

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. И. РАЗЗАКОВА**

**КАРАБАЛТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

**КАФЕДРА «ТЕХНИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ»**

**МЕТОДИЧЕСКОЕ УКАЗАНИЕ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОР-  
НОЙ РАБОТЫ  
ПО ДИСЦИПЛИНАМ  
«РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ»,  
«ПРОИЗВОДСТВО ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ»  
ДЛЯ СТУДЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЙ «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ»,  
«ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА»**

## Бишкек – 2011

«Рассмотрено»  
на заседании кафедры  
«ТиИТ»  
Прот. № 3 от 31.01.2011 г.

«Одобрено»  
Учебно-методической комиссией  
КТИ КГТУ им. И.Раззакова  
Прот. № 8 от 03.02.2011 г.

Составитель: ЕГЕМБЕРДИЕВ Т.М.

Методическое указание к выполнению лабораторной работы по дисциплинам **«Режимов работы электрической сети», «Производство Электроэнергии»** для студентов направлений «Электроснабжения», «Электроэнергетика» / КТИ КГТУ им. И. Раззакова; сост. Т.М.Егембердиев. – Б.: ИЦ «Техник», 2011 – 25 с.

Предназначено для студентов всех форм обучения.

Ил.:8. Табл.: 5. Библиогр.:3 наим.

Рецензент Асылбеков Н.С.

e-mail: [beknur@mail.ru](mailto:beknur@mail.ru)

## Лабораторная работа 1

### Исследование режимов работы электрической сети на персональном компьютере

**Цель работы:** приобретение навыков определения параметров исследования режима электрической сети переменного тока.

**Краткие сведения из теории.** При проектировании и эксплуатации электрических сетей необходимо оценивать условия, в которых будут работать потребители и оборудование электрической сети. Такие оценки дают возможность установить допустимость предполагаемого режима электрической сети, предусмотреть мероприятия для обеспечения требуемого качества электроэнергии и найти оптимальные условия для передачи требуемого количества электроэнергии.

Задачи электрического расчета сети является определение параметров режима напряжений узловых точках сети, токов активных и реактивных мощностей, протекающих по элементам электрической сети. Исходными данными для расчета служат: схема электрических соединений сети, сопротивление и проводимости элементов сети, расчетные мощности нагрузок и заданные значения напряжений в отдельных точках.

Режим электрической сети рассчитывается применительно схеме замещения, которая получается в результате объединения схем замещения отдельных элементов сети в соответствии с последовательностью соединения этих элементов рассматриваемой сети.

В расчетных схемах электрических сетей до 35 кВ включительно линий электропередачи представляется их активными и индуктивными сопротивлениями, линией районных сетей 110 – 220 кВ входят в расчетные схемы П – образными схемами замещения.

Режим работы каждой линии электропередачи характеризуется величинами и фазами токов и напряжений, значениями активной и реактивной мощностей по концам передачи. Важными характеристиками режима линии являются значения потери и падения напряжения и потерь мощности.

Рассмотрим линию электропередачи с нагрузкой на конце (рис.1) и определим все параметры, характеризующие режим данной линии. Допустим, что линия относится к районной сети то есть имеет номинальное напряжение 110 или 220 кВ, тогда в расчетах она представляется П- образной схемой замещения (рис. 2). Предположим, что заданными величинами являются напряжение в конце линии  $U_2$  и нагрузки, а также параметры линии  $R_{л}$ ,  $X_{л}$ ,  $B_{л}$ . Требуется определить: напряжение и тока в начале линии  $U_1$ ,  $I_1$ , падение напряжения и потери напряжения. Чтобы найти напряжения  $U_1$ , необходимо определить падение напряжения в сопротивлениях  $R_{л}$  и  $X_{л}$  при протекании тока  $I_2$  который можно найти по закону Кирхгофа.

$$I_2 = \dot{I}_2 + jib_2, \quad (1)$$

где  $i_{b2} = U_2 b_n / 2$  – ток в емкостной проводимости

Тогда падение напряжения в линии находится как

$$\Delta U_n = \dot{I}_2 Z_n = (I_{2a} - jI_{2p})(R_n + jX_n) = I_{2a}R_n + I_{2p}X_n + j(I_{2p}X_n - I_{2p}R_n) = \Delta U + j\delta U, \quad (2)$$

где  $I_{2a}, I_{2p}$  – активная и реактивная составляющие тока  $I_2$

Напряжение в начале линии

$$U_1 = U_2 + \Delta U_n = U_2 + I_{2a}R_n + I_{2p}X_n + j(I_{2p}X_n - I_{2p}R_n) = U_2 + \Delta U + j\delta U. \quad (3)$$

Модуль напряжения  $U_1$  (при совмещении вектора напряжения  $U_2$  с вещественной осью)

$$U_1 = \sqrt{(U_2 + I_{2a}R_n + I_{2p}X_n)^2 + (I_{2p}X_n - I_{2p}R_n)^2}. \quad (4)$$

Ток  $I_1$  найдется как

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_2 + j i_{b1}, \quad (5)$$

где  $i_{b1} = U_1 b_n / 2$

На рисунке 3 изображена векторная диаграмма токов и напряжений линии.

Геометрическая разность между векторами напряжений начала и конца линии называется падением напряжения (отрезок АВ), т.е.

$$\Delta \dot{U}_n = \dot{U}_1 - \dot{U}_2. \quad (6)$$

На диаграмме  $\Delta U$  (отрезок АД)-продольная составляющая падения напряжения,  $\delta U$  (отрезок ВД)-его поперечная составляющая.

Алгебраическая разность между напряжениями начала и конца линии называется потерей напряжения  $|\Delta U_n|$

$$\Delta \dot{U}_n = |\dot{U}_1| - |\dot{U}_2|. \quad (7)$$

На векторной диаграмме потери напряжения соответствует отрезок АЕ. Как видно из диаграммы потери напряжения незначительно отличаются от продольной составляющей падения напряжения, поэтому в практических расчетах как правило потери напряжения приравнивают продольной составляющей падения напряжения, т.е.  $\Delta U'_n = \Delta U$ .

Сдвиг напряжения по фазе за счет поперечной составляющей падения напряжения определяется выражением (рис. 3)

$$\delta = \arctg \frac{\delta U}{U_2 + \Delta U} \quad (8)$$

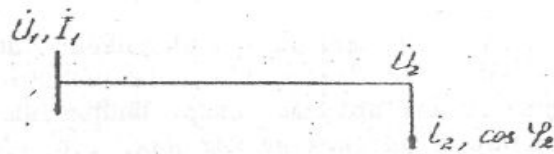


Рис. 1

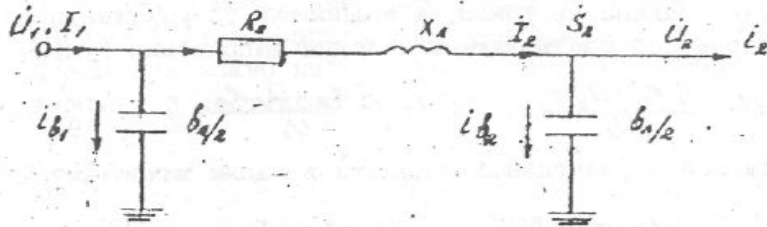


Рис. 2

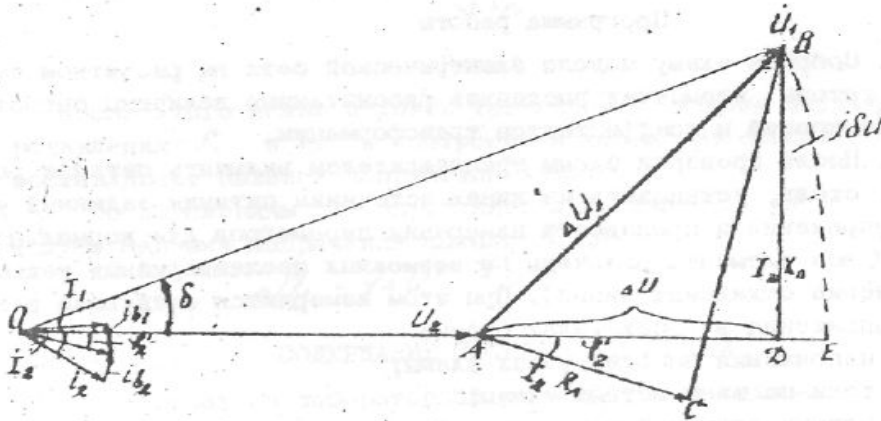


Рис. 3

Если нагрузка задана не током, а мощностью то выражение для продольной и поперечной составляющих падения напряжения будут иметь вид:

$$\Delta U = \frac{P_2 R_{л} + Q_2 X_{л}}{U_2}; \delta U = \frac{P_2 X_{л} - Q_2 R_{л}}{U_2} \quad (9)$$

