи через действующие напряжение и проводимости относительно земли (повреждение на фазе 1):

$$(U_1 - U_0) \left(j\omega C_1 + \frac{1}{r} + \frac{1}{R_3} \right) + (U_2 - U_0) \left(j\omega C_2 + \frac{1}{r} \right) + (U_3 - U_0) \left(j\omega C_3 + \frac{1}{r} \right) - U_0 \left(\frac{1}{j\omega L_k} + \frac{1}{r_0} \right) = 0$$

Откуда ток замыкания на землю будет:

$$I_3 = \frac{U_1 - U_0}{R_3} = \frac{U_1}{U_\Phi} = \frac{U_0}{U_\Phi} I_r + j \frac{U_0}{U_\Phi} (I_C - I_K) - I_{HC} = \left(\frac{U_0}{U_\Phi} d + j \frac{U_0}{U_\Phi} u - u_0 \right) I_C$$

Ток замыкания на землю всегда совпадает по фазе с напряжением поврежденной фазы (U_1) и состоит из трех составляющих: активной составляющей тока замыкания на землю падающей по фазе с



напряжением на нейтрали U_0 реактивной

Ток замыкания на землю в зависимости от степени расстройки при $d_3 = 0,05; 0,5; 1$ и ∞ составляющей тока замыкания на землю $J(I_C - I_K)$, отстающей от U_0 на 90° (при перекомпенсации) или опережающей U_0 на 90° (при недокомпенсации), и тока несимметрии сети ИНС, I_{Σ} зависящего ни от степени расстройки, ни от напряжения смещения нейтрали, ни от переходного сопротивления R_3 . Этот ток опережает напряжение несимметрии на 90° [так как ИНС выражении (1,23) имеет знак минус, то ИНС опережает U_1].

На Рис. 1,17 приводятся векторные диаграммы токов замыкания на землю (полный емкостный ток сети 40 а):

- а) установленная степень расстройки $\nu = -0,1$ при $d_3 = 0,1$;
- б) установленная степень расстройки $\nu = +0,05$ при $d_3 = 0,2$;
- в) есть, работающая с изолированной нейтралью при $d_3 = 1,16$

И действующих сетях ток несимметрии, как правило, составляет не более 1,5% емкостного тока. Поэтому при оценке величины тока замыкания на землю током несимметрии можно без ущерба пренебречь. Подставляя в выражение тока замыкания на землю значение напряжения смещения нейтрали и выражению (1,19) при $U_0 \approx 0$, т. е.

$$U_0 = U_0'' = U_\Phi \frac{j d_3}{u - j(d_3 + d_0)}$$

получим

$$I_3 = -I_C \frac{1}{\frac{1}{d_3} + \frac{1}{d + ju}} = -\frac{U_\Phi}{R_3} \cdot \frac{1}{1 + \frac{d_3}{d + ju}}$$

Абсолютная величина тока замыкания на землю будет

$$I_3 = I_C \frac{\sqrt{u^2 + d^2}}{\sqrt{1 + \frac{2d}{d_3} + \frac{u^2 + d^2}{d_3^2}}}$$

При резонансной настройке сети

$$I_3 = I_C \frac{d_3 \cdot d}{d_3 + d} = \frac{U_\Phi}{R + R_3}$$

при металлическом замыкании на землю ($R_3 = 0$ и $d_3 = \infty$)

$$I_3 = I_C \sqrt{u^2 + d^2} = \sqrt{(uI_C)^2 + (dI_C)^2}$$

а при резонансной настройке

$$I_3 = dI_C$$

Из кривых на Рис. 1,18 видно, что при степенях расстройки $\pm 0,2$ и $d_3 \geq 0,5$ ток замыкания на землю мало отличается от тока, проходящего при металлическом замыкании.

При частичных повреждениях изоляции, когда $d_3 \approx d$, то через место повреждения незначительно изменяется в зависимости от степени расстройки и близок по величине к активной составляющей (I_r)

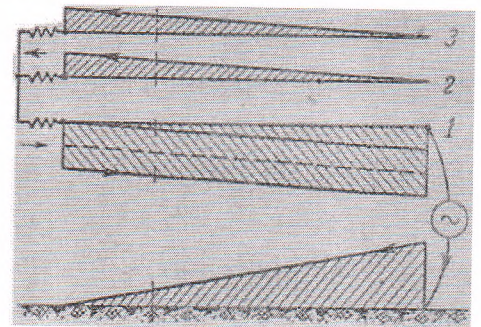
В. Распределение токов замыкания на землю! в компенсированных сетях
Реактивная составляющая есть основная составляющая ток, замыкания на землю. Она является результатом наложения в месте повреждения тока компенсации I на полный емкостный ток сети I_C .

