

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Нововоронежский политехнический институт –
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»
(НВПИ НИЯУ МИФИ)

УТВЕРЖДЕН:

Педагогическим советом

«17» марта 2023г., протокол № 550

ФОНД
ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ
по дисциплине

«ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ»

Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Электрические станции

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

г. Нововоронеж, 2023г.

Паспорт фонда оценочных средств

1. Модели контролируемых компетенций:

Оценочные средства для текущего и промежуточного контроля направлены на проверку знаний и умений студентов, являющихся основой формирования у обучающихся следующих компетенций:

ОПК-6 Способен проводить измерения электрических и неэлектрических величин применительно к объектам профессиональной деятельности;

ПК-8 Способен участвовать в монтаже элементов оборудования объектов профессиональной деятельности;

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать:

3.1 - принципы передачи и распределения электроэнергии;

3.2 - схемы электроэнергетических систем и сетей;

3.3 - конструктивное выполнение воздушных и кабельных линий электропередачи;

3.4 - методы расчета режимов работы электроэнергетических систем и сетей;

3.5 - методы регулирования напряжения и компенсации реактивной мощности в электрических сетях.

Уметь:

У.1 - определять параметры схемы замещения основных элементов электроэнергетических систем и сетей;

У.2 - рассчитывать установившиеся режимы электроэнергетических систем и сетей;

У.3 - выбирать средства регулирования напряжения на понижающих подстанциях.

Владеть:

В.1 - методами расчета параметров электроэнергетических устройств и электроустановок, электроэнергетических сетей и систем;

В.2 - методами анализа режимов работы электроэнергетического оборудования и систем;

В.3 - навыками использования справочной литературы.

Соотнесение знаний, умений и навыков с компетенциями приведено в таблице:

Индекс компетенции	Проектируемые результаты освоения дисциплины « Электрические машины» и индикаторы формирования компетенций			Средства и технологии оценки
	Знания (З)	Умения (у)	Навыки (В)	
ОПК-6	3.1,2,3,4,5	У.1,2,3	В.1,2,3	ОП, РЗ,ЛР,ИК,ПД
ПК-8	3.1,2,3,4,5	У.1,2,3	В.1,2,3	

Формой аттестации по дисциплине «Электроэнергетические системы и сети» является экзамен в 5 семестре.

2. Программа оценивания контролируемых компетенций: (структура дисциплины)

Контроль и оценка результатов освоения дисциплины осуществляется преподавателем в процессе проведения устных опросов, практических работ в форме собеседования.

Оценивание контролируемых компетенций по разделам:

№ п/п	Раздел дисциплины.	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
Раздел 1. Схемы замещения элементов электроэнергетических систем и их параметры. Режимы работы и балансы мощности электроэнергетических систем и электрических сетей			
1	Введение. Классификация электрических сетей. Номинальные напряжения электрических сетей. Требования, предъявляемые к электрическим сетям при их проектировании, сооружении эксплуатации.	ОПК-6, ПК-8,	ПД
2	Схемы замещения электрических линий и их параметры. Полные и упрощенные схемы замещения электрических линий и их параметры. Расчет параметров схем замещения.	ОПК-6, ПК-8,	
3	Активные индуктивные сопротивления и проводимости линий. Полные и упрощенные схемы замещения трансформаторов (автотрансформаторов) и их параметры. Активные индуктивные сопротивления и проводимости трансформаторов (автотрансформаторов).	ОПК-6, ПК-8,	
4	Характеристики графиков нагрузки. Понятие комплексной нагрузки. Характеристики графиков нагрузки. Статические характеристики нагрузок	ОПК-6, ПК-8,	

	потребителей. Задание нагрузок при расчетах режимов электрических сетей.		
5	Расчет электрических линий с различными номинальными напряжениями. Построение схемы замещения электрической сети. Расчетные схемы электрических сетей. Расчет магистральных и разветвленных сетей. Совместный расчет сетей двух номинальных напряжений. Расчет режимов замкнуты сетей. Понятие точки потоко раздела. Особенности послеаварийных режимов.	ОПК-6, ПК-8,	
6	Краткие сведения об электрическом расчете сложных замкнутых электрических сетей. Баланс активной и реактивной мощности в электрических сетях. Баланс активной мощности в электроэнергетической системе и его связь с частотой. Баланс реактивной мощности в электроэнергетической системе и его связь с напряжением.	ОПК-6, ПК-8,	ИК
7	Потребители реактивной мощности. Источники реактивной мощности в электроэнергетических системах их технические и экономические характеристики. Выработка реактивной мощности генераторами электростанций. Компенсация реактивной мощности.	ОПК-6, ПК-8,	РЗ; ОП
Раздел 2. Регулирование параметров и потери мощности в электроэнергетических системах и электрических сетях			
8	Основы регулирования параметров в электроэнергетических системах. Основы регулирования напряжения. Способы и технические средства регулирования напряжения. Регулирующие устройства в электрических сетях. Особенности регулирования напряжения в системообразующих сетях и сетях низших напряжений.	ОПК-6, ПК-8,	РЗ,
9	Основы регулирования частоты. Задачи, допустимые отклонения частоты, регулировочные характеристики генераторов, методы регулирования частоты.	ОПК-6, ПК-8,	РЗ,
10	Потери мощности. Основные сведения о характере потерь мощности и электроэнергии в различных элементах электрических сетей. Виды потерь мощности. Определение потерь мощности и электроэнергии в электрических линиях и трансформаторах (автотрансформаторах) с помощью графиков нагрузки и с использованием времени максимальных потерь.	ОПК-6, ПК-8,	РЗ, ОП, ИК

3. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА

Контрольные вопросы к зачету 7 семестр

1. Перечислите преимущества объединения энергосистем. Приведите классификацию электрических сетей по роду тока, номинальному напряжению,

конфигурации, выполняемым функциям, характеру потребителей и по режиму работы нейтрали.

2. Приведите схемы замещения воздушных и кабельных линий. Как определяются их параметры?

3. Приведите схемы замещения двухобмоточных трансформаторов. Как определяются их параметры?

4. Приведите схемы замещения трехобмоточных трансформаторов и автотрансформаторов. Как определяются их параметры?

5. Каково назначение синхронных компенсаторов в электрических системах и как они учитываются в расчетах режимов электрических систем?

6. Что представляют собой статические характеристики нагрузки? Какой вид имеют типовые статические характеристики? Как задаются нагрузки в расчетных схемах?

7. Как определяются потери активной и реактивной мощности в ЛЭП, в трансформаторах (двух- и трехобмоточных) и автотрансформаторах?

8. В чем заключается метод расчета потерь электроэнергии по графикам нагрузок? Его преимущества и недостатки.

9. Каким образом представляются генераторы в схемах замещения электрических сетей и систем?

10. Назначение реакторов и каким образом они учитываются в схемах замещения?

11. Что понимают под термином «надежность электроснабжения»? На какие категории ПУЭ делит электропотребителей по степени надежности электроснабжения?

12. Как производится выбор числа и мощности силовых трансформаторов на понижающих подстанциях?

13. Приведите классификацию схем электрических сетей и классификацию подстанций по типу их присоединения к сети. Требования к схемам эл. сетей

14. Приведите типовые схемы РУ подстанций, укажите область их применения

15. Как производится расчет режима ЛЭП при заданном токе нагрузки? Приведите векторные диаграммы токов и напряжений линии, работающей под нагрузкой.

16. Как производится расчет режима ЛЭП при заданной мощности нагрузки? Рассмотреть два случая: при известном напряжении на нагрузке, при известном напряжении источника питания.

17. В чем состоит различие между падением и потерей напряжения? Проиллюстрируйте это различие с помощью векторной диаграммы напряжений. Как выражаются продольная и поперечная составляющие падения напряжения через потоки мощности в линии?

18. Какие сети называются разомкнутыми? Как ведется расчет разомкнутой сети при заданном напряжении в конечной точке сети?

19. Какие сети называются разомкнутыми? Как ведется расчет разомкнутой сети при заданном напряжении на источнике питания?

20. Какие допущения принимаются при расчете разомкнутых сетей напряжением 35 кВ и ниже? Что включает в себя расчетная нагрузка подстанции?

21. Как производится расчет сети с двухсторонним питанием? Что понимают под точкой потокораздела? Как производится расчет замкнутой сети с одной точкой потокораздела?

22. Приведите классификацию, основные преимущества и недостатки замкнутых сетей. Как производится расчет замкнутой сети с двумя точкам потокораздела?

23. В чем заключаются особенности расчета режимов в однородной замкнутой сети, замкнутой кабельной сети?

24. В чем заключается метод расщепления схемы электрической сети? В каких случаях он используется?

25. Приведите уравнение баланса активной мощности в энергосистеме.

Какова связь между балансом активной мощности и частотой? Приведите возможные причины нарушения баланса и последствия этого нарушения.

26. Приведите важнейшие технико-экономические показатели, используемые в расчетах электрических сетей.

27. Каким образом осуществляется технико-экономическое сравнение вариантов? Что является экономическим критерием определения оптимального варианта?

28. Как влияет на технико-экономические показатели сети величина номинального напряжения? От каких факторов зависит и как оценивается величина номинального напряжения?

29. Как влияет выбор сечения проводов ЛЭП на техникоэкономические показатели электрической сети? Что понимают под экономическим сечением и экономической плотностью тока? Приведите порядок выбора сечения провода по экономической плотности тока.

30. В чем недостатки метода выбора сечения проводов по экономической плотности тока? В чем заключается метод выбора сечения проводов по экономическим интервалам тока? Его достоинства.

31. Что понимают под допустимыми потерями напряжения в электрической сети? Как производится выбор сечения проводов по допустимой потере напряжения? В каких случаях и как производится проверка сечения проводов по допустимой потере напряжения?

32. Что понимают под допустимой температурой? От чего зависит ее величина? Что понимают под допустимым током? Приведите условия проверки сечения проводов по нагреву? В каких случаях и как производится проверка сечения проводов ЛЭП по нагреву?

33. Какими способами ведется расчет электрической сети с различными номинальными напряжениями? В чем заключаются эти способы?

34. Какова связь между балансом реактивной мощности и уровнем напряжения в системе? Для чего необходимы резервы мощности и энергии в системе? Приведите виды резервов.

35. Какие потребители и источники реактивной мощности имеются в энергосистеме? Напишите уравнение баланса реактивной мощности в электрической системе. Как определяются составляющие этого уравнения?

36. В чем состоят особенности выработки реактивной мощности на электрических станциях? Что понимают под компенсацией реактивной мощности? Для каких целей она применяется?

37. Какие компенсирующие устройства применяются в энергосистемах и каковы их основные преимущества и недостатки?

38. Приведите основные показатели качества электроэнергии. Дайте характеристику каждому из них.

39. Как осуществляется регулирование частоты на электрических станциях? Что понимают под первичным и вторичным регулированием частоты? В чем заключается регулирующий эффект нагрузки по частоте?

40. Как осуществляется регулирование частоты в энергосистеме? Как осуществляется регулирование частоты в аварийных режимах?

41. Что понимают под регулированием напряжения? Каковы его разновидности? В чем заключается встречное регулирование напряжения?

42. Какие средства регулирования напряжения применяются на понижающих подстанциях.

43. Как выполняются расчеты регулирования напряжения на понижающих подстанциях при различных типах трансформаторов с РПН?

44. В чем заключается регулирование напряжения изменением сопротивления сети и изменением потоков реактивной мощности?

45. Приведите соответствующие векторные диаграммы напряжений и токов. Какие при этом применяются устройства?

46. Каковы основные способы уменьшения потерь мощности в электрических сетях?

Примерные варианты билетов и краткое изложение ответа

БИЛЕТ №1

1. Потери активной и реактивной мощности в линиях электропередач Мощность цепи, имеющей только активные сопротивления, называется **активной мощностью** P . Характеризует безвозвратный (необратимый) расход энергии тока.

$$P = UI = I^2 r = U^2 / r.$$

В цепях переменного тока имеется гораздо больше причин, вызывающих безвозвратные потери энергии, нежели в цепях постоянного тока. Эти причины следующие:

1. **Нагрев провода током.** Для постоянного тока нагрев является почти единственным видом потерь энергии. А для переменного тока, одинакового по значению с постоянным током, потери энергии на нагрев провода больше вследствие возрастания сопротивления провода за счет поверхностного эффекта.

2. **Потери на создание вихревых токов, иначе называемых токами Фуко.** Эти токи индуктируются во всех металлических телах, находящихся в магнитном поле, образованном переменным током. От действия вихревых токов металлические тела нагреваются.

3. **Потери на магнитный гистерезис.** Под влиянием переменного магнитного поля ферромагнитные сердечники перемагничиваются. При этом возникает взаимное трение частиц сердечника, в результате которого сердечник нагревается.

4. **Потери в твердых или жидких диэлектриках.** В таких диэлектриках переменное электрическое поле вызывает поляризацию молекул, т. е. на противоположных сторонах молекул возникают равные по значению, но разные по знаку заряды. Поляризованные молекулы под действием поля поворачиваются и при этом испытывают взаимное трение. За счет него диэлектрик нагревается.

5. **Потери на утечку в изоляции.** Применяемые изоляционные вещества не являются идеальными диэлектриками и в них наблюдаются токи утечки.

6. **Потери на излучение электромагнитных волн.** Всякий провод с переменным током излучает электромагнитные волны, причем с возрастанием частоты энергия излучаемых волн резко увеличивается.

7. **Потери на переход энергии в другие цепи.** Вследствие явления электромагнитной индукции часть энергии переменного тока переходит из одной цепи в другую, расположенную рядом.

Мощность в участке цепи с индуктивным сопротивлением называется **реактивной мощностью** Q . Она характеризует реактивную энергию, т. е. энергию, не расходующуюся безвозвратно, а лишь временно запасующуюся в магнитном поле.

$$Q = I \cdot U_L = I^2 \cdot x_L = \frac{U_L^2}{x_L}$$

Огромное количество индуктивных нагрузок в сети суммарно обладает колоссальной реактивной мощностью, которая возвращается в генераторы и не совершает никакой полезной работы, расходуя энергию на нагрев кабелей и проводов ЛЭП, перегружает трансформаторы, снижая их КПД, тем самым уменьшая пропускную способность активных токов.

2. Компенсация реактивной мощности в линиях электрических сетях В настоящее время, является немаловажным фактором позволяющим решить вопрос энергосбережения практически на любом предприятии.

Наиболее действенным и эффективным способом снижения потребляемой из сети реактивной мощности является применение установок компенсации реактивной мощности (конденсаторных установок).

Использование конденсаторных установок для компенсации реактивной мощности позволяет:

- разгрузить питающие линии электропередачи, трансформаторы и распределительные устройства;
- снизить расходы на оплату электроэнергии
- при использовании определенного типа установок снизить уровень высших гармоник;
- подавить сетевые помехи, снизить несимметрию фаз;
- сделать распределительные сети более надежными и экономичными.

Основным средством компенсации на промышленных предприятиях являются батареи силовых конденсаторов (КБ), подключаемые параллельно к электросети, т. е. поперечная компенсация. К их преимуществам относятся: простота, относительно невысокая стоимость, недефицитность материалов, малые удельные собственные потери активной мощности, а к недостаткам — отсутствие плавного регулирования отдаваемой в сеть реактивной мощности, пожароопасность, наличие остаточного заряда. регулированием для изменения присоединенной мощности при разных режимах нагрузок. Неблагоприятное влияние на работу конденсаторных установок оказывает наличие в сети высших гармоник.

Причиной появления высших гармонических является наличие в электрических сетях выпрямителей и других видов преобразователей, а также электрооборудования со стальным сердечником, у которого не соблюдается пропорциональность между током и напряжением.