Потери активной и реактивной мощности в линии вычисляются по формулам:

$$\Delta P_{л} = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{ном}^2} R_{л}; \Delta Q_{л} = \frac{P_2^2 + Q_2^2}{U_{ном}^2} X_{л} \quad (10)$$

Методические указания:

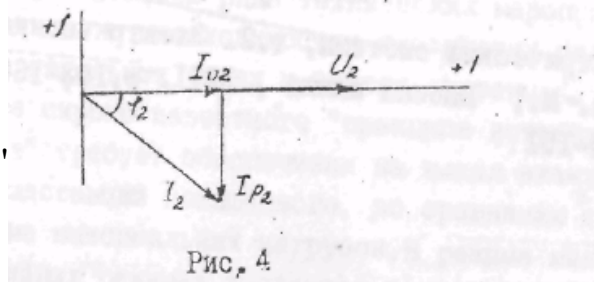
При построении векторной диаграммы следует иметь в виду, что угол сдвига между вектором тока и вектором напряжения в конце линии неизвестен

Направление вектора тока по отношению к вектору напряжения можно найти построением, определив значения активной и реактивной составляющих тока:

$$I_{2a} = \frac{P_2}{U_2}; I_{p2} = \frac{Q_2}{U_2}$$

где  $P_2, Q_2, U_2$  значения мощностей и напряжения в конце линии,

Затем, совмещая вектор напряжения с вещественной осью построением можно определить направление и величину тока в конце ;линии (рис.4).



После этого можно строить треугольник падения напряжения на сопротивлениях  $R_{л}$  и  $X_{л}$  и построением найти продольную и поперечную составляющие падения напряжения (рис.3).

По выражениям (9) определяются их значения расчетным путем. Модуль падения напряжения находится как

$$\Delta U_{л} = \sqrt{\Delta U^2 + \delta U^2}$$

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Схему электрической сети с указанием на ней типа оборудования и параметров исходного режима.
2. Таблицу результатов замеров параметров режима на модели и пересчитанных значений параметров для действительной сети,
3. Результаты анализа полученных данных с пояснением причины изменения уровня напряжения в отдельных точках сети.
4. Построенную, в масштабе векторную диаграмму токов и напряжения и их сравнения с аналогичными, найденными из векторной диаграммы.

### Контрольные вопросы

1. Какими схемами замещения при расчете режима представляются линии электропередач.
2. Как определяется величина потери напряжения в линии?;
3. Что такое падение напряжения?
4. Почему в практических расчетах потеря напряжения приравнивается продольной составляющей падения напряжения?
5. Какова последовательность построения векторной диаграммы по данным конца линии электропередачи?

## Регулирование напряжения в электрических сетях с помощью трансформаторов и компенсирующих устройств

**Цель работы:** Изучение средств и способов регулирования напряжения в электрических сетях, приобретение навыков выбора рабочих ответвлений на трансформаторах с РПН и мощности фазокомпенсирующих устройств, обеспечивающих требуемый уровень напряжения в различных точках электрической сети.

**Краткие сведения из теории.** Обеспечение требуемого качества напряжения в электрической системе достигается с помощью ряда технических мероприятий, основные из которых связаны с необходимостью достижения баланса реактивной мощности в отдельных узлах и частях системы.

Использование широко известного "принципа встречного регулирования напряжения" требует обеспечения на шинах электростанций и вторичных шинах подстанций повышенного, по сравнению с номинальным, напряжения в режиме максимальных нагрузок. В режиме минимальных нагрузок и после аварийных режимах требуется поддерживать напряжение на уровне номинального.

Для обеспечения максимального приближения к указанным уровням напряжений следует достаточно полно использовать все установленные в заданной энергосистеме средства регулирования напряжения с учетом заложенных в них возможностей. В первую очередь это достигается регулированием возбуждения генераторов на электрических станциях и выбором соответствующих значений коэффициентов трансформации трансформаторов.

На шинах генераторного напряжения электрических станций напряжение может изменяться в пределах  $0,95 U_{г. ном} \leq U_{г. ном} \leq 1,05 U_{г. ном}$ . При этом следует иметь в виду, что стандартное напряжение генератора  $U_{г. ном}$  в свою очередь выше номинального напряжения сети 5%.

В силовых трансформаторах различают два типа исполнения встречного регулирования напряжения:

1. Регулирование с ПБВ (переключение без возбуждения), позволяющее изменять коэффициент трансформации только при отключении трансформатора от сети.

2. Регулирование с помощью РПН (регулирование под нагрузкой; в маркировке трансформатора ставится буква "Н"), позволяющее производить изменение коэффициента трансформации без отключения трансформатора.

В обоих случаях ответвления располагаются по обе стороны от основного вывода трансформатора, увеличивая или уменьшая через определенные ступени регулирования ( $\Delta U_{отв}$ ) число витков данной обмотки. Количество положительных и отрицательных ответвлений ( $-+n$ ), а также величина ступени регулирования  $U_{отв}$  зависят от типа трансформатора и указывается в его паспортах данных.



Регулировочные ответвления у двух обмоточных трансформаторов располагаются обычно на обмотке высшего напряжения, у автотрансформаторов - в нейтрале или обмотке среднего напряжения.

Трансформаторы с ПБВ имеют по два или одному ответвлению по обе стороны от основного вывода со ступенями регулирования в первом случае 2,5% и во втором –5%. При этом диапазон регулирования напряжения будет равен  $\pm 5\%$ . Такие трансформаторы устанавливаются главным образом на отправных повысительных подстанциях электростанций и на маломощных подстанциях распределительных сетей 6–10 кВ.

На районных и особенно удаленных тупиковых подстанциях устанавливаются, как правило, трансформаторы и автотрансформаторы с регулированием коэффициента трансформации риац1Ш иод нагрузкой к широким располагаемым диапазоном регулирования напряжения  $\pm(9 - 16)\%$ , а число ответвлений может достигать  $\pm 10$ . Так например, двух обмоточные трансформаторы СРПН и высшим напряжением 110 кВ имеют как правило, пределы регулирования  $\pm 9 \times 1,78 \%$ , а трансформаторы 220 кВ  $\pm 8 \times 1,5 \%$ .

Силовые автотрансформаторы с высшим напряжением 150 – 330 кВ имеют РПН только на стороне среднего напряжения. При необходимости регулирования напряжения на стороне низшего напряжения в этом случае требуется применение дополнительных мероприятий, одним из которых может быть установка последовательных регулировочных трансформаторов.

В тех случаях, когда регулировочный диапазон трансформаторов оказывается недостаточным для обеспечения требуемых уровней напряжения могут быть использованы такие мероприятия, как продольная емкостная компенсация индуктивного сопротивления питающей линии электропередачи; компенсация части реактивной нагрузки подстанции путем установки синхронных компенсаторов или батарей статистических конденсаторов.