Величина некомпенсированного тока зависит от установленной настройки дугогасящих аппаратов.

Если настройка компенсации сети отличается от резонансной, то по замкнувшейся на землю фазе и через место повреждения будет протекать разность емкостного тока и тока компенсации ($I_C - I_k$). При недокомпенсации некомпенсированная тока имеет емкостное направление; при перекомпенсации направление тока компенсации.

Кроме того, в действующих компенсированных сетях имеются активные токи, обусловленные распределенными активными проводимостями сети и активными потерями дугогасящих аппаратов.

Эти токи совпадают по фазе с напряжением на нейтрали и складываются в месте повреждения.



Емкостный ток сети, для компенсации которого установлены* дугогасящие катушки ДК1 и ДК.2 (Рис. 1,21), равен 25 а. На, п ройка каждой катушки выбрана 12,5 а. Распределение активных токов, обусловленных утечками сети, будет такое же, как и емкостных.

Токи, обусловленные активными потерями дугогасящих аппаратов (графически — прямоугольники), складываются с токами утечки на участках А-I-II-III-IV-А. Эти токи незначительны по величине и поэтому практического значения не имеют.

Г. Величины емкостных токов сетей

Величины емкостных токов в фазах определяются емкостями относительно земли. Эти емкости зависят от взаимного расположения проводов на опорах, наличия или отсутствия грозозащитных тросов, высоты подвеса провода над землей, сечения проводов и тросов и материала опор.

Частичные емкости и емкостные токи проводов могут быть рассчитаны по уравнениям Максвелла.

Однако эти расчеты становятся громоздкими и практически неприемлемыми при двухцепных линиях и наличии тросов. Наибольшее влияние на емкости проводов относительно земли оказывают расстояние между проводами и наличие или отсутствие грозозащитного троса. Сечения проводов и тросов оказывают незначительное влияние на них.

Приближенная оценка величины емкостного тока сети может быть произведена по формуле

$$I_c = (2,7 \text{ ч } 3,3) U_l \cdot l \cdot 10^{-3}, \quad (1,28)$$

Где U — линейное напряжение сети, кВ\

l — длина линий, км.

Для линий без тросов учитывается коэффициент 2,7, для линий с тросами — г 3,3.

Эта формула применима для линий, построенных на деревянных опорах. В ней принята средняя величина емкости провода относительно земли при отсутствии троса, равная $5 \cdot 10^{-3}$ мкф/км. Наличие тросов увеличивает емкость примерно на 20%. При металлических опорах частичные емкости увеличиваются на $10 \div 12\%$.

Емкостный ток двухцепных линий подсчитывается по емкостному току одной цепи. При этом учитывается, что включение под напряжение второй цепи уменьшает емкостный ток первой. Это происходит из-за взаимного экранирующего действия проводин цепей, в результате которого емкость каждого провода относительно земли уменьшается.

Многочисленные измерения показали, что при отключений одной цепи без заземления ее, емкостный ток оставшейся в работе цепи увеличивается на $20 \div 35\%$; причем это увеличение тем больше, чем ближе между собой расположены провода цепей.

Таким образом, емкостный ток двухцепной линии равен не удвоенному емкостному току одноцепной линии, а в зависимости от взаимного расположения проводов цепей больше лишь на 60÷30%, т. е.

$$I_{C_{дв}} = 2[1 - (0,2 \div 0,35)]I_{C_{од}} = (1,6 \div 1,3)I_{C_{од}}$$

Чем больше расстояние между проводами и дальше друг от друга располагаются провода цепей, тем меньше взаимное снижающее действие цепей. Если среднее геометрическое расстояние между проводами равно 4 м ($d_{ср} = \sqrt[3]{d_{12} \cdot d_{23} \cdot d_{13}} = 4$), то:

- а) при горизонтальном расположении проводов цепей взаимное снижающее действие цепей может приниматься равным 20%;
- б) при расположении проводов прямой или обратной елкой 30%;
- в) при вертикальном расположении проводов — 35—40%.

