

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Новосибирский государственный технический университет

**АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ
В ЗАДАЧАХ И УПРАЖНЕНИЯХ**

Методические указания для студентов V курса
специальности 100100 "Электрические станции"
факультета Энергетики дневного отделения

Новосибирск
2004

Составил к.т.н., доцент кафедры "Электрические станции" *А.В. Виштитбеев*

Рецензент к.т.н., доцент кафедры "Электрические станции" *И.П. Тимофеев*

Работа подготовлена кафедрой "Электрические станции"

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания разработаны специально для студентов, обучающихся по специальности 100100 "Электрические станции" факультета Энергетики дневного отделения.

В курсе изучаются устройства автоматического управления и автоматического регулирования в энергосистемах. Рассматриваются основные вопросы автоматического регулирования возбуждения синхронных машин и включения их на параллельную работу; устройства АРН, АПВ, АВР, АЧР, противоаварийной автоматики.

Практические занятия помогут студентам: рассчитывать уставки и числовые показатели устройств автоматики; выбирать алгоритмы функционирования противоаварийной автоматики; строить векторные диаграммы и графики зависимостей основных показателей энергосистем.

Методические указания содержат подробную программу дисциплины, задачи и упражнения по курсу, а также базовую и дополнительную литературу.

Автор.

ПРОГРАММА КУРСА "АВТОМАТИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ"

Учебный план дисциплины "Автоматика электрических станций" включает в свой состав следующие виды занятий: лекции, практические занятия и выполнение расчетно-графической работы.

1. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ КУРСА

Курс "Автоматика электрических станций" является дополняющим к базовым курсам бакалаврской подготовки студентов «Релейная защита и автоматика» и инженерной подготовки - «Релейная защита электрических станций».

Курс знакомит студентов с основными принципами автоматизации энергосистем и режимами работы и управления процессом производства, распределения и потребления электроэнергии.

В курсе изложены следующие вопросы:

1. Основные понятия и определения теории автоматического управления и регулирования. Энергосистема как объект управления.
2. Автоматическое включение синхронных машин на параллельную работу. Способы и условия.
3. Самосинхронизация.
4. Автоматическое включение синхронных двигателей и синхронных компенсаторов.
5. АПВ. Назначение, классификация, требования. Особенности (АПВ шин и трансформаторов, АПВ на линиях с двусторонним питанием).
6. АВР. Назначение, классификация, требования. U_{min} . Сетевые АВР. Расчет уставок.
7. Автоматическое регулирование возбуждения синхронных машин (компаундирование полным током, фазовое компаундирование, АРВ СД).
8. Автоматическое регулирование напряжения (Q) в энергосистеме.
9. Групповое управление возбуждением генераторов.
10. Автоматическое регулирование частоты (первичное регулирование) в энергосистеме.
11. Автоматическое регулирование активной мощности, перетоков по транзитам в энергосистеме.
12. АЧР. Назначение, принципы выполнения. Схемы. Расчет АЧР.
13. ЧАПВ. АЧР и ЧАПВ.
14. Противоаварийная автоматика: АПНУ, АЛАР, АОПЧ, АОСЧ (АЧР), АОСН, АОПН, АРО.
15. Средства повышения статической и динамической устойчивости. Устройства ПА для предотвращения устойчивости.
16. Компенсирующие устройства. Адаптивное регулирование резонансных объектов.

В рамках изучения курса "Автоматика электрических станций" предусматривается *расчетно-графическая работа* и экзамен.

2. ЗАДАЧИ И УПРАЖНЕНИЯ

Для закрепления знаний по теоретическому разделу курса студенты решают задачу или разбирают упражнение по программе курса. Решение

задач и упражнений по курсу позволит студентам более полно подготовиться к экзамену по курсу, который обязательно включает в себя, наряду с теоретическими вопросами, практическую задачу или упражнение.

2.1. Синхронизация генераторов

Пример.

Допустима ли самосинхронизация генератора? $x'_d=0.2$, $x_{BH}=0.15$.

Оценить снижение напряжения в этом случае.

Решение.

Для того чтобы оценить, допустима ли самосинхронизация генератора, необходимо рассчитать ток включения, которым сопровождается включение генератора в сеть и сравнить его с предельно допустимой величиной тока.

$$\text{Ток включения} - I''_{ВКЛ} = \frac{1.05}{x'_d + x_{BH}} = \frac{1.05}{0.2 + 0.15} = 3 \text{ о.е.}$$

Условие допустимости самосинхронизации:

$$I''_{ВКЛ} = \frac{1.05}{x'_d + x_{BH}} \leq 3.5 \text{ о.е.} = I_{\text{доп}}$$

Так как ток включения меньше предельно-допустимого – самосинхронизация допустима.

Включение генератора способом самосинхронизации сопровождается также снижением напряжения на выводах генератора, что оказывает неблагоприятное воздействие на работу потребителей, подключенных к тем же шинам, что и генераторы электростанции.