В обеих этих случаях повышение уровня напряжения у потребителя достигается за счет уменьшения потери напряжения из-за уменьшения реактивного сопротивления в первом случае и потока реактивной мощности во втором.

Задания и методические указания.

Способы регулирования напряжения исследуется на примере схемы районной электрической сети, расчет режима которой проведен в лабораторной работе №1. Используя результаты расчета режима в соответствии с принципом встречного регулирования напряжений, требуется обеспечить желаемый уровень напряжения равной  $1,05 U_{ном}$ . На шинах 10 кВ. подстанций №1 и №3 путем выбора соответствующего трансформаций, компенсацией части реактивной мощности нагрузки и продольной емкостной компенсацией индуктивного сопротивления линий электропередачи питающей подстанцию №3

Программа работы:

1. Определить коэффициент трансформации трансформаторов на подстанции 1, при котором обеспечивается желаемый уровень напряжения.
2. Определить коэффициент трансформации модельного трансформатора.

3. Рассчитать мощность и емкость батареи конденсаторов (в реальной сети и масштабе модели), обеспечивающей желаемый уровень напряжения на подстанции №3.
4. Рассчитать емкость установки продольной компенсации индуктивного сопротивления линий электропередач 35кВ, обеспечивающей желаемый уровень напряжения на подстанции 3.
5. Установить на модели нужные значения коэффициента трансформации емкостей батареи конденсаторов установки продольной компенсацией и компенсацией реактивной мощности (поочередно) и замерить уровни напряжения на подстанции п/ст №1 и №3.

Методические указания:

Выбрать необходимое регулировочное ответвление, обеспечивающее желаемое напряжение  $U_{2ж}$  на шинах подстанции 10 кВ п/ст 1, можно следующим образом.

1. Вычисляем расчетное значение напряжения регулировочного ответвления ( $U_{отв.р}$ ) по выражению

$$U_{отв.р} = (U_1 - \Delta U_T) U_{нн.ном} / U_{2ж}, \quad (1)$$

где  $U_1$ -значение напряжения на шинах высшего напряжения п/ст 1 (берется из результатов расчета режима в лаб. работе №2);

$\Delta U_T = U_1 - U'_2$  – потеря напряжения в трансформаторах;

$U'_2$ - напряжения на шинах 10 кВ п/ст 1, приведенное к стороне высшего напряжения;

$U_{нн.ном}$  номинальное напряжение обмотки низшего напряжения;

Величина  $\Delta U_T$  подставляется в формулу (1), рассчитывается как

$$\Delta U_T = \frac{P_{H1} R_T + Q_{H1} X_T}{U_1} \quad (2)$$

где  $R_T$  и  $X_T$  –сопротивления двух параллельно работающих трансформаторов.

2. Определяем намер ближайшего стандартного ответвления  $n_{ст.}$ , используя выражение

$$U_{ВН.НОМ} (1 \pm n_p \Delta U_{отв}) = U_{отв.р}, \quad (3)$$

откуда  $\pm n_p = (U_{отв.р} / U_{ВН.НОМ} - 1) / \Delta U_{отв}$ ,

где  $U_{ВН.НОМ}$  номинальное напряжение обмотки высшего напряжения трансформатора.

Стандартное значение  $n_{ст.}$  получаем путем округления расчетного значения числа ответвлений  $n_p$  до ближайшего целого значения в пределах располагаемого диапазона регулирования.

3. Определяем значение коэффициента трансформации

$$K_T = U_{отв.ст} / U_{нн.ном},$$

где  $U_{отв.ст.}$  - стандартное напряжение ответвления, полученное по выражению (2), в котором вместо  $n_p$  необходимо подставить  $n_{ст.}$ .

### Контроль качества напряжения в электрических сетях

**Цель работы:** В процессе выполнения данной работы студенты знакомятся с вероятностно-статистическим методом анализа режимов напряжения в электрических сетях, исследуют напряжения в контрольных точках сложно-замкнутой сети.

По данным измерений строят гистограмму распределений напряжения, вычисляют вероятность нахождения напряжения в заданном интервале в течение рассматриваемого периода времени, а также определяют математические ожидание и дисперсию случайной величины (напряжения).

**Краткие сведения из теории.** С течением времени а условиях эксплуатации электрических сетей изменяется их параметры и нагрузки. Качество электроэнергии характеризуется определенными показателями, относящимися к частоте переменного тока и режиму напряжений. Качество электроэнергии влияет на работу электроприемников, а также на работу электрических аппаратов, присоединенных к электрическим сетям. Все электроприемники и аппараты характеризуются определенными номинальными параметрами ( $U_{ном}$ ,  $I_{ном}$ ,  $S_{ном}$  и т.д.). Обычно предполагается, что работа при этих параметрах является наиболее целесообразной с технической и экономической точек зрения. В связи с этим требуется систематическая проверка соответствия всех условий работы сети предъявляемым требованиям. Изменение частоты и напряжения по сравнению с номинальными значениями вызывают изменения технических и экономических показателей работы электроприемников и аппаратов.

В частности, должен осуществляться контроль за одним из основных показателей качества электроэнергии – напряжением.

Качество напряжения, или режим напряжений в электрической сети, характеризуется совокупностью действительных значений напряжения в характерных пунктах этой сети. В пределах электрической сети одной ступени трансформации значения напряжения изменяются в относительно небольших пределах, поэтому более показательными являются не полные значения напряжений, а значения отклонений напряжения  $\Delta U$ , обычно выражающиеся в процентах от номинального значения.

Под контролем за качеством напряжения обычно понимается контроль за несимметрией, несинусоидальностью и за отклонениями напряжения в нормальных, установившихся длительных эксплуатационных режимах.

Следует различать понятия отклонения ( $U_o$ ) и колебания ( $U_k$ ) напряжения. Колебания напряжения ( $U_k$ ) характеризуется относительной разностью между наибольшим  $U_{нб}$  и наименьшим  $U_{нм}$  действующими значениями напряжения при скорости изменения напряжения, равной не менее 1% в секунду, т.е.

$$U_k = \frac{U_{нб} - U_{нм}}{U_{ном}} 100 \% .$$

Допустимые значения колебаний напряжения зависят от частоты их возникновения.

Колебания напряжения нормируются для осветительных ламп и радиоприборов.

Для остальных электроприемников колебания напряжения не нормируются.

Если же мы говорим о колебании ( $U_{\kappa}$ ) напряжения, то при этом под отклонениями обычно понимаем медленные плавные изменения напряжения, обусловленные изменением нагрузки во времени.

В данной работе рассматриваются отклонения напряжения -разность между фактическим, действующим и номинальным ( $U_{ном}$ ) значениями, отнесенная к номинальному напряжению данной сети.

$$U_o = \frac{U - U_{ном}}{U_{ном}} 100 \% .$$

По ГОСТ 13109-97 в условиях нормальной работы допускаются следующие предельные отклонения от номинального напряжения:

- а) на зажимах приборов рабочего освещения от-2,5 до+5%;**
- б) на зажимах электродвигателей и аппаратов для их пуска и управления от-5 до+10%;**
- в) на зажимах остальных электроприемников в пределах -+5%.**

В послеаварийных режимах допускается дополнительное понижение напряжения на 5%. 95% отпущенной потребителю электроэнергии должны соответствовать этим требованиям. Изменение напряжения оказывает неблагоприятное влияние на работу осветительных ламп и асинхронных двигателей, составляющих вместе с лампами значительную часть всех приемников электроэнергии в системе. К отрицательным последствиям приводят как понижение, так и повышение напряжения на зажимах этих приемников по отношению к номинальному значению. Снижение напряжения вызывает резкое уменьшение светового потока ламп накаливания и их коэффициента полезного действия. При напряжении на 10% меньшем номинального световой поток ламп уменьшается на 30%.