Отключение и заземление одной из цепей приводят к увеличению емкостного тока цепи, оставшейся в работе, так как емкости относительно земли проводов работающей цепи увеличиваются! Для расположений проводов линий, указанных в пп. «а», «б» и «в», это увеличение примерно может быть оценено соответственно 25, 40 и 55:- 60%.

§ П-1 приводятся емкостные токи линий {а!км) для различных расположений проводов на опорах. Емкости относительно земли распределительных устройств и установленного в них оборудования увеличивают емкостный ток тем больше, чем ниже рабочее напряжение.

Увеличение емкостного тока замыкания на землю за счет под станций может ориентировочно оцениваться следующими величинами:

Рабочее напряжение сети, кВ		0	5	5	0	0
Прибавка к емкости липид, %	8	6	5	3	2	0

Емкостный ток подстанций может быть учтен более точно по известным из результатов профилактических испытаний емкостях установленного оборудования.

Емкостные токи кабельных линий в значительной мере зависят от сечения, конструкции и рабочего напряжения кабелей. Поэтому оценка величины емкостного тока простых кабельных сетей может осуществляться по каталожным данным, приведенным в § П-2. Данные по величинам емкостных токов (сети и! отдельных линий), необходимые для эксплуатации дугогасящих устройств, должны быть получены по измерениям в сети

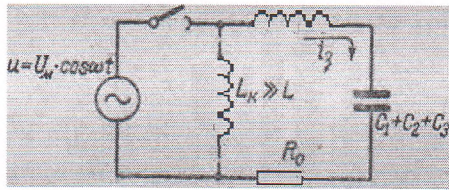


Рис. 1.23.

Выше рассматривались токи через место повреждения, которые устанавливаются по истечении переходного периода времени пчеле момента замыкания фазы на землю. Переход от нормального состояния компенсированной сети к установившемуся состоянию замыкания на землю представляет собой:

- а) разряд емкости поврежденной фазы; при этом разрядные и зарядные токи фаз имеют одинаковое направление в месте замыкания;
- б) установление индуктивного тока компенсации через место повреждения.

Оценка составляющих тока замыкания на землю компенсированной сети в переходный период может быть осуществлена по схеме замещения, приведенной на Рис. 1,23. Схема представляет собой параллельное включение на напряжение нулевой последовательности распределенных параметров сети (R_0 , L и C) и сосредоточенной индуктивности дугогасящего аппарата L_K .

Активным сопротивлением R_0 , обуславливающим затухание собственных колебаний контура, является сопротивление пути тока замыкания на землю. Это сопротивление складывается из сопротивления растеканию тока в земле и сопротивлений проводов и трансформаторов.

А. Емкостная составляющая тока замыкания на землю

Индуктивность дугогасящих аппаратов значительно больше распределенной индуктивности проводов ($L_K > L$). В связи с этим в момент замыкания на землю L_K практически не влияет на переходный процесс емкостной составляющей и поэтому может не приниматься в расчет.

Таким образом, для емкостной составляющей контур состоит из последовательно соединенных L , C и R_0 . Форма изменения тока, проходящего через место повреждения в переходный период, зависит в основном от соотношения параметров

При $R_0 < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ переходный процесс для тока в контуре затухающий периодический характер.

При $R_0 > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ ток в контуре устанавливается, аperiodически затухая.

Волновые сопротивления воздушных линий исчисляются сотнями ом (300-7-500 ом). Поэтому для воздушных сетей!

$$R_0 < 2 \sqrt{\frac{L}{C}} \text{ (большие индуктивности наряду с малыми емкостями).}$$

Ток через место повреждения имеет форму быстро затухающих колебаний. Как показали измерения, частота колебаний тока замыкания на землю для воздушных сетей находится в пределах 1500 ÷ 3000 Гц. Меньшие значения относятся к неразветвленным воздушным сетям с длинными линиями, большие — к разветвленным сетям с кабелями.

Индуктивности пути тока замыкания на землю кабеле! несоизмеримо меньше индуктивностей воздушных линий.

Емкости фаз относительно оболочек весьма значительно] превосходят емкости воздушных проводов относительно земли. В связи с этим переходные процессы для тока замыкания на землю в кабельных сетях протекают значительно быстрее и с большей частотой собственных колебаний, чем в воздушных сетях.