При определенных условиях в зависимости от мощности системы, схемы электроснабжения и от мощности конденсаторной установки могут возникать резонансные явления на той или иной частоте. Наибольшей перегрузке конденсаторные батареи подвергаются при возникновении

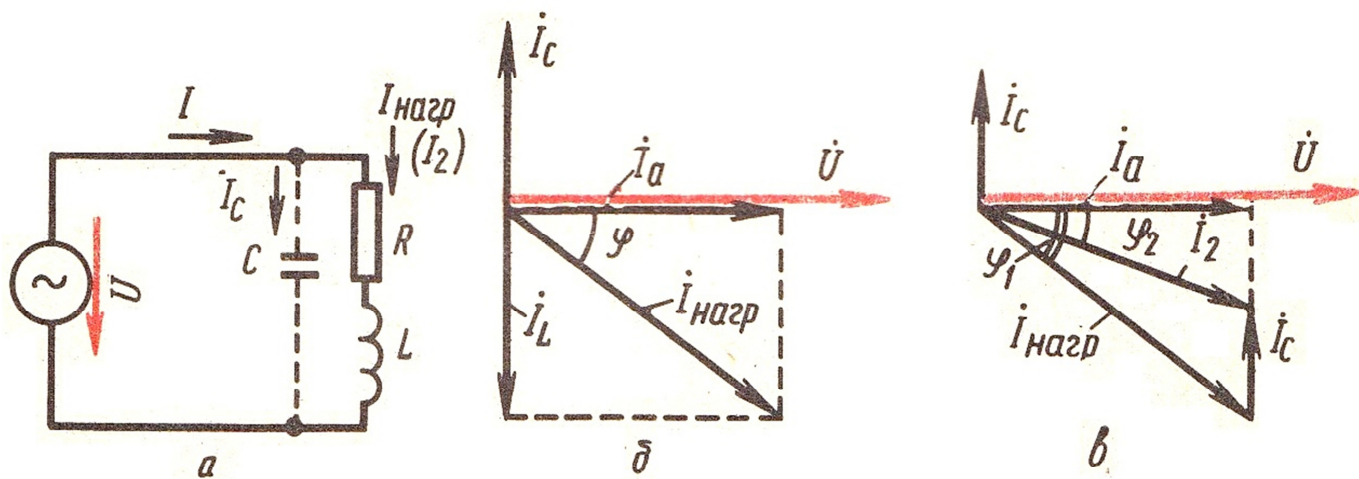


Рисунок 1. Включение конденсатора для компенсации реактивной мощности
 а - схема; б - векторная диаграмма полной компенсации; в - векторная диаграмма частичной компенсации

резонансных токов на частоте низких гармоник. Чтобы не происходили резонансные явления, в схемах конденсаторных батарей необходимо изменять частоту собственных колебаний контуров.

На подстанциях с несколькими преобразователями обычно применяется не более одногодвух компенсационных преобразователей, что обычно достаточно для улучшения общего коэффициента мощности всей установки.

К широкому применению для генерации реактивной мощности рекомендуются синхронные электродвигатели в большом диапазоне их мощностей. Они способны отдавать реактивную мощность в сеть на месте потребления при полезной нагрузке на валу, меньше зависят от колебаний напряжения, повышают устойчивость системы. Значение реактивной мощности, генерируемой СД, зависит от их загрузки по активной и реактивной мощности и от относительного напряжения на их зажимах.

Синхронные двигатели благодаря возбуждению постоянным током они могут работать с $\cos = 1$ и не потребляют при этом реактивной мощности из сети, а при работе, с перевозбуждением отдают реактивную мощность в сеть. В результате улучшается коэффициент мощности сети и уменьшаются падение напряжения и потери в ней, а также повышается коэффициент мощности генераторов, работающих на электростанциях.

Синхронные компенсаторы предназначены для компенсации коэффициента мощности сети и поддержания нормального уровня напряжения сети в районах сосредоточения потребительских нагрузок.

Синхронным компенсатор - синхронная машина, работающая в двигательном режиме без нагрузки на валу при изменяющемся токе возбуждения.

В перевозбужденном режиме ток опережает напряжение сети, т. е. является по отношению к этому напряжению емкостным, а в недовозбужденных — отстающим, индуктивным. В таком режиме синхронная машина превращается в компенсатор — в генератор реактивного тока.

Билет №2.

1. Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах и автотрансформаторах.

Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах и автотрансформаторах разделяются на потери холостого хода и потери короткого замыкания. Потери активной мощности в стали трансформаторов на перемагничивание и вихревые токи определяются потерями холостого хода трансформаторов ΔP_0 при номинальном напряжении, которые даются в паспорте трансформатора.

Холостой ход - это режим работы трансформатора при разомкнутой вторичной цепи $I_2=0$, $I_1=I_{10}$. В этом случае полезная мощность $P_2=0$, ток I_{10} очень мал (2-10% от I_H) поэтому потерями в первичной обмотке можно пренебречь и считать что мощность P_{10} расходуется на магнитные потери - гистерезис и вихревые токи.

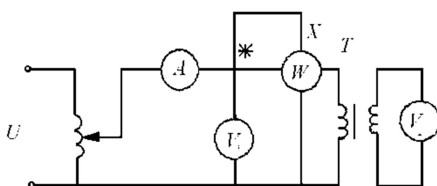


Рис. 1. Опыт холостого хода.

Потери мощности в обмотках трансформатора могут быть определены через вычисленные по формулам сопротивления R_{TP} и X_{TP} , а именно:

$$\Delta P_{TP} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} R_{TP} \quad \text{и} \quad \Delta Q_{TP} = \frac{P^2 + Q^2}{U_H^2} X_{TP}, \quad (1)$$

где U_H — номинальное напряжение той стороны трансформатора, которой он непосредственно присоединен к рассчитываемой линии.

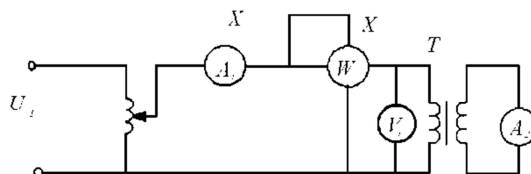


Рис.2. Опыт короткого замыкания.

Для силовых трансформаторов $U_K = 5 \div 10\%$ от U_{1H} . Так как магнитный поток пропорционален входному напряжению, то $\Phi_K = 5 \div 10\%$ от Φ_H . Потери короткого замыкания (при $I=I_H$):

$$\Delta P_K \approx 3I_H^2 R_{TP} = \frac{S_H^2}{U_H^2} R_{TP}.$$

При любой другой нагрузке I потери в трансформаторе

$$\Delta P_{TP} = 3I^2 R_{TP} = \frac{S^2}{U_H^2} R_{TP}.$$

Потери мощности в трансформаторе равны:

$$\boxed{\Delta P_{TP} = \Delta P_K (S/S_H)^2.} \quad (2)$$

Если в выражении для ΔQ_{TP} в формуле (1) заменим X_{TP} его значением, то получим

$$X_{TP} = \frac{u_K U_H^2}{100 S_H}, \quad \Delta Q_{TP} = \frac{u_K}{100} \cdot \frac{S^2}{S_H}. \quad (3)$$

Формулы (1) пригодны для определения потерь мощности как в двухобмоточных, так и в трехобмоточных трансформаторах при любой нагрузке их обмоток. В последнем случае вместо общей нагрузки трансформатора в формулы подставляют нагрузки отдельных обмоток, а вместо

сопротивлений R_{TP} и X_{TP} сопротивления соответствующих обмоток по схеме замещения. По формулам (2) и (3) определяются потери мощности в двухобмоточных трансформаторах и в трансформаторах с расщепленной обмоткой НН при равенстве нагрузок ветвей НН-1 и НН-2. Они применимы к трехобмоточным трансформаторам в том случае, когда нагружены только две обмотки из трех или третья обмотка имеет относительно малую нагрузку.

2. Компенсация реактивной мощности в высоковольтных сетях.

Для компенсации реактивной мощности используются различные устройства на основе статических или синхронных элементов. В общих чертах действие всех компенсирующих устройств основано на том, что на участке цепи с индуктивной или емкостной нагрузкой устанавливается дополнительный источник реактивной мощности, таким образом, описанный выше обмен потоками энергии происходит между этим источником и устройством на небольшом участке цепи, не проходя по основным сетям и, следовательно, не вызывая в них негативных последствий. Синхронная компенсация может достигаться с помощью специализированных устройств – синхронных компенсаторов, которые представляют собой синхронные двигатели без нагрузки на валу, а также с использованием уже имеющихся двигателей в режиме перевозбуждения или путем перевода генераторов в режим синхронных компенсаторов. Достоинство синхронных двигателей — возможность быстрого плавного регулирования тока возбуждения в большом диапазоне, а недостатки — значительная стоимость и относительно высокие удельные потери мощности, составляющие от 0,15 до 0,32 кВт/квар. По этим причинам применение синхронных компенсаторов оказывается целесообразным при необходимости генерации изменяющейся во времени значительной реактивной мощности (50 Мвар и выше). Таким приемом пользуются промышленные потребители, имеющие собственные блок-станции и синхронные двигатели.

Статические компенсаторы тоже бывают двух видов - продольные и поперечные. Продольная компенсация применяется для высоковольтных линий электропередач. Дело в том, что высоковольтные ЛЭП обладают собственным емкостным сопротивлением и генерируют реактивную мощность, основным негативным следствием которой являются не столько потери электроэнергии, сколько потери напряжения и, следовательно, снижение качества электроснабжения. Для предотвращения этих последствий в схему последовательно включают компенсирующее устройство, которое уменьшает реактивное сопротивление линии (рис. 1). Широко распространено использование статических компенсаторов, которые представляют собой батарею конденсаторов и включаются на шины подстанций. Такая компенсация применяется в узлах электрических сетей для классов напряжения до 10 кВ. Снизив величину реактивной мощности, можно было сэкономить на сечении проводов и уменьшении мощности трансформаторов.

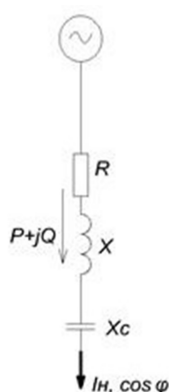


Рис.1

С помощью конденсаторной батареи покрывается (компенсируется) часть потребности нагрузки узла в реактивной мощности, тем самым уменьшается реактивная мощность, потребляемая узлом из сети.

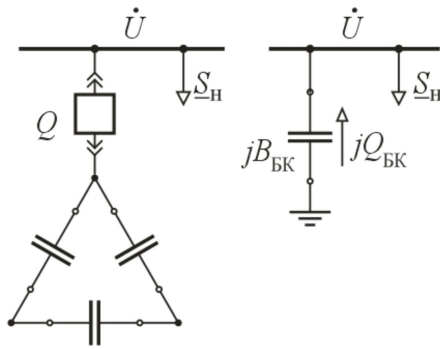


Рис. 2. Компенсирующее устройство поперечного включения - конденсаторная батарея. Поперечная компенсация реактивной мощности, заключающаяся в параллельном соединении компенсирующих устройств соединения индуктивного и емкостного сопротивлений ток в неразветвленной части цепи представляет собой геометрическую сумму токов индуктивности и емкости. От других компенсирующих устройств конденсаторные установки выгодно отличаются простотой устройства и обслуживания, отсутствием вращающихся частей и малыми потерями активной мощности. К недостаткам конденсаторных батарей следует отнести зависимость их мощности от квадрата напряжения сети и невозможность плавного регулирования реактивной мощности, следовательно, и напряжения установки. Экономический эффект от внедрения установок компенсации реактивной мощности может быть очень большим. По статистике он составляет от 12 до 50% от оплаты электроэнергии в различных регионах.

Билет № 3.

1. Баланс активной мощности в энергосистеме и его связь с частотой

В энергосистеме в любой момент времени соблюдается баланс активных мощностей:

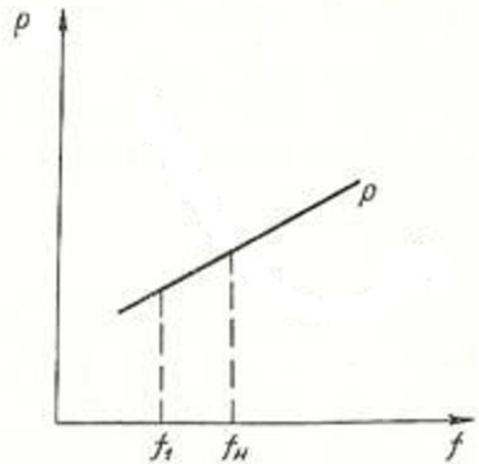
$$\sum P_{\Gamma} = \sum P_{\text{н}} + \sum \Delta P_{\text{с}} \quad \text{где } \sum P_{\Gamma} - \text{ суммарная мощность генераторов}$$

электрических станций;

$\sum P_{\text{н}}$ - мощность потребителей энергосистемы;

$\sum \Delta P_{\text{с}}$ - суммарные потери мощности в электрических сетях.

Если, например, уменьшить подачу энергоносителя (пара, воды) в турбину, то мощность $\sum P_{\Gamma}$ станет меньше, и при той же нагрузке потребителей $\sum P_{\text{н}}$ станет невозможным вращать двигатели с прежней скоростью. Они начнут тормозиться и в соответствии со статическими характеристиками нагрузки по частоте $P = f(f)$ станут потреблять меньшую активную мощность. При этом наступит баланс активных мощностей при частоте f_1 , которая меньше первоначальной частоты $f_{\text{н}}$.



Таким образом, при любой частоте мощность, генерируемая электростанциями, равна потребляемой мощности. При этом номинальная частота в энергосистеме свидетельствует о том, что генерируемая мощность достаточна для покрытия нормальной потребности электроприемников. Пониженная частота по сравнению с номинальной указывает на дефицит генерируемой мощности, а повышенная – на избыток мощности электростанций. Отсюда следует, что отклонение частоты от номинальной может произойти при:

- а) изменении мощности станций без изменения включенной мощности электроприемников;
- б) изменении мощности электроприемников и постоянстве генерируемой мощности;
- в) одновременном несогласованном изменении нагрузки станций и потребителей.

2. Расчет мощности компенсационной установки.



Рис.1. Расчет мощности компенсационной установки.

Мощность компенсирующего устройства Q_K определяется на основании:

- а) $Q_{Э1}$ – реактивной мощности, которую энергосистема может выдать в период своей максимальной нагрузки;
- б) $Q_{Э2}$ – реактивная мощность, которую энергосистема требует обеспечить в ночные часы, часто $Q_{Э2} \approx 0$;
- в) Q_M – максимальная мощность потребителя;
- г) $Q_{МИН}$ – минимальная мощность потребителя.

Общая мощность всех секций компенсационных установок: $Q_K = Q_M - Q_{Э1}$;

Неотключаемая часть батареи: $Q_{\text{КМИН}} = Q_{\text{МИН}} - Q_{\text{Э2}}$;

Если ночью нагрузка потребителя мала, а мощность подключенной велика, то наступит режим перекомпенсации: избыточная реактивная мощность отправится в энергосистему и вызовет повышение напряжения и потерь активной мощности в сети энергосистеме.

Чтобы не допустить перекомпенсации, в ночные часы необходимо соблюдать условие $Q_{\text{КМИН}} \leq Q_{\text{МИН}}$. Если $Q_{\text{Э1}}$ неизвестна, то:

$$Q_{\text{К}} = P_{\text{М}} \cdot \text{tg} \varphi - P_{\text{М}} \text{tg} \varphi_{\text{Н}} = P_{\text{М}} (\text{tg} \varphi - \text{tg} \varphi_{\text{Н}})$$

$$\text{tg} \varphi = \frac{P_{\text{М}}}{Q_{\text{М}}}$$

где

Билет №4

1. Баланс реактивной мощности в энергосистеме и его связь с напряжением

Реактивная мощность — величина, характеризующая нагрузки, создаваемые в электротехнических устройствах колебаниями энергии электромагнитного поля. Она равна произведению действующих значений тока и напряжения на синус угла сдвига фаз между ними: $Q = UI \sin \varphi$ [ВАр]

Источниками реактивной мощности в системе являются не только генераторы электростанций, но также воздушные и кабельные ЛЭП, батареи конденсаторов, синхронные компенсаторы, синхронные двигатели, статические компенсирующие установки и др. Для нормальной работы электроприемников нужна и активная, и реактивная энергия, причем в любой момент времени суммарная генерируемая реактивная мощность в системе должна быть точно равна потребляемой реактивной мощности.

Баланс реактивных мощностей в системе записывается в виде: $\sum Q_{\text{Г}} + \sum Q_{\text{б}} + \sum Q_{\text{кУ}} = \sum Q_{\text{н}} + \sum Q_{\text{сн}} + \sum Q_{\text{с}}$, где $Q_{\text{Г}}$ - мощность генераторов; $Q_{\text{кУ}}$ - мощность компенсирующих устройств; $Q_{\text{б}}$ - зарядная мощность линий; $Q_{\text{н}}$ - реактивная мощность нагрузки; $Q_{\text{сн}}$ - реактивная мощность, потребляемая на собственные нужды электростанций; $Q_{\text{с}}$ - потери реактивной мощности в сетях.

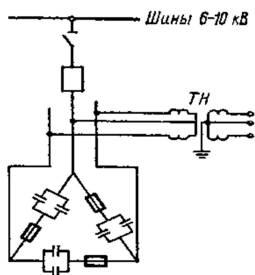
Генерация реактивной мощности электростанциями зависит от числа и мощности работающих генераторов, обеспечивающих покрытие активной нагрузки системы. Принимая во внимание средний коэффициент мощности современных генераторов — 0,8 ... 0,9, можно сказать, что располагаемая реактивная мощность генераторов системы составляет 70% от их располагаемой активной мощности. Кроме того, потери реактивной мощности достигают 30...35% от выдаваемой в сеть. Это объясняется тем, что индуктивное сопротивление сети значительно выше активного и при передаче электроэнергии имеет место большое число трансформаций (3—4 и более). В результате суммарная потребность в реактивной мощности превышает располагаемую реактивную мощность генераторов системы, т. е. существует дефицит реактивной мощности, достигающий 10 ... 15% и более. Дефицит особенно проявляется в летние месяцы, когда на электростанциях часть машин выводится в ремонт.