При работе ламп накаливания с напряжением, превышающим номинального значения; их световой поток заметно повышается, но вместе с тем значительно уменьшается их срок службы. Так, при повышении напряжения на 10% световой поток ламп увеличивается, примерно, на 30 %, а срок службы ламп сокращается почти в 3 раза.

Снижение напряжения особенно опасно в сети электрической системы, характеризующейся невысоким уровнем устойчивости. Здесь понижение напряжения может явиться причиной массового останова.

Существенное изменение характеристик нагрузок при отклонениях от номинального напряжения на ее зажимах приводит к необходимости ограничивать эти отклонения некоторыми предельными допустимыми значениями.

Опыт показывает, что допустимые отклонения от номинального напряжения должны быть относительно небольшими. При этом часто приходится применять специальные устройства для регулирования напряжения.

Нагрузки электрической сети в большинстве случаев являются случайными функциями времени. Поэтому изменение напряжений в отдельных пунктах сети и на зажимах электроприемников также имеет случайный характер. Наиболее обоснованным для определения этих изменений является применение вероятностно-статистических методов, в которых процессы изучаются на основании обобщенных показателей, его характеризующих. При применении вероятностных методов расчетов с достаточной достоверностью может быть оценена вероятность возникновения тех или иных отклонений напряжения.

Во всех случаях при использовании вероятностных методов рассматривают не действительные значения  $U$  или  $I$ , а так называемые, их кривые распределения, устанавливающие связь между возможными значениями случайных величин и вероятностью их появления. Очевидно, что величина  $U_0$  может иметь ряд возможных значений, каждому из которых соответствует свое значение  $P$

Контроль за режимов напряжений должен быть длительным с фиксацией существующего положения и статистической обработкой результатов.

Наиболее действительным является контроль за качеством напряжения в контрольных точках сети по гистограммам отклонения напряжения. Гистограммой называется графическое представление статистического ряда исследуемого параметра режима, изменение которого носит случайный характер. При этом диапазон изменения напряжения разделен на интервалы. Для каждого интервала  $L$  определяется частота (вероятность) значений данной случайной величины напряжения в пределах этого интервала  $P_i = n_i/n$ , где ( $n$  общее число приведенных измерений;  $n_i$ -число попаданий напряжения в  $i$ - тый интервал).

По гистограмме можно судить о допустимости процесса изменения напряжения (рис.1).

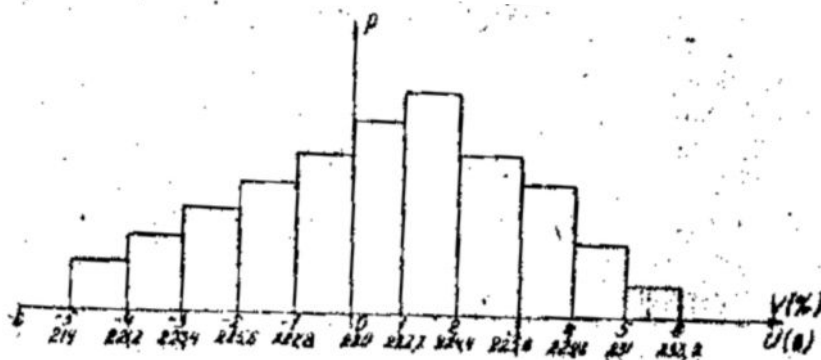


Рис.1 Гистограмма случайной величины

Среднее ожидаемое значение случайной величины в теории вероятностей называют ее математическим ожиданием. При статическом определении мате-

математическое ожидание равно среднему арифметическому наблюдаемых значений.

Для дискретно изменяющийся случайной величины статистическое ожидание равно

$$V = \frac{\sum_i^n V_{oi}}{n}.$$

В качестве обобщенного показателя рассеяния, разбросанности значений отклонений от математического ожидания принимают дисперсию случайной величины (Д).

Она равна математическому ожиданию квадрата отклонения случайной величины от ее математического ожидания. При статистическом определении вероятности для дискретно изменяющийся величины дисперсия будет равна

$$\sigma^2 = \frac{\sum_i^n (V_{oi} - \bar{V})^2}{n}.$$

Величину  $\sigma$ , равную среднему квадратичному отклонению от математического ожидания, называют стандартным отклонением.

Гистограммы отклонений напряжения в каком либо пункте сети или на зажимах электроприемников могут получены с помощью специального прибора (статистического анализатора качества напряжения – САКН). Анализ гистограммы позволяет в рассматриваемом пункте сети и принят соответствующие меры для его улучшения, если это необходимо

Исследуемый диапазон напряжения с помощью САКН можно разбить 8 интервалов. Число попаданий напряжения в данный интервал фиксируется соответствующим счетчиком САКН. Контролирует напряжение через каждые 0,5-2 мин. По полученным данным можно построить гистограммы отклонений напряжения в местах присоединения САКН к сети, определить математическое ожидание и стандартное отклонение напряжения в этих точках.

### Контрольные вопросы

1. Какие существуют показатели качества электроэнергии?
2. Что называется гистограммой отклонений напряжения? Для чего она строится
3. Из-за чего в электрической сети возможна несимметрия напряжения.
4. Какие существуют нормы на отклонения напряжения от номинального

### Исследование режимов работы линии с двухсторонним питанием

На линиях связи двух сельских электрических станций 10—35 кВ, как правило, допускается небольшое количество ответвлений к потребителям.

В лаборатории электрических сетей учащиеся на примерке модели линии с двухсторонним питанием экспериментальным путем устанавливают точки токораздела активного и реактивного токов, распределение напряжения вдоль линии как при нормальном, так и при аварийном режимах.

В лаборатории представлен стенд, состоящий из принципиальной схемы линии с двухсторонним питанием и схемы примерной модели линии (рис. 1 и 2).

В лаборатории создаются в однофазном исполнении примерные электрические модели реальных электрических линий и сетей. Для соблюдения подобия вводятся масштабные коэффициенты подобия — масштабы напряжения, тока, сопротивления, мощности. Масштаб напряжения— $m_U$  (вольт реальной установки, деленный на вольт модели); масштаб тока— $m_I$  (ампер реальной установки, деленный на ампер модели); масштаб сопротивлений  $m_Z$  (ом реальной установки, деленный на ом модели); масштаб мощности —  $m_S$  (вольт-ампер реальной установки, деленный на вольт-ампер модели). Нет необходимости задаваться всеми масштабными коэффициентами. Достаточно задаться только двумя, два других получаются по известным соотношениям. Обычно задаются масштабами напряжения и сопротивления  $m_U$  и  $m_Z$ , а другие масштабы получают из формул:

$$m_I = \frac{m_U}{m_Z}; m_S = m_U m_I$$

На схеме (рис. 1) показаны 2 источника питания (A и B) и 4 потребителя ( $S_1$ ;  $S_2$ ;  $S_3$ ;  $S_4$ ), имеющие различные коэффициенты мощности.

Описание схемы примерной модели линии с двухсторонним питанием. Режимы работы линии с двухсторонним питанием исследуют по однофазной схеме, собранной из следующих элементов:

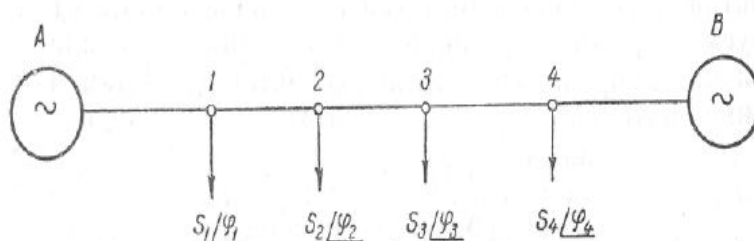


Рис. 1

1) двух автотрансформаторов (один из которых с переходным трансформатором), имитирующих источники питания A и B;

- 2) активных сопротивлений по 5 ом, имитирующих полные сопротивления участков высоковольтной линии;
- 3) дросселей ( $Z_{H-1}$ —  $Z_{H-4}$ ), имитирующих потребители с коэффициентом мощности, равным 0,8—0,9.