Активные сопротивления R_0 , обуславливающие затухание амплитуд тока в контуре, незначительно отличаются от двойного волнового сопротивления, а для разветвленных сетей могут быть равны и даже меньше

$$2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Отношение следующих друг за другом амплитуд тока (после момента замыкания) значительно больше 2. Частота.] собственных колебаний 1 500 ÷ 3 000 Гц.

Характер изменения тока, проходящего через место повреждения, начиная с момента замыкания на землю, может быть определен решением дифференциального уравнения относительно тока при условии включения контура на мгновенное напряжение $u(t) = U_m \cos(\omega t)$ (при $t = 0$ $u(i) = U_m$, т. е. имеет место пробой изоляции фазы при наибольшем напряжении). Величина мгновенного значения напряжения определяет свободный ток контура.

Если сеть представляет собой колебательный контур^ т. е.

$$R_0 < 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

(воздушные сети), то

$$i_{CB} = u(t) \frac{2\delta}{R_0\beta} e^{-\delta t} \sin \beta t = \frac{u(t)}{\beta L} e^{-\frac{R_0 t}{2L}} \sin \beta t$$

Коэффициент затухания свободного тока

$$\delta = \frac{R_0}{2L}$$

, а частота собственных колебаний

$$\beta = \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} = \frac{R_0}{2L} \sqrt{1 - \frac{4L}{R_0^2 C}}$$

Отношение двух следующих друг за другом амплитуд Свободного тока (через время $\frac{T_0}{2}$)

$$\gamma = \frac{I'_c}{I''_c} = e^{\frac{R_0 T_0}{2L}}$$

откуда

$$R_0 = \frac{4L}{T_0} \ln \gamma$$

Где T_0 — период собственных колебаний контура.

Как показывают измерения, для воздушных сетей $\gamma = 1,54 \div 2$. При действии на контур косинусоидального напряжения в контур" одновременно с i_{CB} протекает ток вынужденных колебаний $i_{пр}$ т. е. ток рабочей частоты.

Полный ток контура таким образом, будет:

$$i = i_{CB} + i_{пр} = U_M \left[\left(\frac{1}{\beta L} + \frac{\omega}{\beta} \omega C \right) e^{-\delta t} \sin \beta t - \omega C \sin \omega t \right]$$

Для воздушных сетей $\delta^2 \ll \omega_0^2$ т. е.

$$\left(\frac{R_0}{2L} \right)^2 \ll \frac{1}{LC}$$

Поэтому практически можно принять $\beta = \omega_0$. Ток в контуре достигает наибольшей величины через время $t = \frac{T_0}{4}$

Для этого момента времени

$$\sin \beta t = \sin \frac{2\pi}{T_0} \cdot \frac{T_0}{4} = 1$$

И, следовательно,

$$i_M = \left(\frac{1}{\omega_0 L} + \frac{\omega}{\omega_0} \omega C \right) U_M e^{-\delta t} - \omega C U_M \sin \omega t$$

Подставляя в это выражения значение $U_M = \frac{I_C}{\omega C}$ получим

$$i_M = \left[\left(\frac{\omega_0}{\omega} + \frac{\omega}{\omega_0} \right) e^{-\delta t} - \sin \omega t \right] I_C$$

где I_C и U_M — амплитуды установившегося емкостного тока и тока и фазового напряжения

Емкость всей сети определяется по величине емкостного тока т. е.

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = \frac{I_C}{\omega U_M}$$

и индуктивность пути тока замыкания

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C}$$

Индуктивность контура

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C} = \frac{1}{10^6 \cdot \pi^2 \cdot 4 \cdot 10^{-6}} \approx 0.025 \text{ Гн}$$

Из осциллограмм $\gamma = 1,5$, поэтому активное сопротивление

$$R_0 = \frac{4L}{T_0} \ln \gamma = 4 \cdot 0.025 \cdot 500 \cdot 0.4 = 20 \text{ Ом}$$

Отсюда

$$\frac{R_0}{2L} = \frac{20}{2 \cdot 0.025} = 400 \text{ 1/сек и } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{0.025 \cdot 4 \cdot 10^{-6}}} = 3140 \text{ 1/сек}$$

т.е. δ^2 меньше ω_0^2 в 62,5 раза, и поэтому можно принять

$$\beta = \omega_0$$

для момента времени $t = \frac{T_0}{4}$

$$\omega C \sin \omega \frac{T_0}{4} = \omega C \cdot 0.15; e^{-\delta t} = e^{-\frac{400}{2000}} = 0.82$$