При дефиците реактивной мощности в системе нарушается баланс. Чтобы «свести» баланс реактивных мощностей в системе устанавливают дополнительные источники реактивной мощности.

Нарушение баланса реактивной мощности приводит к изменению уровня напряжения в сети. Если генерируемая реактивная мощность становится больше потребляемой, то напряжение в сети повышается. При дефиците реактивной мощности напряжение в сети понижается. В дефицитных по активной мощности энергосистемах уровень напряжения, как правило, ниже номинального. Недостающая для выполнения баланса активная мощность передается в такие системы из соседних энергосистем, в которых имеется избыток генерируемой мощности.

Недостающую реактивную мощность генерируют в компенсирующих устройствах, установленных в данной энергосистеме. (батареи конденсаторов, синхронные конденсаторы и др.)

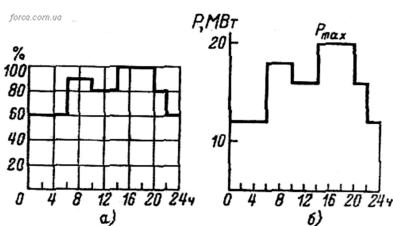
Схематическое включение конденсаторной батареи.



2. Влияние графиков нагрузки на потери мощности в электрической системе. Время максимальных потерь.

Электрическая нагрузка отдельных потребителей, а, следовательно, и суммарная их нагрузка, определяющая режим работы электростанций в энергосистеме, непрерывно меняется. Принято отражать этот факт графиком нагрузки, т. е. *диаграммой изменения мощности (тока) электроустановки во времени.*

По виду фиксируемого параметра различают графики активной P , реактивной Q , полной (кажущейся) S мощностей и тока I электроустановки. Как правило, графики отражают изменение нагрузки за определенный период времени. По этому признаку их подразделяют на суточные (24 ч), сезонные, годовые и т. п.



По месту изучения или элементу энергосистемы, к которому они относятся, графики можно разделить на следующие группы:

- 1) графики нагрузки потребителей, определяемые на шинах подстанций;
- 2) сетевые графики нагрузки - на шинах районных и узловых подстанций;
- 3) графики нагрузки энергосистемы, характеризующие результирующую нагрузку энергосистемы;
- 4) графики нагрузки электростанций.

Суточные графики активной нагрузки потребителя:

а - типовой; б - в именованных единицах.

Графики нагрузки используют для анализа работы электроустановок, для проектирования системы электроснабжения, для составления прогнозов электропотребления, планирования ремонтов оборудования, а также в процессе эксплуатации для ведения нормального режима работы.

В связи с тем, что потери мощности пропорциональны квадрату тока нагрузки, в практике часто используют среднеквадратичную (эффективную) нагрузку за определенный промежуток времени. Как правило, среднеквадратичную нагрузку рассчитывают для узла нагрузки по групповому графику нагрузок.

Среднеквадратичная активная мощность узла нагрузки:

$$P_{с.к.} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{\sum t_i}}$$

где $P_{с.к.}$ - среднеквадратичная активная мощность, потребляемая группой ЭП за рассматриваемый промежуток времени (определяется из графика нагрузки по активной мощности), кВт; P_i - активная мощность, потребляемая группой ЭП за принятый интервал

времени, кВт; t_i - интервал времени за который определяется P_i , мин., ч. По среднеквадратичной нагрузке рассчитывают потерю мощности, оценивают эффект снижения потерь мощности в сетях:

Временем наибольших потерь \square называется время, за которое при передаче наибольшей нагрузки в сети возникнут те же потери электроэнергии, что и при работе сети по

-4 2

использования наибольшей нагрузки.

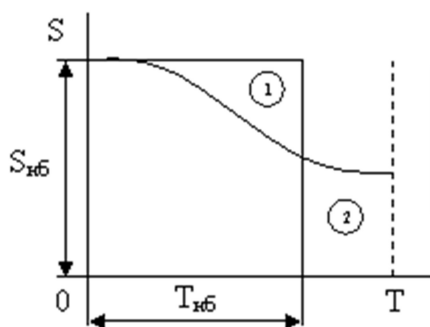


График к определению времени наибольшей нагрузки (площади участков 1 и 2 равны)

действительному графику нагрузки. $\square = (0,124 + T_{нб} 10^{-4}) 8760$, час. Где T , час - время

Билет №5

1. Потребители и источники реактивной мощности в электроэнергетических системах.

Реактивная мощность – составляющая полной мощности, которая в зависимости от параметров, схемы и режима работы электрической сети вызывает дополнительные потери активной электрической энергии и ухудшение показателей качества электрической энергии.

Основными потребителями реактивной мощности в электрических системах являются трансформаторы, воздушные электрические линии, асинхронные двигатели, вентильные преобразователи, индукционные электропечи, сварочные агрегаты и другие нагрузки.

Реактивная мощность может генерироваться не только генераторами, но и компенсирующими устройствами-конденсаторами, синхронными компенсаторами или статистическими источниками реактивной мощности (ИРМ), которые можно установить на подстанциях электрической сети.

2. Влияние коэффициента мощности на параметры режимов электрической системы.

Коэффициент мощности — безразмерная физическая величина, характеризующая потребителя переменного электрического тока с точки зрения наличия в нагрузке реактивной составляющей. Коэффициент мощности математически можно интерпретировать как косинус угла между векторами тока и напряжения. Поэтому в случае синусоидальных напряжения и тока величина коэффициента мощности совпадает с косинусом угла, на который отстают соответствующие фазы.

Можно показать, что если к источнику синусоидального тока (например, розетка ~220 В, 50 Гц) подключить нагрузку, в которой ток опережает или отстаёт по фазе на некоторый угол от напряжения, то на внутреннем активном сопротивлении источника выделяется повышенная мощность. На практике это означает, что при работе на нагрузку со сдвинутыми напряжением и током от электростанции требуется больше энергии; избыток передаваемой энергии выделяется в виде тепла в проводах и может быть довольно значительным.

Коэффициент мощности равен отношению потребляемой электроприёмником активной мощности к полной мощности.

$$\cos\varphi = \frac{P}{S}$$

Полная мощность $S = U * I$

Активная мощность $P = U * I * \cos\varphi$

Реактивная мощность $P = U * I * \sin\varphi$

Активная мощность расходуется на совершение работы.

В качестве единицы измерения полной мощности принято использовать вольтампер (В·А) вместо ватта (Вт).

При наличии реактивной составляющей в нагрузке кроме значения коэффициента мощности иногда также указывают характер нагрузки: активно-ёмкостный или активноиндуктивный. В этом случае коэффициент мощности соответственно называют опережающим или отстающим.

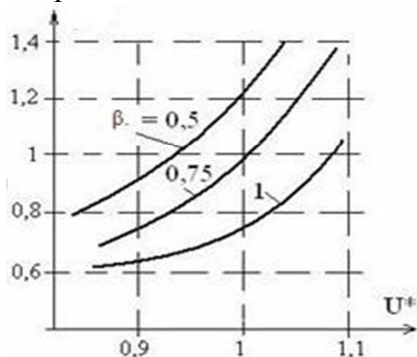
В случае синусоидального напряжения, но несинусоидального тока, если нагрузка не имеет реактивной составляющей, коэффициент мощности равен доле мощности первой гармоники тока в полной мощности, потребляемой нагрузкой, и равен коэффициенту искажений тока.

Билет. №6

1. Потребители и источники реактивной мощности

Каждый потребитель электроэнергии характеризуется потребляемой активной мощностью P , преобразуемой механизмами и приборами в другие виды энергии (механическую, тепловую, световую и др.). Потребление реактивной мощности Q нагрузкой определяется коэффициентом реактивной мощности $\operatorname{tg}\varphi = Q/P$. Основными потребителями реактивной мощности являются асинхронные двигатели ($\operatorname{tg}\varphi = 0,75—1,3$), индукционные печи ($\operatorname{tg}\varphi = 1—2,7$), вентильные преобразователи ($\operatorname{tg}\varphi = 0,75—1,2$), сварочные агрегаты ($\operatorname{tg}\varphi = 1,5—2,7$) и т.д. Промышленные предприятия — это основные потребители реактивной мощности, и доля асинхронной нагрузки в потребляемой ими реактивной мощности достигает 60—70%. В городских электрических сетях потребление реактивной мощности меньше.

Реактивная мощность, потребляемая АД зависит от величины подведенного напряжения $U^* = U / U_n$ и от нагрузки на валу $\beta = P / P_n$.



Компенсация реактивной мощности

Электрическая энергия преобразуется в механическую, тепловую и др. энергии. Реактивная мощность не связана с выполнением полезной работы, однако реактивная мощность необходима для создания электромагнитного поля, наличие которого является необходимым условием для работы электродвигателей и трансформаторов. Потребление реактивной мощности от энергоснабжающей организации нецелесообразно, так как приводит к увеличению мощности генераторов, трансформаторов, сечения подводных кабелей (снижение пропускной способности), а так же повышению активных потерь и падению напряжения (из-за увеличения реактивной составляющей тока питающей сети). Поэтому реактивную мощность необходимо получать (генерировать) непосредственно у потребителя. Эту функцию выполняют установки компенсации реактивной мощности (КРМ), основными элементами которых являются косинусные конденсаторы.

Конденсаторные установки компенсации реактивной мощности КРМ – электроприемники с емкостным током, которые при работе формируют опережающую реактивную мощность (ток по фазе опережает напряжение) для компенсации отстающей реактивной мощности, генерируемой индуктивной нагрузкой.

Реактивная мощность Q пропорциональна реактивному току, протекающему через индуктивный элемент: $Q = U \times I_L$, где I_L – реактивный (индуктивный) ток, U – напряжение сети. Таким образом, полный ток, питающий нагрузку, складывается из активной и индуктивной составляющих:

$$I = I_R + I_L.$$

2. Потери мощности в линиях электропередач

Потери электроэнергии в проводах зависят от силы тока, поэтому при передаче её на дальние расстояния, напряжение многократно повышают (востолько же раз уменьшая силу тока) с помощью трансформатора. Однако с ростом напряжения начинают происходить различные разрядные явления.

В воздушных линиях сверхвысокого напряжения присутствуют потери активной мощности на корону (коронный разряд). Коронный разряд возникает, когда напряжённость электрического поля E у поверхности провода превысит пороговую величину $E_{кр}$, которую можно вычислить по эмпирической формуле Пика:

$$= 30,3\beta(1 + \frac{\cdot}{\sqrt{r}}),$$

где r — радиус провода в метрах, β — отношение плотности воздуха к нормальной.

Напряжённость электрического поля векторная физическая величина, характеризующая электрическое поле в данной точке и численно равная отношению силы F действующей на неподвижный точечный заряд, помещенный в данную точку поля, к величине этого заряда q :

$$= \frac{F}{q}$$

прямо пропорциональна напряжению на проводе и обратно пропорциональна его радиусу, поэтому бороться с потерями на корону можно, увеличивая радиус проводов, а также (в меньшей степени) — применяя расщепление фаз, то есть используя в каждой фазе несколько проводов, удерживаемых специальными распорками на расстоянии 40-50 см. Потери на корону приблизительно пропорциональны произведению $U(U-U_{кр})$.

Потери на корону резко возрастают с ростом напряжения, среднегодовые потери на ЛЭП напряжением 500 кВ составляют около 12 кВт/км, при напряжении 750 кВ — 37 кВт/км, при 1150 кВ — 80 кВт/км. Потери также резко возрастают при осадках, особенно изморози, и могут достигать 1200 кВт/км.

Билет №7 1. Нормы основных показателей качества электроэнергии

Качество электроэнергии характеризуется качеством частоты напряжения переменного тока и качеством напряжения. Для оценки качества частоты установлен один показатель — отклонение частоты, под которой понимают медленные плавные изменения частоты (менее одного процента в секунду) относительно ее номинального значения:

$$\delta f = f - f_{ном}$$

Причина появления отклонения частоты заключается в нарушении баланса генерируемой и потребляемой активной мощности в электроэнергетической системе. Действующим стандартом установлено нормально допустимое и предельно допустимое значения отклонения частоты соответственно $\delta f_{ном} = \pm 0,2$ Гц и $\delta f_{пред} = \pm 0,4$ Гц. К повсеместно используемым показателям относится отклонение напряжения в данной точке сети, под которым понимают медленные плавные изменения напряжения относительно его номинального значения. Они вызываются изменением режима работы подключенных к сети потребителей, включением (отключением) дополнительных потребителей и, как следствие, изменением при этом падения напряжения в элементах сети. Другая причина появления отклонений напряжения заключается в изменении напряжения в центрах питания, т. е. на шинах электростанций или шинах вторичного напряжения понижающих подстанций, к которым присоединены распределительные сети. Отклонение напряжения влияет на работу как непосредственно электроприемников, так и элементов электрической сети. Отрицательные отклонения напряжения приводят к снижению освещенности, что может быть причиной уменьшения производительности труда на ряде предприятий, требующих зрительного напряжения. Отклонения напряжения влияют на потери холостого хода и нагрузочные потери в трансформаторах и линиях электропередачи, на зарядную мощность линий.

Количественно отклонение напряжения оценивают значением установившегося отклонения напряжения:

$$\delta U_y = \frac{U_y - U_{ном}}{U_{ном}} \cdot 100 \%$$

Отклонение напряжения: $U_{ном} = \pm 5\%$ $U_{пред} = \pm 10\%$

Несимметрия напряжений характеризуется различием значений напряжения в разных фазах. Она обусловлена неравномерным присоединением однофазных электроприемников по фазам и случайным одновременным включением и отключением некоторой части однофазного электроприемника (вероятностная симметрия). В результате подключения неодинаковой нагрузки к разным фазам в какой-то момент времени падения напряжения в фазах оказываются различными. Следствием этого являются различия напряжений фаз в узлах сети. Несимметрия значительна в сетях, имеющих крупные однофазные

электроприемники, например, электровозы в сетях с тяговыми подстанциями, а также в сетях до 1000 В с коммунально-бытовой нагрузкой.

Также основной показатель является $\cos\varphi = \frac{P}{S}$ – это отношение реактивной мощности к полной.

Он показывает насколько сдвигается по фазе переменный ток. Снижение $\cos\varphi$ приводит к увеличению тока, и значительно возрастают потери энергии на нагрев проводов.

2. Потери мощности и электроэнергии в электрической системе. Общая характеристика Нагрузочные потери электроэнергии

Потери энергии в проводах, кабелях и обмотках трансформаторов пропорциональны квадрату протекающего по ним тока нагрузки, и поэтому их называют нагрузочными потерями. Ток нагрузки, как правило, изменяется во времени, и нагрузочные потери часто называют переменными

Потери холостого хода

Для электрических сетей 0,38 - 6 - 10 кВ составляющие потерь холостого хода (условно постоянных потерь) составляют потери электроэнергии холостого хода в силовом трансформаторе

Потери в самом трансформаторе состоят в основном из потерь в стальном магнитопроводе. Они растут с ростом номинального.

Мощность цепи, имеющей только активные сопротивления, называется активной мощностью P . Характеризует безвозвратный (необратимый) расход энергии тока.

$$P = UI = I^2 r = U^2 / r.$$

В цепях переменного тока имеется гораздо больше причин, вызывающих безвозвратные потери энергии, нежели в цепях постоянного тока. Эти причины следующие: **Нагрев провода током**. Для постоянного тока нагрев является почти единственным видом потерь энергии. А для переменного тока, одинакового по значению с постоянным током, потери энергии на нагрев провода больше вследствие возрастания сопротивления провода за счет поверхностного эффекта.

Потери на создание вихревых токов, иначе называемых токами Фуко. Эти токи индуцируются во всех металлических телах, находящихся в магнитном поле, образованном переменным током. От действия вихревых токов металлические тела нагреваются.

Потери на магнитный гистерезис. Под влиянием переменного магнитного поля ферромагнитные сердечники перемагничиваются. При этом возникает взаимное трение частиц сердечника, в результате которого сердечник нагревается.

Потери в твердых или жидких диэлектриках. В таких диэлектриках переменное электрическое поле вызывает поляризацию молекул, т. е. на противоположных сторонах молекул возникают равные по значению, но разные по знаку заряды. Поляризованные молекулы под действием поля поворачиваются и при этом испытывают взаимное трение. За счет него диэлектрик нагревается.

Потери на утечку в изоляции. Применяемые изоляционные вещества не являются идеальными диэлектриками и в них наблюдаются токи утечки.

Потери на излучение электромагнитных волн. Всякий провод с переменным током излучает электромагнитные волны, причем с возрастанием частоты энергия излучаемых волн резко увеличивается.

Мощность в участке цепи с индуктивным сопротивлением называется реактивной мощностью Q . Она характеризует реактивную энергию, т. е. энергию, не расходуемую безвозвратно, а лишь временно запасующуюся в магнитном поле.

$$Q = I \cdot U_L = I^2 \cdot x_L = \frac{U_L^2}{x_L}$$

Огромное количество индуктивных нагрузок в сети суммарно обладает колоссальной реактивной мощностью, которая возвращается в генераторы и не совершает никакой полезной работы, расходуя энергию на нагрев кабелей и проводов ЛЭП, перегружает трансформаторы, снижая их КПД, тем самым уменьшая пропускную способность активных токов.