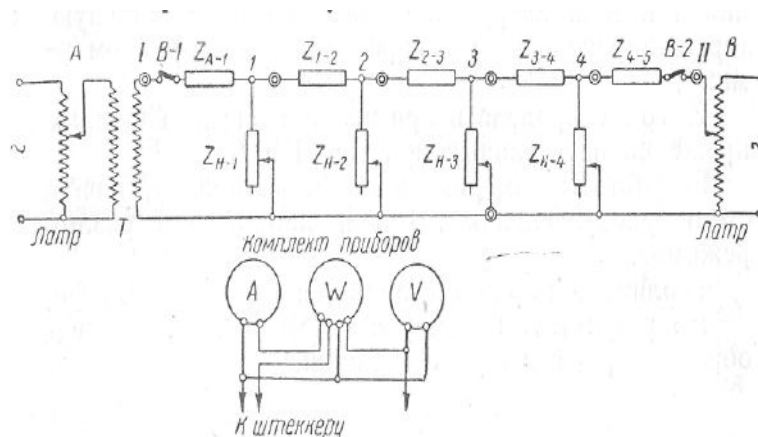


Рис. 2

Стенд, кроме того, снабжен выключателями В-1 и В-2 источников тока Лий и набором измерительных приборов: амперметром, вольтметром и ваттметром.

Измерительные приборы собраны по известной схеме и включаются в гнезда различных точек линии при помощи штеккера (см. рис. 2).

Питание на стенд подается через установленный на нем рубильник.

**Порядок проведения работы.** При отключенных от схемы источниках питания (В-1 и В-2 разомкнуты) подается питание на стенд. Вставив штеккер сначала в гнездо I, а затем II, при помощи автотрансформаторов устанавливают необходимое напряжение источников питания величиной 100—120 в. В зависимости от требуемого режима, устанавливается одинаковое или различное напряжение источников питания. Затем источники питания выключателями В-1 и В-2 подключают к модели линии с двух сторон. Вставляя штеккер в различные гнезда вдоль линии, замеряют напряжение, ток и мощность в различных точках линии с двухсторонним питанием. По показаниям приборов определяют точки токораздела активного и реактивного токов, для чего делают соответствующие вычисления.

1. Определить точку токораздела активного и реактивного токов при одинаковых напряжениях источников питания А и В, приведенном и выведенном реостате третьей Нагрузки ( $Z_{H-3}$ ). Замерить напряжение вдоль линии и токи нагрузок. Определить максимальную потерю напряжения при нормальном и аварийном режимах.

2. То же проделать при неодинаковых величинах напряжений питательных пунктов А и В.

Результаты замеров записать в таблицу, начертить схемы распределения токов и напряжений различных режимов.



Таблица замеров составляется по свободной форме. По результатам замеров сделать выводы о целесообразных режимах работы линии.

### **Контрольные вопросы**

1. Каковы преимущества и недостатки линий с двухсторонним питанием?
2. Как распределяется потеря напряжения вдоль линии с двухсторонним питанием?
3. Как (перемещаются потоки энергии при изменении напряжений источников питания по величине и фазе?
4. Назовите примеры линий с двухсторонним питанием.

### **Содержание отчета**

1. Принципиальная схема линии с двухсторонним питанием и схема примерной модели.
2. Таблица замеров.
3. Схемы распределения токов и напряжений.

## **Лабораторная работа 5**

### **Изучение режимов работы сложных замкнутых сетей**

В сельском хозяйстве в настоящее время преобладают радиальные линии. Однако они имеют существенный недостаток, заключающийся в том, что аварии на головных участках магистрали приводят к прекращению питания всех потребителей данной линии. В сельскохозяйственном производстве имеются потребители, не терпящие перерывов в снабжении электроэнергией (птицефермы, животноводческие фермы и т. д.). Поэтому возникает потребность в обеспечении надежности электроснабжения. Эта надежность повышается, если создать резервные источники энергии для таких потребителей. Одним из вариантов увеличения надежности электроснабжения является создание замкнутых сетей. Замкнутой сетью называется такая электрическая сеть, каждая точка магистралей которой может получать питание не менее чем с двух сторон. Примером простой замкнутой сети является линия с двухсторонним питанием (работа 4).

В лаборатории на модели сложной замкнутой сети с тремя источниками питания экспериментальным путем находят распределения токов по отдельным ветвям и уровни напряжений для конкретного варианта. Опытные данные сравнивают с расчетными и делают выводы по допустимости того или иного режима работы.

**Описание установки.** На лицевой стороне стенда установки приведены принципиальная схема с тремя источниками питания (рис. 1) и схема ее примерной модели (сопротивления, замещающие участки линий и нагрузок, смонтированы с обратной стороны стенда) Источниками питания сети (А, В, С) на модели (рис. 2) являются три лабораторных автотрансформатора (ЛАТР № 1—3).

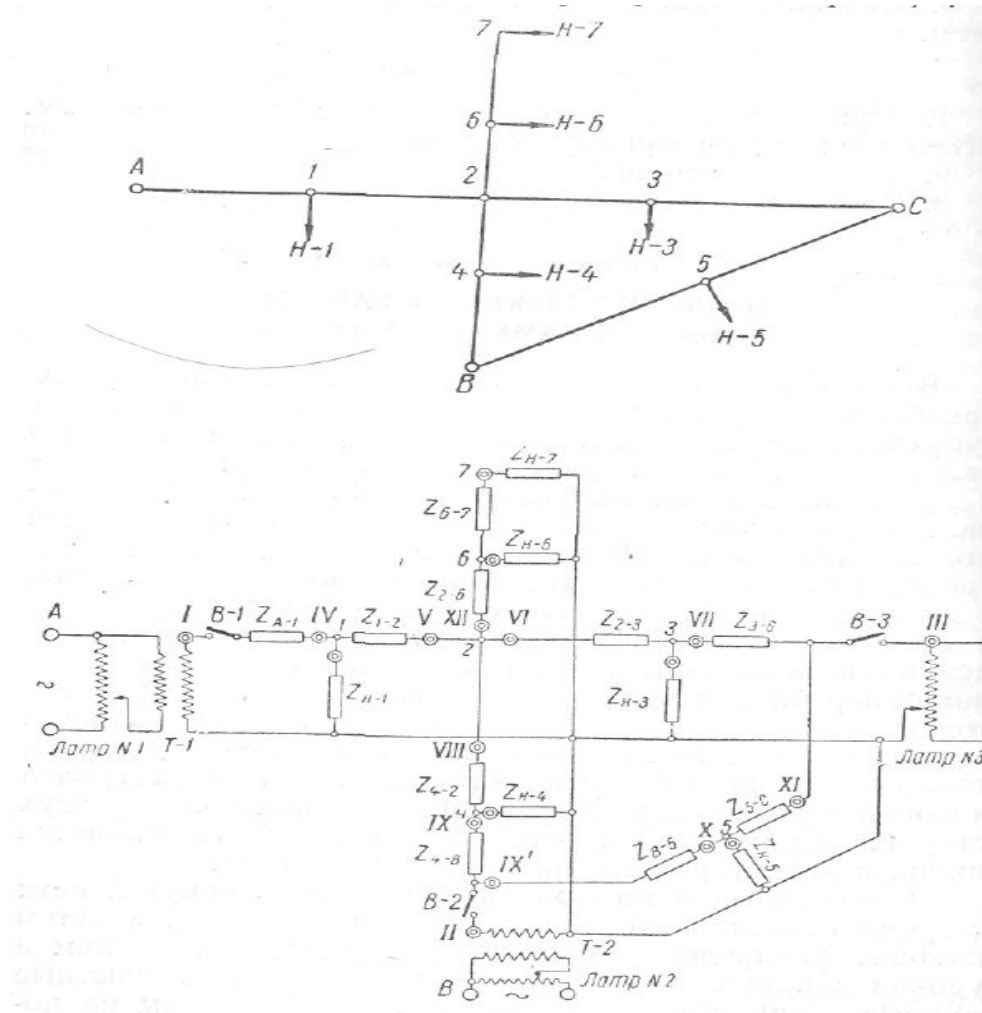


Рис.1 и 2.