Подставляя эти величины в выражение наибольшего значения тока замыкания на землю, имеем:

$$I_{CM} = I_C \left[\left(\frac{\omega_0}{\omega} + \frac{\omega}{\omega_0} \right) e^{-\delta \frac{T_0}{4}} - \omega C \sin \omega \frac{T_0}{4} \right] = \\ = I_C [(10 + 0.1)0.82 - 0.15] = 8.15 I_C$$

Таким образом, кратность наибольшего значения тока переходный период относительно амплитуды установившегося емкостного тока составляет примерно 80% отношения частоты собственных колебаний контура к рабочей частоте. Для приведенной в качестве примера воздушной сети 35 кВ

$$I_{CM} = 8 \cdot 25,6 \sqrt{2} = 288 \text{ а.}$$

Из осциллограмм Рис. 1,24, а и б видно, что замыкание на землю в одном случае произошло при напряжении на поврежденной фазе

$$u_1 = U_M \cdot \sin 1.4\pi = -0.95 U_M$$

$$\text{в другом случае } u_1 = U_M \cdot \sin 0.3\pi = 0.8 U_M$$

Поэтому наибольшее значение токов в переходный период (через время $t = \frac{T_0}{4}$ после момента замыкания на землю) будут соответственно:

$I'c = I_{CM} - 0,95 = 274 \text{ а}$ и $I'c = I_{CM} \cdot 0,8 = 230 \text{ а}$. приводятся осциллограммы металлических

' замыкании на землю в компенсированной сети 35кВ емкостной ток которой равен 85 а Степени рас стройки равны -12,2 и -1,5%. В сети

установлены три дугогасящие катушки: две ЗРОМ-1100/35 и одна ЗРОМ - 550/35. Как видно из осциллограмм переходный процесс для емкостной составляющей остаётся таким же как и для сети с изолированным нейтралью. Ток замыкания на землю I_z имеет увеличенное значение за счет свободных токов компенсации.

На осциллограмме Рис. 1,24, д показан момент отключения линии замыканием на землю. Из этой осциллограммы видно, что напряжение на нейтрали U_0 затухает медленнее связи с чем медленно восстанавливается напряжений U_3 на поврежденной фазе.

В том случае, если сеть является аperiodическим контуром,

т. е. $R_0 \geq 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ (некоторые разветвленные нагруженные кабельные сети, питающиеся от подстанций), свободный ток

$$i_{CB} = \frac{u(t)}{\beta L} e^{-\delta t} \operatorname{sh} \beta t = \frac{u(t)}{\beta L} e^{-\delta t} \cdot \frac{e^{\beta t} - e^{-\beta t}}{2}$$

Переходный процесс протекает настолько быстро изменение действующего напряжения $u(t) = U_m \cos \omega t$ не оказывает влияния на полный ток через место повреждения. Когда R_0 приближается к значению $2\sqrt{\frac{L}{C}}$ (т. е., когда $\beta \rightarrow 0$) свободный ток приближается к величине

$$i_{CB} = \frac{u(t)}{L} t e^{-\delta t} = \frac{I_C}{\omega C L} t e^{-\delta t}$$

Время при котором ток через место повреждения (свободный ток) достигает наибольшей величины

$$t = \frac{1}{\delta} = 2 \frac{L}{R_0}$$

Поэтому величина наибольшего тока

$$I'_{CM} = 0.117 \frac{T}{T_0} I_C$$

где $T_0 = 2\pi\sqrt{LC}$.

Измерение показывают, что предельной частотой собственной колебаний сети является частота 3 000 Гц. Уже при этой частоте затухание колебаний становится настолько большим что переходный процесс тока замыкания становится аperiodическим.

Следовательно наибольшей значения тока через место повреждения будет:

$$I_{CM} = 0.117 \frac{3000}{50} I_C \approx 7 I_C$$

Величина наибольшего значения зависит от момента, которой произошло замыкание на землю. Переходный ток отсутствует, если замыкание произошло тогда, когда напряжение пораженной фазы проходит через нуль. Это может иметь место при замыкании на землю, возникшем в результате внешних причин (механические повреждения, набросы, поражения молнией т. Д.).

Неблагоприятное действие бросков емкостного тока заключается в том, что непосредственно после пробоя изоляции из-за большого по величине, хотя и непродолжительного, тока в месте повреждения имеют место интенсивная ионизация и повышенное тепловое воздействие дуги на изоляцию.