Билет №8.

1. Возможность регулирования частоты в электроэнергетических системах.

Регулирование частоты в энергосистеме — процесс поддержания частоты переменного тока в энергосистеме в допустимых пределах. Качество электроэнергии характеризуется качеством частоты напряжения переменного тока и качеством напряжения. Для оценки качества частоты установлен один показатель – отклонение частоты, под которой понимают медленные плавные изменения частоты (менее одного процента в секунду) относительно ее номинального значения:

$$\delta f = f - f_{\text{ном.}}$$

В соответствии с ГОСТ частота должна находиться в пределах $50,0 \pm 0,2$ Гц не менее 95 % времени суток, не выходя за предельно допустимые $50,0 \pm 0,4$ Гц. Причина появления отклонения частоты заключается в нарушении баланса генерируемой и потребляемой активной мощности в электроэнергетической системе. Причины отклонений обусловлены, в основном, возникновением крупных аварийных небалансов мощности в ЕЭС и наличием нерегулярных колебаний суточного графика потребления/генерации, некомпенсированных средствами вторичного регулирования.

Выделяют три взаимосвязанных вида регулирования частоты:

- первичное регулирование частоты (которое, в свою очередь, подразделяется на общее первичное регулирование частоты (ОПРЧ) и нормированное первичное регулирование частоты (НПРЧ);
- вторичное регулирование частоты
- третичное регулирование частоты.

Первичное регулирование:

Назначение первичного регулирования заключается в удержании частоты в допустимых пределах при нарушении баланса активной мощности. Обеспечивается регулирование использованием резервов, выделенных для этих целей электростанций. В целом зависимость от частоты мощности комплексной нагрузки энергосистемы, состоящей из электроприемников всех типов, имеет примерно такой вид, как на рисунке

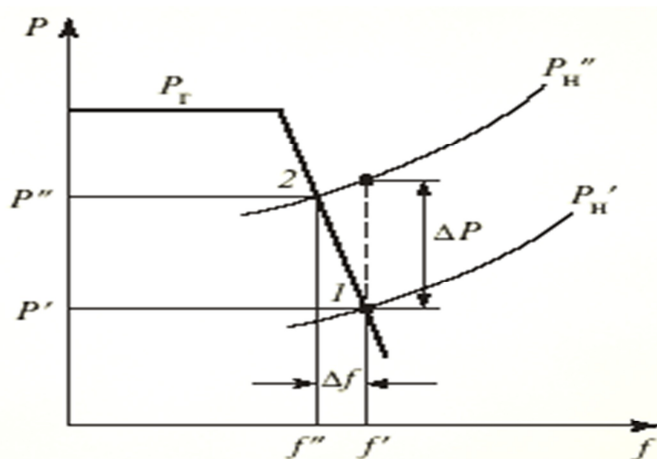


Рис. 14.6. Влияние изменения нагрузки на частоту энергосистемы

То, что мощность, потребляемая нагрузкой, уменьшается при снижении частоты, облегчает задачу первичного регулирования ($P'' - P' < \Delta P$). При увеличении мощности нагрузки и переходе с кривой $P_{H'}$ на кривую $P_{H''}$ частота уменьшается, и под действием автоматических регуляторов частоты вращения турбин генерируемая мощность увеличивается с P' до P'' . В течение нескольких секунд осуществляется переход из точки 1 в точку 2. При этом восстанавливается баланс мощности, но при пониженной частоте.

Вторичное регулирование:

Это процесс восстановления планового баланса мощности путем использования вторичной регулирующей мощности для компенсации системы. Осуществление функций вторичного регулирования производится путем выдачи диспетчерских команд на изменение активной мощности генерирующего оборудования. Электростанции вторичного регулирования частоты должны быть достаточно мощными и поддерживать необходимый диапазон регулирования, обладать хорошими маневренными качествами.

Третичное регулирование:

Третичное регулирование используется для восстановления резервов первичного и вторичного регулирования и для оказания взаимопомощи энергосистемам при неспособности отдельных энергосистем самостоятельно обеспечить вторичное регулирование.

2. Потери активной и реактивной мощности в электрической системе.

Все элементы электрической системы (станции, подстанции, линии электропередач, сети, приемники энергии) взаимосвязаны непрерывным процессом генерирования, передачи, распределения и потребления электрической энергии. Момент производства электроэнергии практически совпадает с моментом ее потребления, поэтому в любой момент времени мощность, отдаваемая генерирующими установками, должна быть точно равна мощности суммарной нагрузки системы, т. е. должен соблюдаться баланс генерируемых и потребляемых мощностей в системе. Баланс активной мощности может поддерживаться только самой системой, т. е. генераторами системы.

Баланс реактивной мощности поддерживается не только системой, но и путем размещения генерирующих источников реактивной мощности (компенсирующих устройств) непосредственно на месте потребления электроэнергии.

Балансу активной мощности сопутствует параметр режима— частота, а балансу реактивной мощности — напряжение. Снижение потребления активной мощности при уменьшении частоты из-за снижения производительности генераторов (уменьшения частоты вращения), а рост потребления реактивной мощности происходит из-за увеличения потерь реактивной мощности в индуктивных сопротивлениях ЛЭП, асинхронных двигателях и трансформаторах (увеличение намагничивающего тока). В электрической системе при любых режимах должно удовлетворяться уравнение баланса активных мощностей

$$P_{\text{раб}} = P_{\text{н}} + \Delta P_{\text{с}} + P_{\text{сн}} = P_{\text{потр}}$$

где $P_{\text{раб}}$ — суммарная активная мощность, вырабатываемая генераторами электростанций (рабочая мощность системы), МВт; $P_{\text{н}}$ — суммарная активная мощность нагрузок системы, МВт; $\Delta P_{\text{с}}$ — суммарные потери активной мощности в системе (во всех звеньях от генераторов станций до потребителей энергии), МВт; $P_{\text{сн}}$ — суммарная активная мощность собственных нужд электростанций, МВт; $P_{\text{потр}}$ — суммарная потребляемая активная мощность, МВт.

Изменение выработки активной мощности в системе связано с регулированием частоты, которое в современных системах осуществляется автоматически. Эта задача обычно возлагается на одну либо несколько электростанций системы. При тяжелых аварийных режимах, когда отключается значительная часть генераторного парка системы и баланс активной мощности резко нарушается, применяют автоматическую частотную разгрузку (отключают часть потребителей) для восстановления баланса. После восстановления режима работы системы вступает в действие частотное АПВ.

Баланс реактивных мощностей в системе записывается в виде:

$$Q_{\text{раб}} = Q_{\text{Г}} + (Q_{\text{Л}} + Q_{\text{к}} + Q_{\text{кУ}}) = Q_{\text{н}} + \Delta Q_{\text{с}} + Q_{\text{сн}} = Q_{\text{потр}}$$

где $Q_{\text{раб}}$ — суммарная реактивная мощность, генерируемая всеми источниками системы (рабочая мощность), Мвар; $Q_{\text{Г}}$, $Q_{\text{Л}}$, $Q_{\text{к}}$, $Q_{\text{кУ}}$ — реактивные мощности, генерируемые соответственно генераторами электростанций, линиями электропередач (зарядная мощность), конденсаторными батареями, компенсирующими установками (синхронные компенсаторы, синхронные двигатели, статические компенсирующие установки и т. п.), Мвар; $Q_{\text{н}}$, $\Delta Q_{\text{с}}$, $Q_{\text{сн}}$ — соответственно суммарная реактивная мощность нагрузок системы, потерь реактивной мощности в системе и расход реактивной мощности на собственные нужды системы, Мвар; $Q_{\text{потр}}$ — суммарная потребляемая реактивная мощность, Мвар. Нарушение баланса реактивной мощности приводит к отклонениям напряжения, при этом в разных узлах системы отклонения могут быть различными, в отличие от отклонений частоты, которые происходят одновременно во всей системе. Регулирование напряжения осуществляют регулированием реактивной мощности, причем это регулирование в разных точках системы может выполняться независимо. Как правило, это регулирование осуществляется таким образом, чтобы обеспечить минимум потерь мощности в сетях. Изменение напряжения при нарушении баланса реактивной мощности вызывает изменение потребления нагрузкой системы и активной и реактивной мощности. **Билет №**

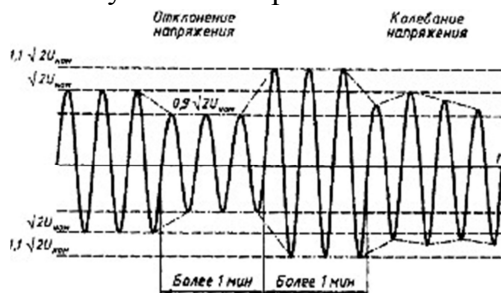
9 1. Основные показатели качества напряжения.

Показателями качества электроэнергии являются:

- 1- Отклонение напряжения
- 2- Колебания напряжения
- 3- Провалы напряжения
- 4- Несимметрия напряжения в трехфазной системе

5- Несинусоидальность формы кривой напряжения

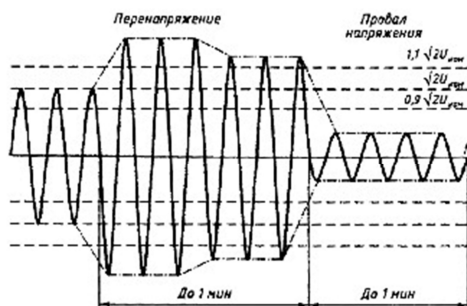
6- Импульсное напряжение



1. Отклонение напряжения – отличие фактического напряжения в установившемся режиме работы системы электроснабжения от

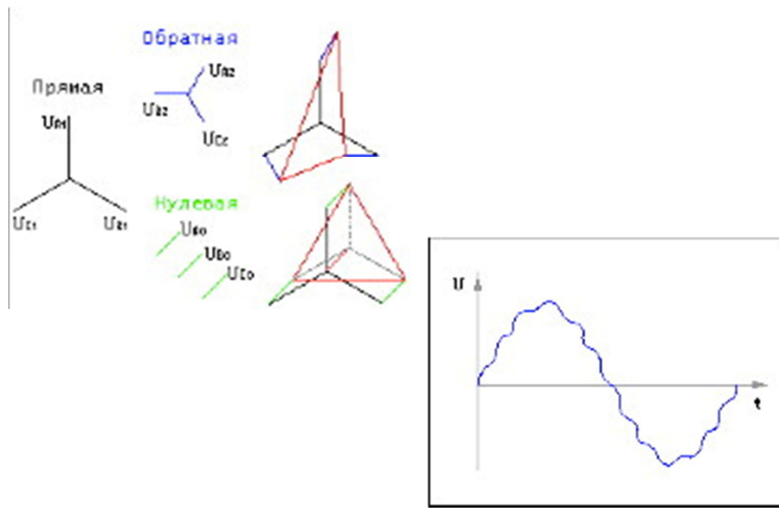
его номинального значения.

2. Колебания напряжения - быстро изменяющиеся отклонения напряжения длительностью от полупериода до нескольких секунд. Источниками колебаний напряжения являются потребители электроэнергии с резко переменным графиком потребления. К ним относятся: дуговые сталеплавильные печи, электросварка, поршневые компрессоры и ряд других. При резком возрастании нагрузки происходит резкое увеличение потерь напряжения в ветвях сети, питающих эту нагрузку.



3. Провалы напряжения

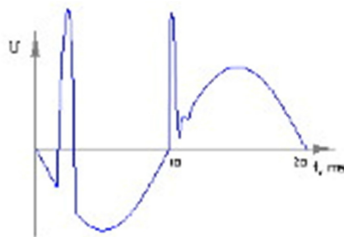
Внезапное и значительное снижение напряжения (менее 90% $U_{ном}$) длительностью от нескольких периодов до нескольких десятков секунд с последующим восстановлением напряжения.



4. Несимметрия напряжения происходит только в трехфазной сети под воздействием неравномерного распределения нагрузок по ее фазам.

5. Несинусоидальность напряжения – искажение синусоидальной формы кривой напряжения. Источниками несинусоидальности напряжения являются: статические преобразователи, дуговые сталеплавильные и индукционные печи, трансформаторы, синхронные двигатели, сварочные установки, газоразрядные осветительные и бытовые приборы и т.д. Строго говоря, все потребители, кроме ламп накаливания имеют нелинейную вольтамперную характеристику.

6. Импульсное перенапряжение



Импульсные перенапряжения возникают при грозовых явлениях и при коммутациях оборудования (трансформаторы, двигатели, конденсаторы, кабели). Величина импульсного перенапряжения зависит от многих условий, но всегда значительна и может достигать многих сотен тысяч вольт.

2. Потери мощности в трансформаторных подстанциях.

Правильное проектирование и эксплуатация электрических систем позволяют не только свести к минимуму потери энергии, но и обеспечивают снижение затрат на электроэнергию. Потери энергии вызываются наличием включенных трансформаторов даже при отсутствии нагрузки. Потери в трансформаторах подразделяются на два основных типа - «потери в стали» (т.е. в сердечнике) и «потери в меди» (т.е. в обмотках). Потери в стали вызываются гистерезисом и вихревыми токами в ферромагнитных

пластинах сердечника, их величина пропорциональна и составляет примерно 0,2-0,5 % номинальной мощности трансформатора. Потери в меди связаны с сопротивлением медных обмоток и выделением тепла, величина этих потерь составляет примерно 1-3% номинальной мощности трансформатора.

При эксплуатации трансформатора в реальных условиях средний коэффициент загрузки всегда меньше 100 %.

КПД трансформатора зависит от коэффициента загрузки. Эта особенность позволяет рассмотреть следующие варианты повышения эффективности для трансформаторной подстанции:

- если общая мощность, потребляемая нагрузкой, ниже уровня 40-50%, то в качестве меры энергосбережения целесообразно отключить один или несколько трансформаторов, чтобы довести загрузку остальных до оптимальной величины;
- в противоположной ситуации если общая мощность, потребляемая нагрузкой, превышает 75%, то достичь оптимального КПД трансформаторов можно лишь посредством установки дополнительных мощностей;
- при замене трансформаторов, предпочтительным является установка трансформаторов с пониженным уровнем потерь которые уменьшаются на 20-60%.

Билет №10

1. Возможности регулирования напряжения в электрической системе.

Необходимость поддержания напряжений в различных точках сети в достаточно узких пределах предопределяет необходимость его регулирования.

Напряжение в сети непрерывно меняется из-за изменения:

- а) нагрузки,
- б) сопротивления элементов сети,
- в) режимов работы источников питания (ИП).

В настоящее время в энергосистемах применяется большое количество устройств, обеспечивающих поддержание режима напряжений.

При подходе к регулированию напряжения в электрических сетях должны обеспечиваться:

- уровни напряжения на энергообъектах, допустимые для оборудования электрических станций и сетей;
- нормативные запасы устойчивости (в контролируемых сечениях и по напряжению в узлах нагрузки);
- уровни напряжения, обеспечивающие качество электроэнергии по показателю «установившееся отклонение напряжения» на зажимах электроприёмников;
- минимум потерь электроэнергии в сетях (за счёт оптимизации режимов по напряжению и реактивной мощности).

Метод встречного регулирования заключается в изменении напряжения в зависимости от изменения графика нагрузки электроприемника.

Метод встречного регулирования напряжение на шинах низшего напряжения районных подстанций в период максимальной нагрузки должно поддерживаться на 5 % выше номинального напряжения питаемой сети. В период минимальной нагрузки ($P_{\min} \leq P_{\max}$) напряжение на шинах 6-10 кВ ПС понижается до номинального напряжения.

Регулирование напряжения под нагрузкой.

Данный тип переключений применяется для оперативных переключений, связанных с постоянным изменением нагрузки (например, днём и ночью нагрузка на сеть будет разная). В зависимости от того, на какое напряжение и какой мощности трансформатор, РПН может менять значение коэффициента трансформации в пределах от ± 10 до ± 16 %. Регулирование осуществляется на стороне высокого напряжения, так как величина силы тока там меньше, и соответственно, устройство РПН выполнить проще и дешевле. Регулирование может производиться как автоматически, так и вручную из ОПУ или диспетчерского пульта управления. Принцип регулирования напряжения таких устройств также основан на изменении числа витков.

Переключение без возбуждения.

Данный тип переключения используется во время сезонных переключений, так как предполагает отключение трансформатора от сети, что невозможно делать регулярно, не лишая потребителей электроэнергии. ПБВ позволяет изменить коэффициент трансформации в пределах от -5 % до $+5$ %. На маломощных трансформаторах выполняется с помощью двух ответвлений, на трансформаторах средней и большой мощности с помощью четырёх ответвлений по $2,5$ % на каждое.