Участки линий замещены 10 сопротивлениями и нагрузки 7 сопротивлениями ( $Z_{H-1} - Z_{H-7}$ ).

Источники питания включают выключателями: В-1, В-2 и В-3. Для замера токов, напряжений и мощностей у источников питания штеккер вставляют в гнезда I, II и III. Эти же величины по участкам измеряют в точках, обозначенных римскими цифрами. Сопротивления трех-четырех нагрузок могут быть представлены в нескольких вариантах.

### Порядок проведения работы.

1. Установить соответствующие величины напряжений источников питания.
2. Подобрать заданные сопротивления потребителей.
3. Замерить токи, напряжения и мощности в различных точках сети.

4. Пользуясь масштабом модели, вычислить реальные значения токов и мощностей.
5. Сравнить данные, полученные опытным путем, с расчетными.
6. Опыт повторить для случая прекращения питания одним из источников и сравнить опытные данные с расчетными.

### **Контрольные вопросы**

1. В чем заключаются преимущества и недостатки замкнутых сетей?
2. Какие существуют способы преобразования сетей?
3. Какое напряжение у потребителя считается допустимым при прекращении подачи питания одним из источников замкнутой линии?
4. В чем заключается сложность защиты замкнутых сетей от коротких замыканий?

### **Содержание отчета:**

1. Схемы сети и модели.
2. Результаты замеров и расчетов опытного определения величин.
3. Расчетные данные аналитического определения величин.
4. Выводы по режимам работы замкнутой сети.

## **Лабораторная работа 6**

### **Исследование режимов работы сельской радиальной сети и обоснование допустимых потерь напряжений и величин надбавок трансформаторов**

Как известно, допустимая потеря напряжения в различных ступенях сельской радиальной линии зависит от режимов напряжения источника питания, величин надбавок у трансформаторов, графиков нагрузки потребителей и допустимых отклонений напряжения у потребителя.

Согласно Руководящим указаниям по проектированию сельских электроустановок, допустимые отклонения напряжения у потребителя должны находиться в пределах от -10 до +7,5%. Первая цифра относится к режиму максимальных нагрузок линии, вторая - к режиму минимальных нагрузок.

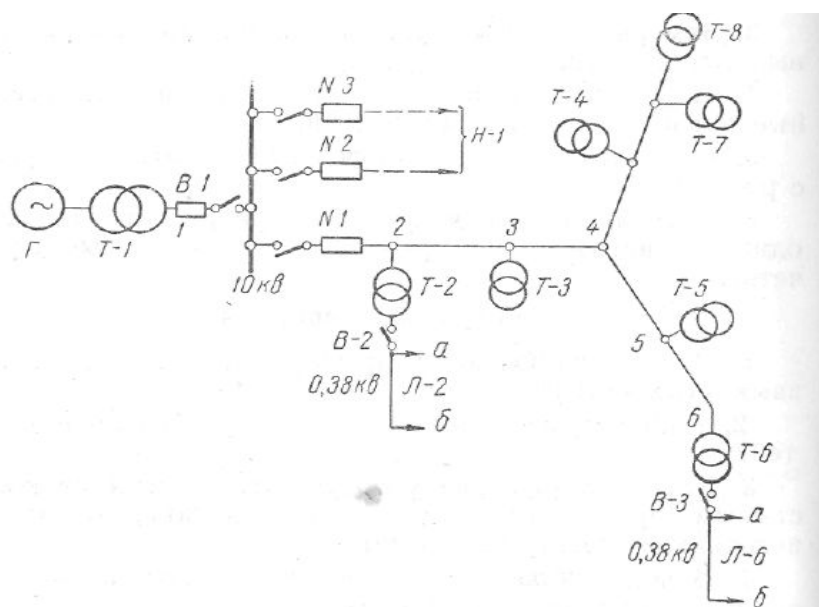


Рис.1

В лаборатории экспериментальным путем по схеме сетей сельскохозяйственного района (рис. 1) и схеме модели этих сетей (рис. 2) определяют целесообразные надбавки напряжения у трансформаторов в различных ступенях линии и сравнивают с вариантами теоретически найденных значений, для чего составляют таблицы отклонений напряжения для различных вариантов и режимов работы.

**Описание принципиальной схемы сетей сельскохозяйственного района.** На рисунке 1 представлена однолинейная схема электрических соединений питательного пункта — электрической станции с генераторами ( $G$ ), работающими в блоке с по выси те льны ми трансформаторами ( $T-1$ ),

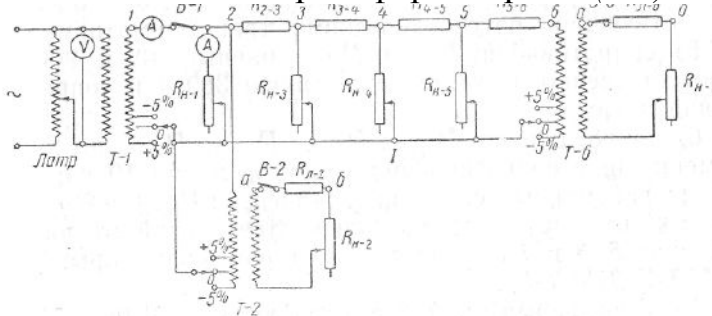


Рис. 2.

которые через высоковольтные выключатели (В-1) и разъединители подключены к шинам высокого напряжения (например, 10 кВ).

От шин электрической станции отходят три высоковольтные линии через разъединители и Выключателя к потребительским понизительным трансформаторным подстанциям (10/0,4 кВ) сельскохозяйственного района, разбросанным обычно на значительной территории в радиусе 15—20 км от источника питания.

На схеме подробно показан только фидер № 1, на примере которого проводятся исследования.

У потребительских трансформаторов Т-2 и Т-6 схематически указаны также низковольтные линии с ближайшим от ТП потребителем (а) и удаленным (б), который обычно находится в конце линии ; низкого напряжения.

Исследование сети проводится, на примере двух ТП (Т-2 и Т-6).

Описание схемы модели сетей сельскохозяйственного района. Исследование режимов работы трехфазных сетей сельскохозяйственного района проводится на модели, собранной по однофазной схеме. Схема модели приведена на рисунке 66 и содержит в себе следующее:

- 1) лабораторный автотрансформатор (*ЛАТР*), имитирующий источник питания (генератор  $G$ );
- 2) трансформатор Т-1 с отпайками +5; 0; —5%, имитирующий силовой трансформатор блока;
- 3) реостат  $R_{Н-1}$  (на 140 ом), представляющий нагрузку двух линий (фидер № 2 и фидер № 3);
- 4) трансформатор Т-2 с отпайками +5; 0; —5%, соответствующий потребительскому трансформатору Т-2;
- 5) сопротивления  $R_{Л-2}$  и  $R_{Н-2}$ , равные 40 и 900 ом соответственно, имитирующие линию 380 в и сопротивление нагрузки;
- 6) сопротивления  $R_{2-3}$ ;  $R_{3-4}$ ;  $R_{4-5}$ ;  $R_{5-6}$ ; по 2 ом, замещающие сопротивления участков линии 10 кВ
- 7) переменные сопротивления  $R_{Н-5}$ ;  $R_{Н-3}$ ; и  $R_{Н-4}$ ; по 300 ом, имитирующие нагрузки ответвлений от линии в точках 5. 3 и 4 соответственно (трансформаторы: Т-3; Т-4 Т-7 Т-8 Т-5);
- 8) трансформатор Т-6 с отпайками +5; 0; —5% — потребительский трансформатор Т-6,
- 9) сопротивления  $R_{Л-6}$ ; и  $R_{Н-6}$ ; по 20 и 900 ом соответственно, имитирующие провода линий 380 в и сопротивление нагрузки; сопротивления  $R_{Н-1}$ ; и  $R_{Н-6-3}$ ; переменные регулируемые, а сопротивления  $R_{2-3}$ ; -  $R_{5-6}$ ; постоянные по своей величине;
- 10) в стенд вмонтированы гнезда для измерения величины напряжения в различных точках сети, переключатели отпайки трансформаторов и 3 выключателя для определения напряжений холостого хода. Кроме того, стенд снабжен тремя вмонтированными приборами (вольтметр и два амперметра) и одним вольтметром повышенного класса точности с вилками для измерения напряжений в различных точках сети.

Питание на схему модели подается от сети переменного тока через рубильник, расположенный на стенде.

Порядок проведения работы. Вращая ручку лабораторного автотрансформатора, расположенного слева от стенда, поддерживают заданный режим источника питания ( $G$ ). За (величиной напряжения источника наблюдение ведется по вольтметру, вмонтированному в щит.

Различные варианты работы линии задаются максимумом и минимумом нагрузки, что достигается поворотом до отказа в одну или другую сторону рукояток реостатов.

Максимум нагрузок принят таким, чтобы потеря напряжения в трансформаторах не превышала 4—5%. При переключении следует постоянно следить за соблюдением заданного режима напряжения источника питания (показания вмонтированного вольтметра).

При холостом ходе трансформаторов определяют коэффициенты трансформации трансформаторов Т-1, Т-2 и Т-6, а также их ответвления и надбавки.

Надбавки трансформаторов Т-2 и Т-6 определяют следующим образом. При помощи выключателя (В-2 или В-3) устанавливают холостой режим трансформатора. Вставив штекер вольтметра в гнездо с первичной стороны трансформатора (гнезда 2, б), подают на него напряжение 100 в. Затем, переставив штекер в гнездо а, со вторичной стороны измеряют напряжение при различных положениях ответвлений (—5,0, +5%). Надбавки понизительных трансформаторов, используемых в качестве понизительных, составляют 0, +5, +10%.

1. Установить определенный заданный режим источника питания по вольтметру автотрансформатора.
2. Вывести сопротивления всех реостатов (режим максимальных нагрузок).
3. Установить определенные надбавки понизительных трансформаторов (например, на нуль).
4. Замерить напряжения в точках а, б низковольтных сетей понизительных трансформаторов Т-2 и Т-6 (при замере одна вилка вольтметра находится в точке I). Если напряжения в этих точках отличаются от номинального (100 в) более чем на 10% в сторону понижения, то нужно переставить ответвления на другие положения до тех пор, пока отклонение напряжения будет не больше 10%.

*Необходимо различать ответвления трансформатора и его надбавки, имея в виду, что нормальное напряжение вторичной обмотки трансформатора по стандарту составляет 105% от номинального напряжения сети.*

5. Установить режим минимальных нагрузок (все реостаты введены) и проверить напряжение в точках а. Оно не должно превышать номинальное более чем на + 7,5%, в противном случае переставляют ответвления. Найденные таким образом оптимальные надбавки трансформаторов удовлетворяют обоим режимам работы линии (минимальному и максимальному).
6. Подобрать оптимальные надбавки, замерить напряжения вдоль линии и определить потери напряжения по участкам.
7. По данным замеров пункта 6 составить таблицу отклонений напряжения и построить эпюру напряжений вдоль линии,

### **Контрольные вопросы**

1. Как определить надбавку трансформатора?
2. Чем отличаются друг от друга надбавки понизительных и "повысительных" трансформаторов?

3. Какими преимуществами и недостатками обладает встречное регулирование напряжения?
4. Каковы преимущества местного регулирования напряжения?
5. Как составляются таблицы отклонений напряжения?

### Содержание отчета

1. Схема сетей района.
2. Схема модели сетей района.
3. Таблица замеров.
4. Таблица отклонений напряжения для целесообразного варианта положения ответвления трансформаторов.
5. График распределения напряжения от источника до удаленного потребителя по всем звеньям линии.

## Лабораторная работа 7

### Регулирование напряжения радиальной сети

При малой удельной плотности нагрузок (квт/км<sup>2</sup>) сельские электрические сети являются очень протяженными и разветвленными. В сетях, рассчитанных (по потере напряжения, плотность тока, как правило, ниже экономической. Регулирование напряжения дает возможность создать сеть с плотностью тока, близкой или равной экономической, и улучшить режим напряжения у потребителя. Существует несколько способов регулирования напряжения в сетях. Одним из способов является последовательное или параллельное включение конденсаторов. При последовательном включении конденсаторов в сеть подъем напряжения пропорционален произведению индуктивной составляющей тока нагрузки на емкостное сопротивление конденсатора

$$\Delta U_{рег} = I_r x_c$$

При параллельном включении конденсаторов подъем напряжения пропорционален произведению емкостного тока на индуктивное сопротивление сети

$$\Delta U_{рег} = I_c x_l$$

Для трехфазной сети переменного тока с продольной компенсацией существует следующее выражение потери напряжения по упрощенной формуле

$$\Delta U = \sqrt{3} [I_a R + I_r (x_l - x_c)]$$

а для сети с поперечной компенсацией

$$\Delta U = \sqrt{3} [I_a R + (I_r - I_c) x_l]$$

Регулировать напряжение включением конденсаторов можно как в высоковольтных, так и в низковольтных сетях. Параллельно включаемые конденсаторы целесообразнее применять непосредственно у потребителей реактивной мощности. В этом случае линия освобождается от передачи реактивных токов. Последовательно конденсаторы можно включить в любом месте сети. Напряжение в сети можно регулировать также добавочными автотрансформаторами, которые устанавливают в высоковольтных или низковольтных сетях,

Описание установки. На стенде представлена примерная модель одной фазы сельской радиальной электрической линии переменного тока напряжением 10 кВ. Принципиальная схема этой линии показана на рисунке 1, примерная электрическая модель линии — на рисунке 2. Питание на схему подается через рубильник, расположенный на стенде. Напряжение источника устанавливают лабораторным автотрансформатором (ЛАТР) и принимают равным 100 в.

Модель содержит в себе четыре элемента сопротивлений участков линии  $Z_L$  и три нагрузочных ответвления  $Z_H(X_H, R_H)$  и конечный трансформатор

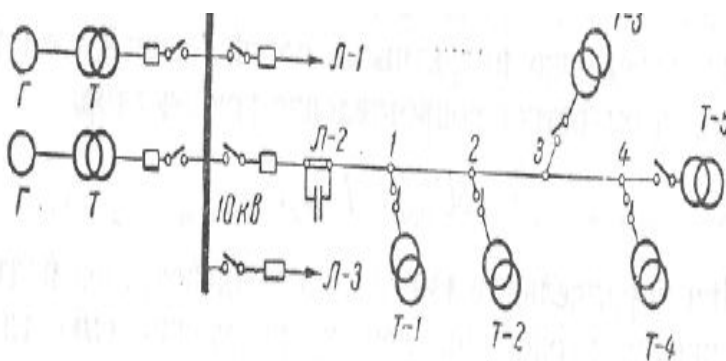


Рис.1.

с коэффициентом трансформации 1:1 и ответвлениями +5%; 0; —5%. Ток нагрузки и напряжение источника питания измеряют амперметром и вольтметром, вмонтированными в схему. Ток, напряжение и мощность по участкам измеряют соответствующими приборами и штеккером, вставляемым в гнезда 1, 2, 3 и 4.