Ответвления чаще всего выполняются на той стороне, напряжение на которой в процессе эксплуатации подвергается изменениям. Обычно это сторона высшего напряжения. Выполнение ответвлений на стороне высшего напряжения имеет также то преимущество, что при этом, ввиду большего количества витков, отбор $\pm 2,5$ % и ± 5 % количества витков может быть произведён с большей точностью. Кроме того, на стороне высшего напряжения величина силы тока меньше, и переключатель получается более компактным.

2. Мероприятия по снижению потерь мощности в электрической системе.

Потери мощности и электроэнергии достигают значительных величин и являются одним из основных факторов, влияющих на экономичность сетей. Их величина регламентируется постановлениями Национального комитета по регулированию электроэнергии (НКРЭ) в сетях напряжением до 35 кВ и в сетях напряжениям 35 кВ и выше.

Большая часть потерь электроэнергии (60 – 70%) приходится на сети напряжением 6 – 10 кВ.

Допустимая потеря напряжения устанавливается с некоторой степенью точности, исходя из нормированных значений отклонений напряжения на шинах электроприемников:

- для сетей напряжением 220 – 380 В на всем протяжении от источника питания до последнего электроприемника от $5 - 6,5$ %;
- для питающей сети напряжением 6 – 35 кВ – от 6 до 8% в нормальном режиме; от 10 до 12 % в послеаварийном режиме;
- для сельских сетей напряжением 6 – 35 кВ – до 10 % в нормальном режиме.

Эти значения допустимой потери напряжения подобраны таким образом, чтобы при надлежащем регулировании напряжения в сети удовлетворялись требования ПУЭ в отношении отклонений напряжений на шинах электроприемников.

Поэтому перечисленные ниже мероприятия относятся к сетям этих напряжений и к электроприемникам:

применение более высокой ступени напряжения (10 кВ вместо 6 кВ); повышение уровня напряжения в сети путем применения устройств регулирования напряжения; регулирование потоков активной и реактивной мощностей в отдельных звеньях

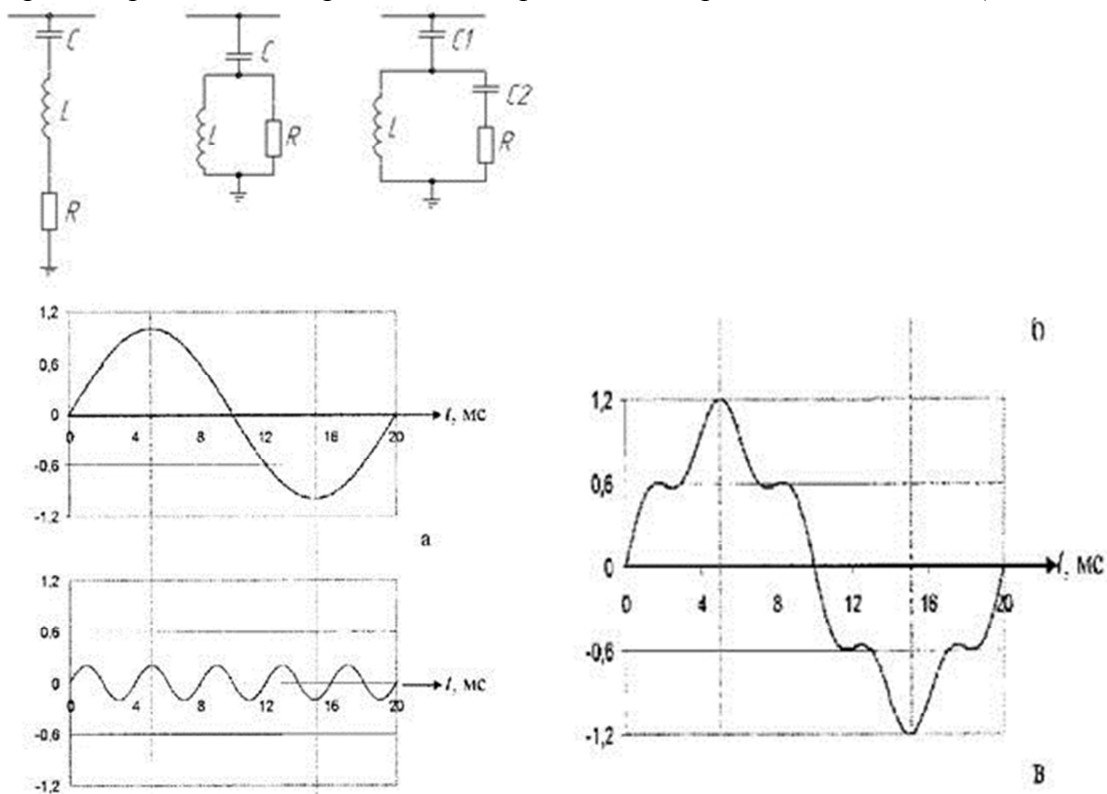
сети; применение рациональных схем питания потребителей, которые позволяют осуществлять более экономичную загрузку ЛЭП и трансформаторов; рационализация энергохозяйств предприятий – улучшение $\cos\varphi$, правильный выбор мощности и загрузка электродвигателей.

Билет №11.

1. Причины появления искажения синусоидальной кривой напряжения.

Источниками искажения синусоидальной формы напряжения являются нагрузки, обладающие нелинейной ВАХ: дуговые сталеплавильные печи, тиристорные преобразователи, трансформаторы с нелинейными ВАХ

Ток, потребляемый подобными устройствами, имеет форму, отличную от синусоидальной. Высшие гармонические составляющие неблагоприятно влияют на работу электроприемников и электрических сетей, средств связи, автоматики, измерительных приборов, вычислительных машин и других электронных устройств. Снижение влияния высших гармоник напряжения достигается использованием специальных фильтров (фильтры настраивают на определенные гармоники и ограждают от них сеть)



Причиной, вызывающей искажение напряжения и тока в электросети, выступают нелинейные потребители, которые используют ток несинусоидального типа

Присутствие гармоник в очень сильной степени, когда форма сетевого напряжения вообще не похожа на синусоиду:

- может вызвать перегрев индуктивностей (трансформаторы 50-60 Гц, обмотки синхронных и асинхронных электродвигателей)
- сбои в работе некоторых импульсных блоков питания - сбои в работе электронных устройств

2. Оборудование электрических систем. Общая характеристика

Оборудование электрических систем служит для обеспечения безопасной и бесперебойной работе системы.

Распределительное устройство (РУ) — электроустановка, служащая для приёма и распределения электрической энергии. Распределительное устройство содержит набор коммутационных аппаратов, сборные и соединительные шины, вспомогательные устройства и средства учёта и измерения.

Электрическая подстанция — электроустановка, предназначенная для приёма, преобразования и распределения электрической энергии, состоящая из трансформаторов или других преобразователей электрической энергии, устройств управления, распределительных и вспомогательных устройств

Линия электропередачи (ЛЭП) — один из компонентов электрической сети, система энергетического оборудования, предназначенная для передачи электроэнергии посредством электрического тока. Также электрическая линия в составе такой системы, выходящая за пределы электростанции или подстанции

Опора воздушной линии электропередачи (опора ЛЭП) — сооружение для удержания проводов и при наличии — грозозащитных тросов воздушной линии электропередачи и оптоволоконных линий связи на заданном расстоянии от поверхности земли и друг от друга.

Билет 12.

1. Несимметрия напряжения: причины и возможности устранения

Несимметрия напряжений происходит только в трёхфазной сети под воздействием неравномерного распределения нагрузок по её фазам.

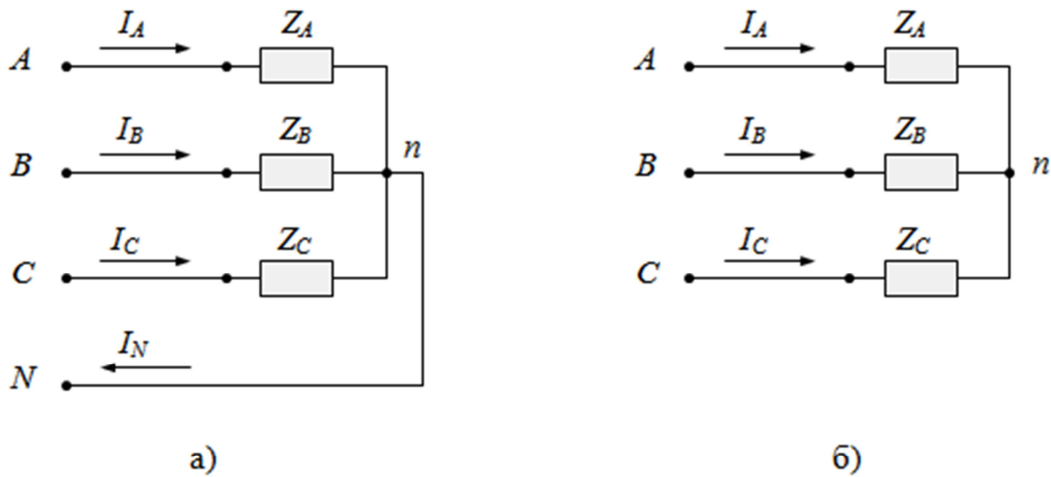
Несимметрия токов и напряжений — явление, при котором амплитуды фазных напряжений (токов) или углы между ними не равны между собой.

Причины несимметрии напряжений могут быть разными, но основная из них — это несимметрия токов в сети, обусловленная неравенством нагрузки по фазам.

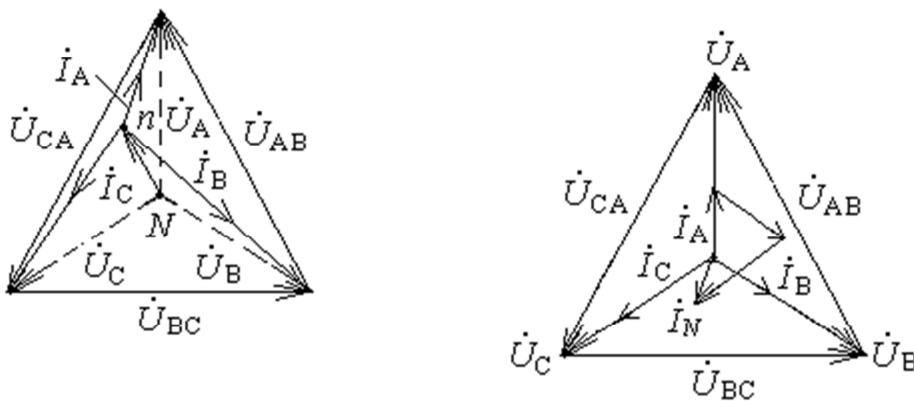
В зависимости от схемы соединения вторичных обмоток трёхфазного трансформатора на питающей подстанции возможны различные последствия несимметрии.

Так при соединении обмоток звездой и четырёхпроводном питании потребителей (с нулевым проводом), возможны следующие ситуации:

- Обрыв нулевого провода — в этом случае линейное напряжение остается неизменным, а фазовые напряжения распределяются между однофазными потребителями пропорционально их электрическому сопротивлению.
- Короткое замыкание фазного провода на нулевой — в этом случае, если не сработает защита от коротких замыканий, напряжение между оставшимися фазами и нулевым проводом также увеличится. Значение напряжений в этом случае трудно предсказать, так как они сильно зависят от сопротивления проводов и внутреннего сопротивления трансформатора.



При несимметричной нагрузке, показана векторная диаграмма токов и напряжений для произвольной трехфазной цепи при соединении фаз в треугольник.



Без нулевого провода

с нейтралью

Для устранения несимметрии фазных токов и напряжений применяют специальные трансформаторы с симметрирующими устройствами:

- Для сетей 6(10)/0,38 кВ — трансформаторы масляные с симметрирующим устройством.
- Для сетей 380/220 В — трансформатор симметрирующий трёхфазный.

2. Назначение и конструктивное применение воздушных линий электропередач

Воздушными называются линии, предназначенные для передачи и распределения ЭЭ по

проводам, расположенным на открытом воздухе и поддерживаемым с помощью опор и изоляторов. Воздушные ЛЭП сооружаются и эксплуатируются в самых разнообразных климатических условиях и географических районах, подвержены атмосферному воздействию. В связи с этим ВЛ должны сооружаться с учетом атмосферных явлений, загрязнения воздуха, условий прокладки. Из анализа условий ВЛ следует, что материалы и конструкции линий должны удовлетворять ряду требований: экономически приемлемая стоимость, хорошая электропроводность и достаточная механическая прочность материалов проводов и тросов, стойкость их к коррозии, химическим воздействиям; линии должны быть электрически и экологически безопасны, занимать минимальную территорию.

Основными конструктивными элементами ВЛ являются опоры, провода, грозозащитные тросы, изоляторы и линейная арматура.

Опоры ВЛ – конструкции, предназначенные для поддержания проводов на необходимой высоте над землей, водой и каким-либо инженерным сооружением. Кроме того, на опорах в необходимых случаях подвешивают необходимые стальные заземленные тросы для защиты проводов от прямых ударов молнии и связанных с этим перенапряжением.

Опоры подразделяются на промежуточные и анкерные. В зависимости от материала опоры бывают деревянные, железобетонные и металлические.

Специальные опоры бывают следующих типов: переходные – для больших пролетов пересечения рек, ущелий; ответвительные – для выполнения ответвлений от основной линии; транспозиционные – для изменения порядка расположения проводов на опоре.

По конструктивному исполнению опор наиболее распространены одно- и двухцепные ВЛ. На трассе линии могут сооружаться до четырех цепей. Трасса линии — полоса земли, на которой сооружается линия. Одна цепь высоковольтной ВЛ объединяет три провода трехфазной линии, в низковольтной — от трех до пяти проводов. В целом конструктивная часть ВЛ характеризуется типом опор, длинами пролетов, габаритными размерами, конструкцией фаз, количеством изоляторов.

Провода предназначены для передачи электроэнергии. На ВЛ применяются преимущественно неизолированные провода. По конструктивному исполнению провода могут быть одно- и многопроволочными, полыми. Однопроволочные, преимущественно стальные провода используются ограничено в низковольтных сетях. Для придания им гибкости и большей механической прочности провода изготавливают многопроволочными из одного металла (алюминия или стали) и из двух металлов (комбинированные) — алюминия и стали. Сталь в проводе увеличивает механическую прочность, так же есть СИПы (самонесущий изолированный провод).

Основные марки СИПов:

- СИП-1 и СИП-1А (состоят из алюминиевых токопроводящих фазных жил, покрытых термопластичной полиэтиленовой изоляцией, устойчивой к воздействию ультрафиолета)
- СИП-2 и СИП-2А (имеют аналогичную с предыдущими марками конструкцию, за исключением изоляции, которая состоит из «сшитого» полиэтилена)
- СИП-3 состоит из одной жилы со стальным сердечником, обвитым проволоками из алюминиевого сплава
- СИП-4 и СИП-4н (состоят из парных токопроводящих жил, при этом несущая нулевая жила у них отсутствует)
- СИП-5, СИП-5н (имеют аналогичную конструкцию, единственное отличие – это изоляция, которая «сшита из полиэтилена»)

Билет №13

1. Влияние частоты на работу оборудования.

Изменение частоты переменного напряжения влияет на режимы работы электроприемников. Основными потребителями электроэнергии являются двигатели переменного тока. Отклонение частоты ухудшает работу электродвигателей, изменяется частота вращения, потребляемая ими активная и реактивная мощность. Вместе с тем изменение частоты слабо влияет на работу печной и осветительной нагрузки.

$$n_0 = 60f/p,$$

где n - это частота вращения ротора
 f - частота тока сети p - количество полюсов

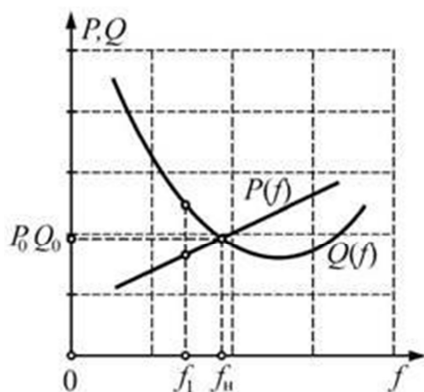


Рис. 1. Зависимость активной и реактивной мощности от частоты

На рис. 1 приведена зависимость активной P и реактивной Q мощности от частоты для энергосистемы в целом. По графику видно что при снижении частоты из-за дефицита генерируемой в системе активной мощности потребители уменьшают свою нагрузку, стремясь поддерживать частоту на прежнем уровне. При увеличении частоты возрастает реактивная мощность.

Под отклонением частоты понимают алгебраическую разность между фактическим значением частоты и ее номинальным значением при медленных изменениях:

$$\Delta f = f - f_n, \text{ или } \Delta f\% = \frac{f - f_n}{f_n} \cdot 100.$$

Действующие нормы качества электроэнергии допускают отклонение частоты в нормальных режимах энергосистемы в пределах $\pm 0,2\%$ ($\pm 0,1$ Гц).

В любой момент времени в энергосистеме соблюдается баланс активных мощностей:

$$\sum P_{\Gamma} = \sum P_{\Pi} - \sum \Delta P,$$

где $\sum P_{\Gamma}$ — суммарная мощность генераторов электрических станций;

ΣP_{Γ} – мощность потребителей энергосистемы, включая собственные нужды электростанций;

$\Sigma \Delta P$ – суммарная мощность потерь в электрических сетях.

Снижение частоты происходит при внезапном выходе из строя генерирующей мощности и отсутствии резерва либо при аварийном отключении нагруженных межсистемных линий и разделении системы на несинхронные части с дефицитом мощности.

Пусть в начальный момент времени номинальной частоте в системе соответствует нагрузка потребителей $P_{1н}$, равная нагрузке всех генераторов $P_{1Г}$ (рис. 2). Положим, что при этом все генераторы загружены полностью и резерв активной мощности в системе отсутствует. Пусть теперь по какой-то причине в момент времени t_1 (точка 1) возник дефицит генерируемой активной мощности, равный $P_{1Г} - P_{2Г}$ (точка 3). Он приведет к нарушению баланса, и нагрузка потребителей по частотной статической характеристике будет стремиться восстановить его при пониженной частоте.

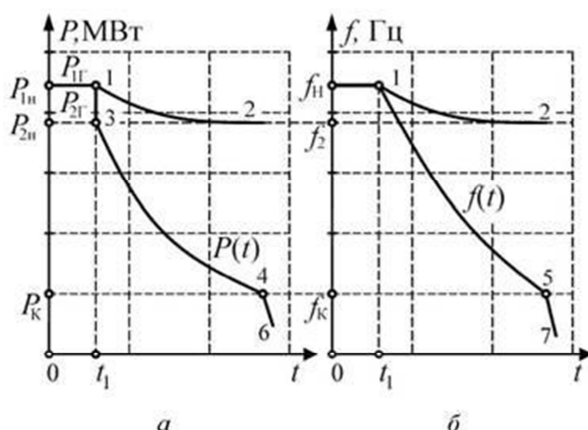


Рис. 2 Изменение параметров системы при отсутствии резерва активной мощности: a – мощности; b – частоты

Если бы мощность станций не зависела от частоты, то процесс пошел бы по кривой 1 – 2. При достижении нагрузки потребителей $P_{2н} = P_{2Г}$ восстановился бы баланс при новой пониженной частоте f_2 . Однако снижение частоты и отсутствие резерва генерирующей мощности будут приводить к уменьшению мощности всех тепловых станций по кривой 3–4.

Поэтому разность между потребляемой и генерируемой мощностью будет увеличиваться, что приведет к дальнейшему снижению частоты по кривой 1–5. При достижении критической частоты $f_{к}$ мощность тепловых станций снижается до нуля, и частота резко уменьшается (кривые 4–6 и 5–7).

2. Назначение и конструктивное применение кабельных линий электропередач.

Кабельная линия электропередачи (КЛ) – линия для передачи электроэнергии, состоящая

из одного или нескольких параллельных кабелей с соединительными, стопорными и концевыми муфтами (заделками) и крепежными деталями.

Как правило, кабельные линии прокладывают в местах, где затруднено строительство воздушных линий (ВЛ) – в городах, поселках, на территории промышленных предприятий. Они имеют определенные преимущества перед ВЛ – закрытая прокладка, обеспечивающая защиту от атмосферных воздействий (ветер, гроза, обледенение), КЛ имеют большую надежность и безопасность в эксплуатации. Поэтому, несмотря на их большую стоимость и трудоемкость сооружения, кабельные линии широко применяют в сетях внешнего и внутреннего электроснабжения.

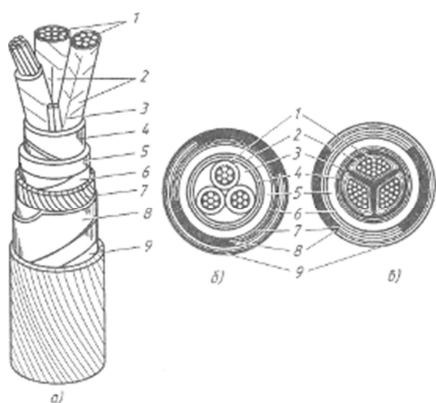


Рис. 1

Рис. 1- Трехжильный кабель с поясной изоляцией из пропитанной бумаги (а) и его разрезы (б – с круглыми жилами; в - с секторными жилами): 1 – жилы; 2 – изоляция жил; 3 – наполнитель; 4 – поясная изоляция; 5 – защитная оболочка; 6 – бумага, пропитанная компаундом; 7 – защитный покров из пропитанной кабельной пряжи; 8 – ленточная броня; 9 – пропитанная кабельная пряжа

По напряжению кабели традиционно делятся на кабели: низкого напряжения (до 1 кВ), среднего напряжения (до 35 кВ включительно), высокого напряжения (110 кВ и выше). Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена прокладываются в земле (скрытая прокладка) и воздухе (открытая прокладка). Скрытая прокладка осуществляется в земляных траншеях. Открытая прокладка по территории предприятия выполняется в кабельных сооружениях. Открытая прокладка кабелей в цехах промышленных предприятий производится по опорным конструкциям, изготавливаемым в виде стоек с полками, настенных полок и др.

Прокладка кабельных линий (КЛ) в земляной траншее является одним из наиболее распространенных, простых и экономичных способов прокладки. Глубина заложения КЛ от планировочной отметки должна быть не менее 0,7 м для кабелей напряжением до 20 кВ и не менее 1 м для кабелей напряжением 35 кВ и выше.

При прокладке в одном направлении большого количества кабелей (более 20), что характерно для энергоемких промышленных предприятий, используются кабельные сооружения: туннели, галереи, эстакады, каналы.

Билет 14

1. Регулирование и управление режимами работы электрооборудования для обеспечения их надежности и экономичности.

На каждом энергообъекте (электростанции, электрической сети, тепловой сети) должно быть организовано круглосуточное оперативное управление оборудованием, задачами которого являются:

ведение требуемого режима работы; производство

переключений, пусков и остановок; локализация

аварий и восстановление режима работы;

подготовка к производству ремонтных работ. Управление режимом работы

энергоустановок должно быть организовано на основании суточных графиков.

Электростанции и теплоисточники обязаны в нормальных условиях выполнять заданный график нагрузки и включенного резерва.

О вынужденных отклонениях от графика оперативно-диспетчерский персонал электростанции и теплоисточника должен немедленно сообщать дежурному диспетчеру энергосистемы и диспетчеру теплосети.

Диспетчер энергосистемы имеет право по условиям ее режима изменить график нагрузки электростанции, а также кратковременно (не более чем на 3 ч) график теплосети.

Надежность работы электрооборудования зависит от многочисленных и разнообразных факторов, которые условно могут быть разделены на четыре группы; конструктивные, производственные, монтажные, эксплуатационные.

Конструктивные факторы обусловлены установкой в устройство малонадежных элементов; недостатками схемных и конструктивных решений, принятых при проектировании; применением комплектующих элементов, не соответствующих условиям окружающей среды.

Производственные факторы обусловлены нарушениями технологических процессов, загрязненностью окружающего воздуха, рабочих мест и приспособлений, слабым контролем качества изготовления и монтажа и др.

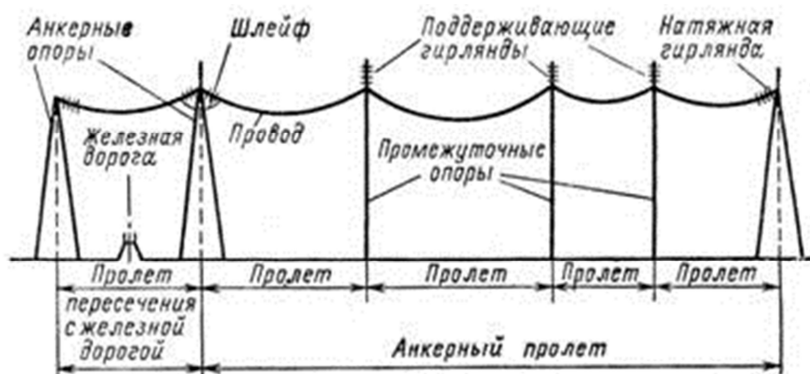
В процессе монтажа электротехнических устройств их надежность может быть снижена при несоблюдении требований технологии.

Условия эксплуатации оказывают наибольшее влияние на надежность электротехнических устройств.

Повышение надежности электрооборудования достигается рядом организационных и технических мероприятий.

Ущерб от перерывов питания электроприемников может быть уменьшен путем согласования времени и продолжительности плановых отключений, сокращения времени ремонтов электрооборудования энергоснабжающими организациями за счет применения прогрессивных методов работы, составления сетевых графиков, рационального

и



составляют 80-90 % общего

Схема анкерного пролета ВЛ и пролета пересечения с железной дорогой

вания рабочей силы, машин и механизмов.

Повышение надежности электрооборудования, приборов и средств автоматизации в первую очередь может быть осуществлено за счет размещения электрооборудования в отдельных помещениях, что защищает его от вредного воздействия окружающей среды

2. Опоры, провода, изоляторы, грозозащитные тросы в линиях электропередач.

Общая характеристика

Основными типами опор ВЛ являются анкерные и промежуточные. Опоры этих двух основных групп различаются способом подвески проводов. На промежуточных опорах провода подвешиваются с помощью поддерживающих гирлянд изоляторов (рис.2.1). Расстояние междупромежуточными опорами называется промежуточным пролетом или просто пролетом, а расстояние между анкерными опорами - анкерным пролетом. Промежуточные опоры устанавливаются на прямых участках ВЛ для поддержания провода в анкерном пролете. Промежуточная опора дешевле и проще в изготовлении, чем анкерная, так как благодаря одинаковому тяжению проводов по обеим сторонам она при необорванных проводах, т. е. в нормальном режиме, не испытывает усилий вдоль линии. Промежуточные опоры числа опор ВЛ.

Линии электропередачи выполняются преимущественно **воздушными и кабельными**. На энергоемких предприятиях применяют также **токопроводы**, на генераторном напряжении электростанций — **шинопроводы**; в производственных и жилых зданиях — **внутренние проводки**. Выбор типа ЛЭП, ее конструктивного исполнения определяется назначением линии, местом расположения (прокладки) и, соответственно, ее номинальным напряжением, передаваемой мощностью, дальностью электропередачи, площадью и стоимостью занимаемой (отчуждаемой) территории, климатическими условиями, требованиями электробезопасности и технической эстетики и рядом других факторов и, в конечном итоге, экономической целесообразностью передачи электрической энергии. Указанный выбор производится на стадиях принятия проектных решений

Грозозащитные тросы наряду с искровыми промежутками, разрядниками, ограничителями напряжений и устройствами заземления служат для защиты линии от атмосферных перенапряжений (грозовых разрядов). Тросы подвешивают над фазными проводами (рис. 1.19) на ВЛ напряжением 35 кВ и выше в зависимости от района по грозовой деятельности и материала опор, что регламентируется Правилами устройств электроустановок (ПУЭ). В качестве грозозащитных проводов обычно применяют стальные оцинкованные канаты (*марок С 35, С 50 и С 70*), а при использовании тросов для высокочастотной связи — сталеалюминевые провода. Крепление тросов на всех опорах ВЛ напряжением 220—750 кВ должно быть выполнено при помощи изолятора, шунтированного искровым промежутком. На линиях 35-110 кВ крепление тросов к металлическим и железобетонным промежуточным опорам осуществляется без изоляции троса.

Изоляторы воздушных линий. Изоляторы предназначены для изоляции и крепления проводов. Изготавливаются они из фарфора и закаленного стекла – материалов обладающих высокой механической и электрической прочностью и стойкостью к атмосферным воздействиям. Существенным достоинством стеклянных изоляторов является то, что при повреждении закаленное стекло рассыпается. Это облегчает нахождение поврежденных изоляторов на линии.

Билет №15

1. Регулирование напряжения под нагрузкой

Принципы регулирования. При эксплуатации трансформаторов довольно часто возникает необходимость регулирования вторичного напряжения. При этом различают два основных случая:

- 1) стабилизация вторичного напряжения при незначительном (на 5 — 10%) изменении первичного напряжения, что происходит обычно из-за падения напряжения в линии;
- 2) регулирование вторичного напряжения (из-за особенностей технологического процесса) в широких пределах при неизменном (или мало изменяющемся) первичном напряжении.

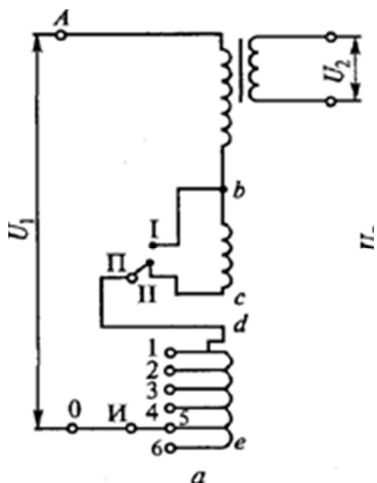
В обоих случаях вторичное напряжение регулируется путем изменения коэффициента трансформации, т. е. соотношения между числами витков первичной и вторичной обмоток.

В первом случае при небольших изменениях первичного напряжения можно изменять число витков либо первичной, либо вторичной обмотки. Например, при снижении первичного напряжения соответственно уменьшают число витков первичной обмотки так, чтобы ЭДС витка осталась неизменной. Поскольку число витков вторичной обмотки не изменяется, неизменной останется и ЭДС вторичной обмотки. При возрастании первичного напряжения соответственно увеличивают число витков первичной обмотки.

Во втором случае, когда требуется регулировать вторичное напряжение при неизменном первичном, изменяют число витков вторичной обмотки. Изменять число витков первичной обмотки в этом случае нельзя, так как это приведет к изменению магнитного потока трансформатора и, как следствие, к его перегреву или плохому использованию. Кроме того, очевидно, что получить малое выходное напряжение $U_2 = U_1 w_2 / w_1$ при неизменном числе витков вторичной обмотки практически невозможно, так как при этом необходимо иметь большое число регулировочных витков*.

Переключение ответвлений обмоток w_1 и w_2 может осуществляться при отключении трансформатора от первичной и вторичной сетей (переключение без возбуждения) или под нагрузкой (регулирование под нагрузкой). Существуют также трансформаторы с плавным регулированием напряжения, в которых плавно изменяют число витков w_2 или магнитный поток Φ_2 , охватываемый этой обмоткой.

а — включения регулировочных ступеней; б — регулирования напряжения в автотрансформаторе (показана одна фаза); в — ответвления в нейтрали (без реверса); г — ответвления на линейном конце обмотки СН (с реверсом); АБ — основная обмотка; be — ступень грубой регулировки; de — ступени плавной регулировки; П — переключатель; И — избиратель

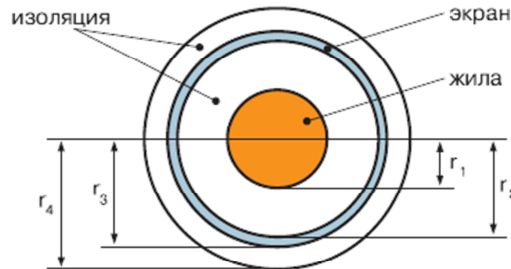


2. Кабельные линии электропередач.

Кабельная линия (КЛ) - линия для передачи электроэнергии, состоящая из одного или нескольких параллельных кабелей, выполненная каким-либо способом прокладки. Кабельные линии прокладывают там, где строительство ВЛ невозможно из-за стесненной территории, неприемлемо по условиям техники безопасности, нецелесообразно по экономическим, архитектурно-планировочным показателям и другим требованиям. Наибольшее применение КЛ нашли при передаче и распределении ЭЭ на промышленных предприятиях и в городах (системы внутреннего электроснабжения) при передаче ЭЭ через большие водные пространства и т. п. Достоинства и преимущества кабельных линий

по сравнению с воздушными: неподверженность атмосферным воздействиям, скрытность трассы и недоступность для посторонних лиц, меньшая повреждаемость, компактность линии и возможность широкого развития электроснабжения потребителей городских и промышленных районов. Однако КЛ значительно дороже воздушных того же напряжения

■ Рис. 1 Однофазный кабель с изоляцией из сшитого полиэтилена



Силовые кабели с ПВХ и резиновой изоляцией.	
АС	- алюминиевая жила и свинцовая оболочка.
АА	- алюминиевая жила и алюминиевая оболочка.
Б	- броня из двух стальных лент с антикоррозийным покрытием.
Бн	- то же, но с негорючим защитным слоем.
В	- первая (при отсутствии А) буква - ПВХ изоляция.
В	- вторая (при отсутствии А) буква - ПВХ оболочка.
Г	- в конце обозначения - нет защитного слоя поверх брони или оболочки.
Шв	- защитный слой в виде выпрессованного шланга (оболочки) из ПВХ.
Шп	- защитный слой в виде выпрессованного шланга (оболочки) из полиэтилена.
К	- броня из круглых оцинкованных стальных проволок, поверх которых наложен защитный слой. Если К стоит в начале обозначения, контрольный кабель.
С	- свинцовая оболочка.
О	- отдельные оболочки поверх каждой фазы.
Р	- резиновая изоляция.
НР	- резиновая изоляция и оболочка из резины, не поддерживающей горение. П - изоляция оболочка из термопластичного полиэтилена.
Пс	- изоляция или оболочка из самозатухающего, не поддерживающего горение полиэтилена.
Пв	- изоляция из вулканизированного полиэтилена.
нг	- не поддерживающий горение.
LS	- Low Smoke - пониженное дымовыделение.
нг-LS	- не поддерживающий горение, с пониженным дымовыделением.
FR	- с повышенной огнестойкостью (в качестве огнестойкого материала обычно применяется
FRLS	- с пониженным дымовыделением, с повышенной огнестойкостью
Э	- экран из медных проволок и спирально наложенной медной ленты
КГ	- кабель гибкий.