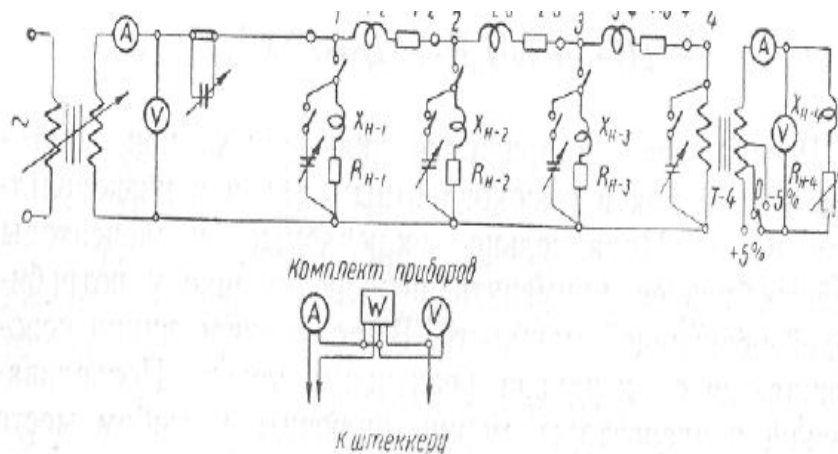


Рис.2.



Для продольной компенсации имеется набор емкостей в 315 мкф (75, 75, 75, 50, 25, 15 мкф), включаемых последовательно в начале линии. Для включения и отключения конденсаторов смонтированы выключатели. Для поперечной компенсации нагрузок 1, 2, 3 и 4 имеются емкости по 18—30 мкф, выключатели которых смонтированы над схемой модели. Во избежание подгорания контактов включать и отключать емкости продольной и поперечной компенсаций следует ори выключенном рубильнике стенда.

В работе изучается также принцип действия и устройство одноступенчатого переключаемого добавочного автотрансформатора в однофазном исполнении.

Порядок проведения работы.

1. Установить номинальное напряжение источника питания (100 в).

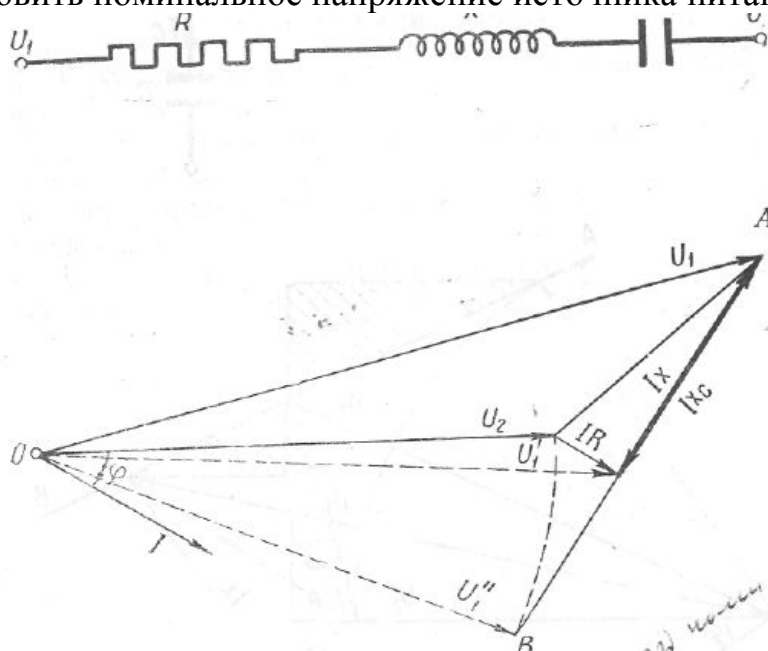


Рис.3.

2. Выключить 1,2 и 3 нагрузки.
3. Установить оптимальную надбавку трансформатора Т-4, при которой напряжение у потребителя ( $Z_{Н-4}$ ) находится в пределах допустимого (от  $-10$  до  $+7,5\%$ ).
4. Улучшить режим напряжения при помощи поперечной и продольной компенсации.
5. Включая нагрузки  $Z_{Н-3}$   $Z_{Н-2}$  и  $Z_{Н-1}$  повторить опыты.
6. Записать значения емкостей различных случаев компенсации.
7. Полученные экспериментальные значения емкостей сравнить с получающимися из расчетов.
8. Для одного из четырех случаев построить в масштабе векторные диаграммы с продольной и поперечной компенсациями (рис 3 и 4 соответственно).
9. Сравнить продольную компенсацию с поперечной по требуемой мощности конденсаторов при одинаковом эффекте по подъему напряжения.

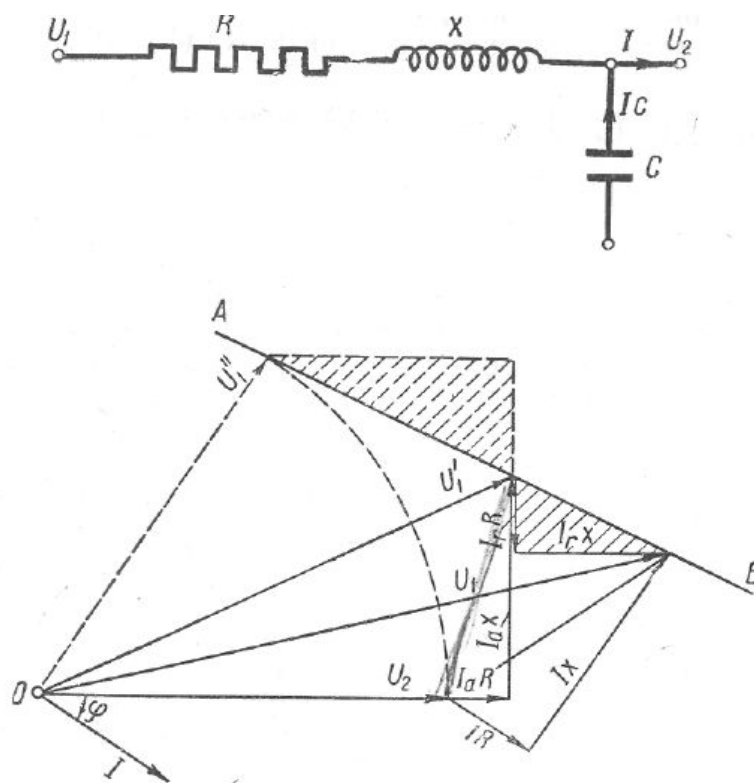


Рис. 4.

10. Изучить Принцип действия и устройство добавочного автотрансформатора.
11. Проверить работу автотрансформатора в модели линии при изменении напряжения.

### Контрольные вопросы

1. Почему критерием допустимости регулирования напряжения в сети является экономическая плотность тока?
2. Какими преимуществами и недостатками обладают продольная и поперечная компенсации?
3. Как влияет коэффициент мощности нагрузки на эффективность продольной и поперечной компенсаций?
4. Какие особенности защиты от перенапряжений последовательных и параллельных конденсаторов?
5. Объяснить принцип действия и устройство добавочного автотрансформатора.

### Содержание отчета

1. Результаты замеров опытов по Продольной и поперечной компенсациям.
2. Расчеты необходимых емкостей для продольной и поперечной компенсаций.
3. Векторные диаграммы продольной и поперечной компенсаций.
4. Результаты сравнения продольной компенсации с поперечной.



---

Методическое указание к выполнению лабораторной работы по дисциплинам  
**«Режимов работы электрической сети», «Производство Электроэнергии»** д  
ля студентов направлений «Электроснабжения», «Электроэнергетика»  
Составитель *Егембердиев Т.М.*

Тех. редактор *Субанбердиева Н.Е.*

---

Подписано к печати 11.05.2011 г. Формат бумаги 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офс. Печать офс. Объем 1,75 п.л. Тираж 30 экз. Цена 30 с.  
Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. ИЦ «Текник» КГТУ им. И.Раззакова, т.: 54-29-43  
e-mail: beknur@mail.ru