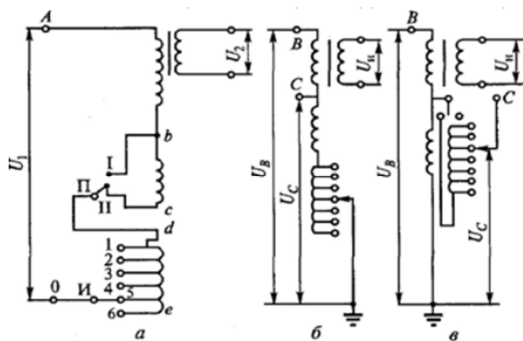
(в среднем в 2-3 раза для линий 6-35 кВ и в 5-6 раз для линий 110 кВ и выше), сложнее при сооружении и эксплуатации. В состав КЛ входят: кабель, соединительные и концевые муфты, строительные конструкции, элементы крепления и др.

Билет № 16

1. Выбор режимов регулирования напряжения в распределительных электросетях

Основная цель регулирования напряжения в распределительных сетях 10(6)–0,38 кВ заключается в обеспечении допустимых отклонений напряжения у электроприемников по межгосударственному стандарту. Для регулирования напряжения могут быть использованы устройства РПН трансформаторов или иные устройства, установленные в центре питания

распределительной сети, и для улучшения напряжения – трансформаторы подстанций (ТП) 10(6)/0,38 кВ, а в некоторых случаях также компенсирующие устройства, подключенные к сети 10(6) кВ или 0,38 кВ. Выбор ответвления трансформатора 10(6)/0,38 кВ, производят совместно с выбором режима регулирования напряжения в центре питания. Предварительно выполняют расчеты режимов при наибольших и наименьших нагрузках. При расчёте режимов распределительной сети 10 (6) кВ вводят следующие упрощения: а) расчёт потоков мощности на участках сети ведут по номинальному напряжению без

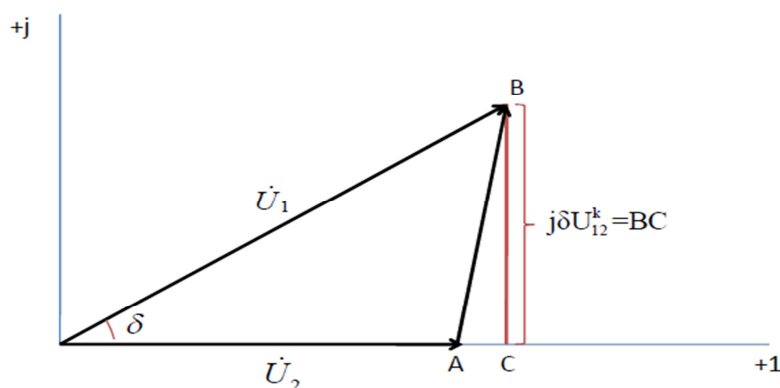


учёта потерь мощности. В результате на каждом участке будет получена одна какая-то мощность; а — включения регулировочных ступеней; б — регулирования напряжения в автотрансформаторе (показана одна фаза); ответвления в нейтрали (без реверса); в — ответвления на линейном конце обмотки СН (с реверсом); АБ — основная обмотка; бе — ступень грубой регулировки; де — ступени плавной регулировки; П — переключатель; И — избиратель б) пренебрегают поперечной составляющей падения

напряжения, а потерю напряжения принимают равной продольной составляющей падения напряжения

Поперечная составляющая падения напряжения δU_{12}^k — это проекция падения напряжения на мнимую ось, $j\delta U_{12}^k = CB$.

$$\text{т. о. } \dot{U}_1 - \dot{U}_2 = \sqrt{3} \times I_{12} \times Z_{12} = \Delta \dot{U}_{12}^k + j\delta \dot{U}_{12}^k$$



Величина δU_{12}^k определяет сдвиг вектора напряжения в начале линии (U_1) на угол δ по отношению к вектору напряжения в ее конце (U_2).

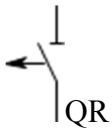
$$\Delta U = \frac{P \cdot R + Q \cdot X}{U_{\text{ном}}}, \text{ В, } \Delta U, \% = \frac{\Delta U, \text{ В}}{U_{\text{ном}}, \text{ В}} 100 \%;$$

2. Оборудование и схемы трансформаторных подстанций

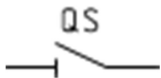
Трансформаторные подстанции включают в себя несколько элементов:

1. Силовые трансформаторы. это электрические аппараты, которые предназначены для преобразования электрической энергии одного значения напряжения в электрическую энергию другого значения напряжения.
2. Коммутационное оборудование

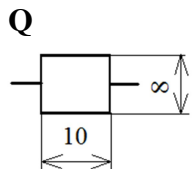
Отделитель — высоковольтный аппарат, предназначенный для автоматического отключения повреждённых участков цепи.



Разъединитель— Контактный коммутационный аппарат, предназначенный для коммутации электрической цепи без тока или с незначительным током.



Высоковольтный выключатель — коммутационный аппарат, предназначенный для оперативных включений и отключений отдельных цепей или электрооборудования в энергосистеме в нормальных или аварийных режимах при ручном, дистанционном или автоматическом управлении.



3. Распределительные устройства.

Эти устройства отвечают за приём электроэнергии и её распределение между потребителями.

Схемы трансформаторных подстанций и распределительных пунктов подразделяются на схемы соединений первичных цепей, или первичные, и схемы соединений вторичных цепей, или вторичные схемы.

Вторичные схемы включают элементы вторичного оборудования, соединенные между собой в той последовательности, которая обеспечивает работу схемы. Вторичным оборудованием являются контрольно-измерительные приборы, реле защиты и автоматики, аппаратура управления и сигнализации, соединенные между собой проводами и контрольными кабелями. Вторичное оборудование служит для управления первичным оборудованием, его защиты, контроля за работой. По назначению схемы подразделяют на принципиальные и монтажные.

Принципиальные схемы, отображая электрическую связь между оборудованием и последовательность его работы, составляются для установки в целом или для отдельного элемента электрической цепи (например, принципиальная схема питающей линии, принципиальная схема защиты линии).

На основе принципиальных первичных и вторичных схем строятся полные схемы, включающие элементы первичного и вторичного оборудования, непосредственно относящегося к рассматриваемой цепи.

По способу изображения принципиальные и полные схема бывают одно- и многолинейными, совмещенными (свернутыми) и развернутыми.

Билет №17

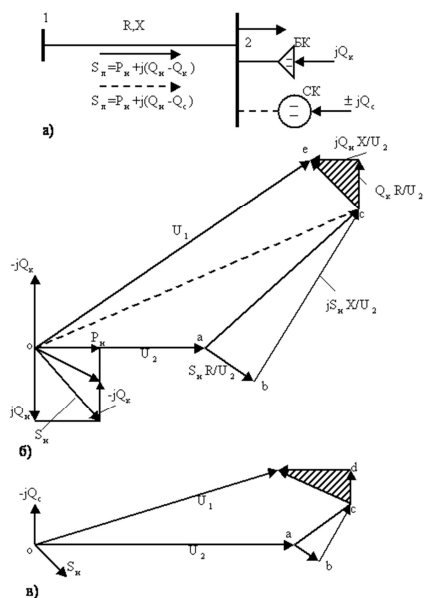
1.Регулирование напряжения изменением потоков реактивной мощности

Реактивная мощность может вырабатываться не только генераторами станций, но и другими источниками реактивной мощности, компенсирующими устройствами КУ, в качестве которых могут использоваться батареи конденсаторов, синхронные компенсаторы (двигатели). Мощность КУ для установки в сети определяется специальными технико-экономическими расчетами с учетом баланса реактивной мощности в соответствующем узле электрической системы.

Установка КУ позволяет улучшить режим напряжения в сети и у потребителей электроэнергии. На рисунке 1 а представлена упрощенная схема электрической сети, состоящей из линии с сопротивлениями R и X. В конце линии параллельно нагрузке включена неуправляемая батарея конденсаторов БК, генерирующая реактивную мощность jQ_K . При включении БК по линии передается меньшая реактивная мощность, равная $Q_H - Q_K$, что приводит к снижению потери напряжения и изменению режима напряжений в данной сети.

Потеря напряжения в линии при установке БК определяется

$$\Delta U = \frac{P_n R + (Q_n - Q_K) X}{U_{\text{ном}}}$$



На рисунках 1 б,в приведены векторные диаграммы напряжений и мощностей соответственно для режимов максимальных и минимальных нагрузок. Из диаграммы видно, что в режимах максимальных нагрузок при наличии БК уменьшается величина падения напряжения в сети (равная геометрической разности отрезков oc и oa при отсутствии БК и отрезков oc и oa при наличии БК). Таким образом, при некотором заданном напряжении U_1 в начале линии при наличии БК улучшается режим напряжений в конце линии.

В режимах малых нагрузок резко уменьшаются размеры треугольника падений напряжения abc , соответствующего мощности нагрузки. В то же время размеры треугольника падения напряжения cde , соответствующего мощности БК, остаются практически неизменными. В этих режимах напряжение U_2 в конце линии может превышать напряжение U_1 , что иногда может оказаться нежелательным или недопустимым.

Отсюда следует, что возможно и целесообразно автоматически изменять мощность БК в целях регулирования напряжения в сети.

2. Коммутационное оборудование трансформаторных подстанций: вакуумное, масляные, элегазовые выключатели

Силовые выключатели — представляют собой основные коммутационные компоненты, которые включают и выключают силовые цепи в различных режимах своей работы, а именно холостого хода, токовой нагрузки, короткого замыкания, перегрузки и т.д.

Наиболее тяжелой работой для них считается отключение при токе короткого замыкания, поскольку в результате тянется дуга, которую необходимо погасить. а)

Масляные выключатели

В этих аппаратах дугогасительное устройство заполнено трансформаторным маслом. Гашение электрической дуги осуществляется путем эффективного ее охлаждения потоками газа, возникающего при разложении масла дугой. Наиболее широкое распространение получили маломасляные выключатели на напряжения 10-20 кВ и 110-220 кВ

б) Элегазовые выключатели

В элегазовых выключателях гашение дуги производится потоком элегаза, либо путем подъема давления элегаза в камере за счет дуги, горящей в замкнутом объеме газа.

Применяется на все классы напряжения.

в) Вакуумные выключатели

В вакуумных выключателях. Контакты расходятся в вакууме. Вакуумные выключатели применяются при напряжении до 110 кВ.

Билет 18

1. Встречное регулирование напряжения

Суть метода встречного регулирования заключается в изменении напряжения в зависимости от изменения графика нагрузки электроприемников.

Согласно метода встречного регулирования напряжение на шинах низшего напряжения районных подстанций в период максимальной нагрузки должно поддерживаться на 5 % выше номинального напряжения питаемой сети. В период минимальной нагрузки ($P_{\min} \leq P_{\max}$) напряжение на шинах 6-10 кВ ПС понижается до номинального напряжения.

Рассмотрим этот метод на примере следующей сети.

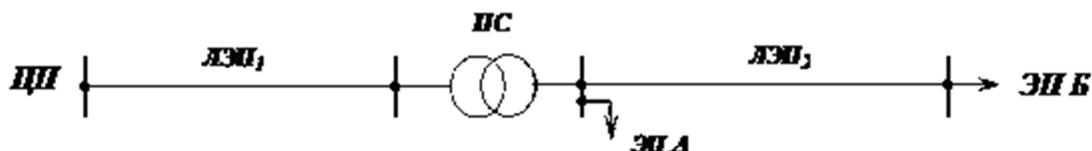
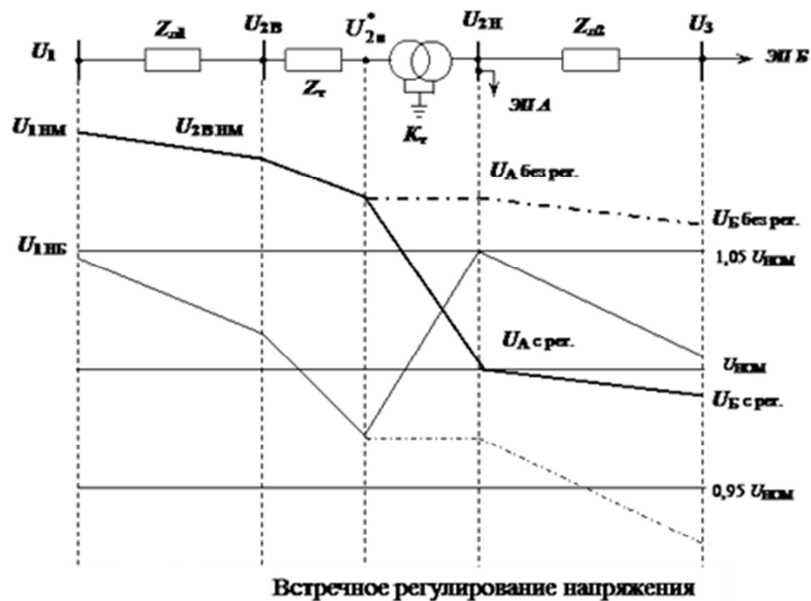


Схема участка электрической сети

В режиме максимальной нагрузки в центре питания поддерживается напряжение U_1 . На шинах высшего напряжения ПС напряжение ниже из-за потерь напряжения в ЛЭП₁. Обозначим это напряжение U_2 В. Напряжение на шинах низшего напряжения этой подстанции приведенное к напряжению высшей обмотки $U_{2\blacksquare}^*$ ниже напряжения U_2 В на величину потери напряжения в трансформаторе. Если бы на ПС не было регулирования напряжения ($K_t = 1$), то фактическое напряжение на шинах низшего напряжения ПС в относительных единицах было бы равно напряжению $U_{2\blacksquare}^*$. Это и есть напряжение на шинах электроприемника А. При регулировании напряжения ($K_t \neq 1$) напряжение на шинах низшего напряжения ПС поддерживается на 5 % выше номинального напряжения сети. При регулировании напряжения величина напряжения на шинах электроприемника Б входит в зону допустимых значений.



Наибольшее отклонение напряжения наблюдается в аварийных режимах работы системы. В этом случае поддерживать напряжение у всех потребителей в заданных пределах для нормального режима работы без значительных затрат на специальные устройства регулирования напряжения невозможно. Поэтому в аварийных режимах допускается большее отклонение напряжения.

2. Разъединители и отделители, ограничители перенапряжения и короткозамыкатели.

Разъединитель-коммутационный аппарат, используемый для включения и отключения электрических цепей в таких условиях, при которых на его контактах не возникает длинной открытой электрической дуги.

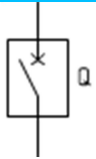
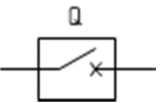

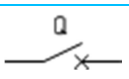
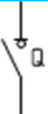
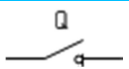
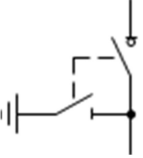
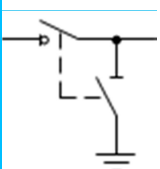
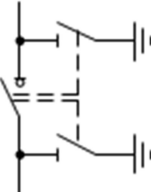
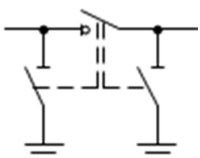


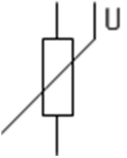
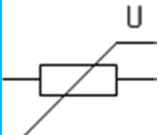

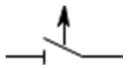
Основное назначение разъединителя заключается в изоляции отключенных частей электрической цепи с целью безопасного ремонта оборудования.

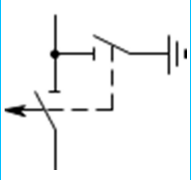
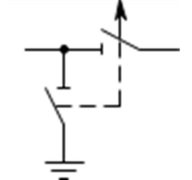
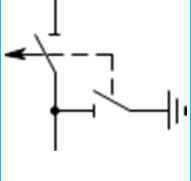
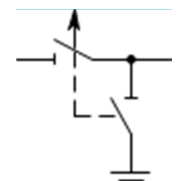
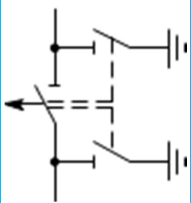
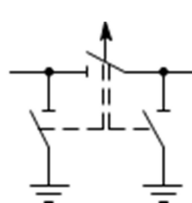
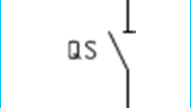
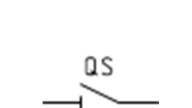
Короткозамыкатель - это быстродействующий контактный аппарат, который по сигналу релейной защиты создает искусственное КЗ сети. При необходимости короткозамыкатель может быть включен также вручную. **Отключается короткозамыкатель только при ручном оперировании.**

Отделитель-разъединитель, который быстро отключает обесточенную цепь после подачи команды на его привод. Если в обычном разъединителе скорость отключения очень мала, то в отделителе процесс отключения длится 0,5-1,0 с. Отделитель отсоединяет поврежденные участки электрической цепи после отключения защитного выключателя. Выключатель срабатывает от искусственного короткого замыкания, создаваемого короткозамыкателем

Ограничители, применяемые для гашения импульсного перенапряжения, представляют собой компактные аппараты со сменными модульными элементами. Устанавливают приборы в главных и второстепенных распределительных щитках. Главный рабочий орган ограничителя – варистор.

Аппараты РУ. Обозначения условные графические на схемах.

Наименование	Обозначение	
	Вертикально	Горизонтально
1. Выключатель масляный (вакуумный)		
2. Выключатель силовой		
3. Выключатель нагрузки без заземляющего ножа		
4. Выключатель нагрузки с заземляющим ножом		
5. Выключатель нагрузки с двумя заземляющими ножами		
6. Короткозамыкатель		
7. Ограничитель перенапряжения		
8. Отделитель без заземляющего ножа		

9. Отделитель с заземляющим ножом 1а		
10. Отделитель с заземляющим ножом 1б		
11. Отделитель с двумя заземляющими ножами		
17. Разъединитель, один комплект, без заземляющего ножа		

Билет №19.

1. Средства изменения потоков реактивной мощности в электрической системе.

Средства управления (регулирования) потоками реактивной мощности и уровнями напряжения - генераторы электростанций, синхронные компенсаторы, регулируемые (отключаемые) батареи статистических конденсаторов и реакторы, трансформаторы и автотрансформаторы РПП и вольтодобавочные трансформаторы (ВДТ), синхронные электродвигатели, используемые для регулирования потокораспределения.

Законы оптимального управления (регулирования) потоками реактивной мощности и уровнями напряжения - устойчивые оптимальные соотношения между параметрами режима электрической сети и параметрами режима работы средств управления потоками реактивной мощности, которые определяются на основе обработки результатов расчетов оптимальных режимов, охватывающих все возможные нормальные (не аварийные и послеаварийные) состояния энергосистемы, вида:

$$Q = Q_0 + \sum_{k=1}^l a_k \Pi_k;$$

$$U = U_0 + \sum_{k=1}^l b_k \Pi_k,$$

Где:

Q, U - регулируемые значения реактивной мощности и напряжения;

Q_0, a, U_0, b - коэффициенты;

P_k - параметры режима электрической сети, по которым регулируется генерация (потребление) реактивной мощности или напряжение в узле (переменные управления);
 L - число таких параметров.

Пункты контроля и управления потоками реактивной мощности в электрической сети электростанции или подстанции, где имеются средства управления потоками реактивной мощности, обладающие регулировочным диапазоном, достаточным для изменения потерь активной мощности в сети на заданное значение.

Местные параметры режима электрической сети - напряжение на шинах, токи, потоки активной и реактивной мощности в узле, где установлено средство управления потоками реактивной мощности.

2. Определение исходных данных для механического расчета линий электропередач.

Надежность электроснабжения потребителей электроэнергии во многом зависит от механической прочности всех конструктивных элементов установок для канализации электроэнергии (линий электропередачи, подстанций, токопроводов и т. д.). В свою очередь провода и тросы воздушных линий, токоведущие шины токопроводов и подстанций, их технические характеристики и действующие на них в процессе эксплуатации нагрузки в значительной степени определяют конструктивные решения, принимаемые при проектировании и сооружении упомянутых выше сетевых устройств. Целью механического расчета является в конечном счете определение напряжений в материале проводов, тросов и шин при заданных сочетаниях расчетных условий для различных режимов работы (нормальный режим — при необорванных проводах и тросах, аварийный режим — при обрыве части проводов и тросов при расчете ВЛ или режим короткого замыкания при расчете токопроводов и ошинок открытых подстанций).

Полученные в результате расчета значения механических напряжений в материале токоведущих частей и тросов используются в дальнейшем при решении отдельных частных задач (например, при определении величин стрел провеса проводов и тросов, а также расстояний от проводов до земли или сооружений, для расчета мест установки фиксирующих устройств — распорок на токопроводах, при проектировании защиты от вибрации и т. п.). Объем механического расчета определяется главным образом его целевым назначением, т. е. конечными результативными данными, которые являются необходимыми в каждом конкретном случае для проектирования отдельных конструктивных элементов установки.

При выполнении механического расчета проводов и тросов, помимо результатов электрического расчета сети (в части выбора для данной ВЛ марки провода), необходимо располагать также рядом других исходных данных и величин, основными из которых являются:

- расчетные климатические условия;
- конструктивные данные и физико-механические характеристики проводов и тросов; - нормируемые величины (запас механической прочности проводов и тросов, допускаемые нагрузки на изоляторы и арматуру, минимальные допустимые расстояния от проводов ВЛ до земли и сооружений и т. л.).

Расчетные климатические условия. Все основные элементы воздушных линий электропередачи постоянно подвергаются в процессе эксплуатации непосредственному воздействию различных атмосферных явлений. Поэтому вполне естественно, что климатические условия (ветер, гололед, температура воздуха) в значительной степени

определяют конструктивные параметры каждой ВЛ. Согласно ПУЭ для расчета ВЛ принимаются наиболее невыгодные с точки зрения работы линии сочетания климатических условий, наблюдаемых в данном районе не реже 1 раза в 5 лет (для ВЛ напряжением 35 кВ и ниже) и 1 раза в 10 лет (для ВЛ напряжением 110— 330 кВ).

Данные о климатологии района расположения трассы ВЛ обычно получают путем достаточно продолжительных наблюдений над различного рода атмосферными явлениями на местных метеостанциях, а также в линейных службах энергохозяйств, занимающихся эксплуатацией воздушных линий электропередачи. При этом во всех случаях при определении расчетных климатических условий необходимо руководствоваться соответствующими рекомендациями ПУЭ, в которых приведены карты районирования территории по ветру и гололеду.

Провода и тросы воздушных линий в процессе эксплуатации периодически подвергаются воздействию внешних нагрузок от давления ветра (горизонтальные нагрузки), образующегося на них гололеда (вертикальные нагрузки) и одновременно от обоих (суммарные нагрузки). Эти нагрузки во многом определяют величины механических напряжений, возникающих в материале проводов и тросов, и поэтому механический расчет производится с учетом подобных дополнительных нагрузок. При этом во всех случаях учитывается также собственный вес провода или троса.

Билет №20

1. Компенсационные установки, применяемые в системе.

Компенсационные конденсаторные установки разработаны для автоматической компенсации реактивной мощности (Q) нагрузок, которые возникают в трёхфазных электрических сетях переменного тока. Компенсируется реактивная мощность посредством нормализации коэффициента мощности, и поддержания на заданном уровне (не ниже 0,9).

Компенсационные конденсаторные установки дают возможность по-разному компенсировать реактивную мощность в распределительных сетях. Существует несколько видов компенсации – индивидуальная, групповая и централизованная.

Индивидуальная (нерегулируемая) компенсация применяется на единичном электрооборудовании. Эффект достигается при помощи компенсационной конденсаторной установки (нерегулируемой), подключённой непосредственно у потребителя (в основном это компрессоры высокой мощности, насосы, вентиляторы и силовые трансформаторы).

Групповая компенсация применяется для нескольких индуктивных нагрузок, которые присоединены к одному распределителю с общей компенсационной конденсаторной установкой. Обычно используют установку с автоматической регулировкой, причём для нескольких потребителей одновременно.

Централизованная (регулируемая) компенсация применяется в системах большим количеством электропотребителей, причём коэффициент мощности может иметь в течение суток большой разброс. Такая компенсационная конденсаторная установка подключается к распределительному щиту ТП, имеет необходимый перечень защит (включая защиту от высших гармоник), высокую точность и скорость.

В высококачественных компенсационных конденсаторных установках для подачи внешнего аварийного сигнала предусматривается дополнительный открытый контакт, а

автоматический регулятор Q установки представляет собой микропроцессорный регулятор, что позволяет с высокой точностью регулировать её работу.

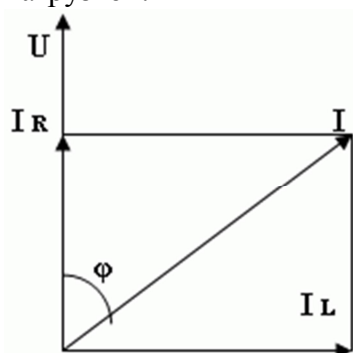
При использовании компенсационных конденсаторных установок снижаются затраты на электроэнергию, существующие электросети используются намного эффективнее.

Выбирая компенсационную конденсаторную установку, обращайте внимание на мощность и параметры электрооборудования, качество сети.

Принимая во внимание невысокую цену компенсационных конденсаторных установок и значительный эффект от их применения, эксплуатация подобного оборудования сокращает затраты предприятия.

Сделав правильный выбор компенсационных конденсаторных установок, можно обеспечить благоприятные условия эксплуатации электрооборудования предприятия. Это снижает токовую нагрузку на токоведущие части и коммутационную аппаратуру на 20-60%, при этом уменьшается нагрев проводников, и за счет этого снижаются потери, разгружаются питающие линии электропередачи, трансформаторы и распределительные устройства, провода, кабели и трансформаторное масло служат намного дольше, а качество напряжения у электроприёмников – возрастает.

Установки УККРМ электроприемники с емкостным током, которые при работе формируют опережающую реактивную мощность (ток по фазе опережает напряжение) для компенсации отстающей реактивной мощности, генерируемой индуктивной нагрузкой.



Конструкция УКРМ изготавливаются в виде металлических шкафов, оборудуются нишами для расположения конденсаторных батарей. Обеспечивается замена или дополнение блоков конденсаторов установки на выдвижных консолях. Предусмотрена вентиляция пассивная или принудительная. Так же внимание уделено защите от несанкционированного доступа и от поражения электрическим током. Для обслуживания и регламентных работ в некоторых типах шкафов устанавливается электрическая подсветка. Все электрошкафы предусматривают расположение токовых автоматов или блока предохранителей для защиты от короткого замыкания.

2. Методика механического расчета в линиях электропередач.

Проектирование механической части линий электропередачи является важной частью проектирования электроснабжения. От правильного выбора элементов ЛЭП зависит долговременная и безопасная эксплуатация линий, и, соответственно, надежное и качественное электроснабжение потребителей. Пример расчета выполним для линии ℓ_1 .

Исходными данными для механического расчета являются:

Номинальное напряжение сети $U_{ном} = 110$ кВ.

Характеристика провода АС – 185 (прил.1):

расчетное сечение: алюминия $Fa = 181 \text{ мм}^2$;

стали $Fc = 29 \text{ мм}^2$; всего

провода $F = 210 \text{ мм}^2$; расчетный диаметр:

стали $dc = 6,9 \text{ мм}$;

провода $d = 18,8 \text{ мм}$;

масса одного килограмма провода $G = 728 \text{ кг/км}$;

Количество цепей – одна.

Максимальная температура $t_{max}, ^\circ C = +40$.

Минимальная температура $t_{min}, ^\circ C = -40$.

Среднегодовая температура $t_{ср}, ^\circ C = 0$.

Температура гололедообразования $t_r, ^\circ C = -5$.

Район по гололеду и по ветру см. ПУЭ, (Карты районирования по гололеду и по скоростным напорам ветра, рис. 25.1-25.10).

Для заданного района:

II район по гололедности с толщиной стенки гололеда $c = 10 \text{ мм}$;

III ветровой район со скоростным напором ветра $g = 500 \text{ н/м}^2$.

При выборе типов опор необходимо руководствоваться ПУЭ, Нормами технического проектирования ВЛ, а также справочными материалами.

Характеристики унифицированных железобетонных опор для воздушных линий 110, 220 кВ даны в прил. 1.10.

Для выбранной опоры расчетные пролеты составляют:

- длина габаритного пролета $\ell_{габ} = 250 \text{ м}$;

- длина ветрового пролета $\ell_{вет} = 300 \text{ м}$; - длина весового пролета

$\ell_{вес} = 300 \text{ м}$.

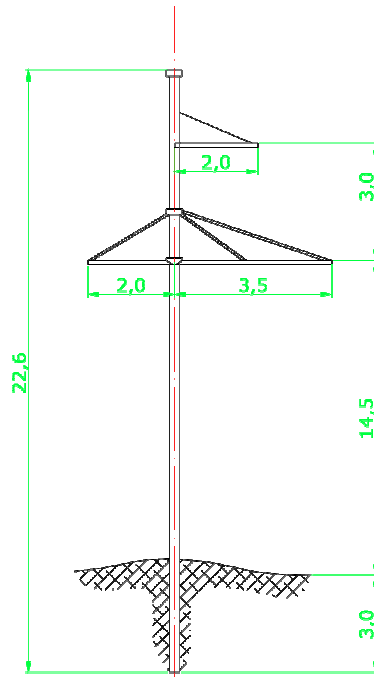


Рис.4.12.1

Рассчитаем удельные механические нагрузки, которые определяются в Н на провод в 1 км сечением 1 мм²:

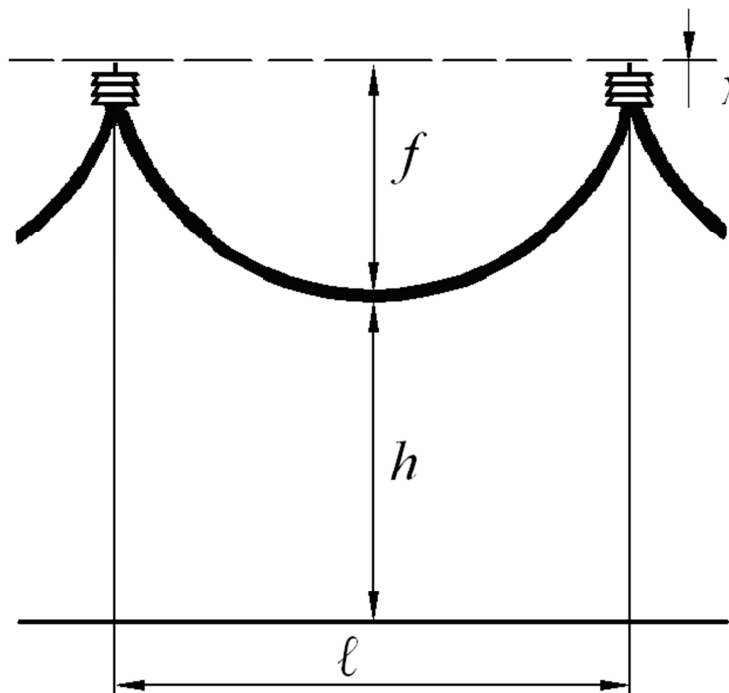


Рис 4.12.2.

где l - длина пролета, м; λ - удельная нагрузка на провод (трос) при конкретных климатических условиях,

H

$$\frac{\quad}{m \cdot mm}^2;$$

σ - напряжение в нижней точке провода (троса) при удельной нагрузке q и

Расчеты линий с длиной пролетов до 700 м осуществляются по напряжению провода в его нижней точке, которое не должно превосходить допустимые значения (прил. 1.12). Вместе с тем, напряжение в точках крепления проводов не должны превосходить 110% допускаемого.

Напряжение провода (троса) σ при климатических условиях, характеризующихся температурой воздуха t , и удельной нагрузкой q определяется по уравнению состояния провода

Начальными могут быть выбраны следующие состояния провода:

1. Низшая температура воздуха, удельная нагрузка q_1 допустимое напряжение.
2. Среднегодовые условия: среднегодовая температура, удельная нагрузка q_1 допустимое напряжение.
3. Наибольшая внешняя нагрузка на провод q_6 или q_7 , соответствующей температура воздуха, допустимое напряжение.

Стало быть, решение этого уравнения, относительно длины пролета l , зависит от начальных условий.

Необходимое по указанным условиям сочетание исходных условий расчета выбирается сравнением действительного и критических пролетов (прил. 1.10) Критические пролеты определяются по выражению

$$\sigma_{on} 1,5 \sqrt{(\sigma_{on} - \sigma_{om})^2 + q \cdot (t_{on} - t_{om})} \cdot l_{кр} = 4$$

$$\sigma_m \cdot \sigma_{mn} \sigma_2 - \sigma_{om} \sigma_2$$

где $\alpha = E^{-1}$ - коэффициент упругого расширения провода;

β - коэффициент линейного расширения провода.