В данном случае напряжение на шинах снизится на:

$$U_{\text{ш}} = U_C \frac{x'_d}{x'_d + x_{BH}} = 1 \cdot \frac{0.2}{0.2 + 0.15} = 0.571 \text{ о.е.}$$



#1. Выполняются ли все условия точной синхронизации:

$$E_G = 5.58 \text{ кВ,}$$

$$U_C = 6 \text{ кВ,}$$

$$f_G = 49.7 \text{ Гц,}$$

$$f_C = 49.5 \text{ Гц.}$$

#2. К чему приведет невыполнение одного из условий синхронизации

$$E_G \neq E_C, \omega_G = \omega_C, \Delta\delta = 0,$$

$$E_G = 1.05,$$

$$E_C = 1,$$

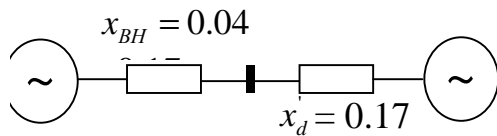
$$x_\Sigma = 2.75.$$

#3. Допустимо ли включение генератора с данным углом?

$$\delta = 18^\circ, k_M = 2.1, x''_d = 0.21.$$

#4. Как понизится напряжение генератора при самосинхронизации.

С помощью какого устройства можно повысить напряжение, и сработает ли оно в данном случае?



#5. Два генератора работают на общие шины. Происходит сброс нагрузки.

Определить:

1. Возможность самосинхронизации генераторов.
2. Установившиеся превышение скорости вращения агрегата после сброса нагрузки.
3. Скольжение.

Коэффициент статизма, $k_{СТ}=0.05$. $x_d''=28.7\%$, $x_C=20\%$.

До сброса нагрузки генераторы работали с номинальной нагрузкой.

#6. Оценить соотношение моментов $\frac{M_{ВКЛ \max}}{M_{КЗ}}$ и изобразить их графически.

$x_d''=0.24$, $x_q''=0.24$, $x_{BH}=0.06$.

2.2. Устройства автоматического включения генераторов на параллельную работу

Пример.

Для узла контроля скольжения синхронизатора с постоянным углом опережения определить напряжение срабатывания реле напряжения узла контроля скольжения, если угол ошибки равен $\delta_{ОШ}=5^\circ$.

Решение.

У синхронизатора с постоянным углом опережения принимают угол опережения равным углу ошибки:

$$\delta_{ОШ} = \delta_{ОП} = 5^\circ.$$

Напряжение срабатывания определим по формуле:

$$U_{CP} = 200 \cdot \sin \frac{\delta_{ОП}}{2} = 200 \cdot \sin \frac{5}{2} = 8.72 \text{ В.}$$

◆◆◆

#1. Для узла контроля разности напряжений синхронизатора с постоянным временем опережения построить векторную диаграмму напряжений при следующих условиях:

1. $\delta = 0^\circ$, $U_r < U_c$.
2. $\delta = 180^\circ$, $U_r < U_c$.

#2. Для узла контроля разности напряжений синхронизатора с постоянным временем опережения построить векторную диаграмму напряжений при следующих условиях:

1. $\delta = 180^\circ, U_G > U_C.$

2. $\delta = 270^\circ, U_G < U_C.$

#3. Для узла контроля разности напряжений синхронизатора с постоянным временем опережения изобразить зависимость напряжения биений U_S от времени для двух случаев:

1. $U_G > U_C.$

2. $U_G < U_C.$

2.3. Автоматическое повторное включение

Пример.

В цикле АПВ у гидрогенератора при сбросе нагрузки ЭДС повысилась до 1.35. Допустимо ли НАПВ, если $x_d'' = 0.39, I_{\pi \max \text{ ДОП}}'' = 3.0.$

Решение.

Для оценки допустимости НАПВ для ГГ при повышении ЭДС до 1.5 (согласно условию ЭДС повысилась до величины 1.35) необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$I_{\pi \max \text{ ДОП}}'' \leq \frac{0.625}{x_d''},$$

где $\frac{0.625}{x_d''}$ - максимально допустимый ток.

Подставляя численные значения, получаем:

$$3.0 \leq \frac{0.625}{0.39} = 1.602.$$

Следовательно, делаем вывод, что при данных условиях *НАПВ недопустимо.*



#1. Рассчитать уставки АПВ для линии с односторонним питанием.

$$U = 110 \text{ кВ}, t_{\text{ОТК}} = 0.25 \text{ с}.$$

#2. Рассчитать уставки АПВ для линии с двухсторонним питанием.

$$U = 220 \text{ кВ}, t_{\text{ЗАЩ1}} = 2 \text{ с}, t_{\text{ЗАЩ2}} = 3 \text{ с}, t_{\text{ВКЛ1}} = 0.4 \text{ с}.$$

Как изменятся уставки АПВ, если на линии установить АПВ с контролем наличия (отсутствия) напряжения.

#3. Допустимо ли НАПВ для:

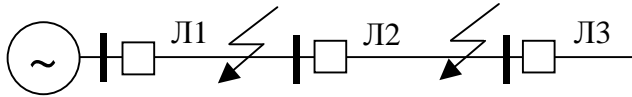
1. Гидрогенератора СКГВ-720/140-80.

2. Турбогенератора Т2-6-2.

3. Синхронного компенсатора КС-16.6.

Если ток, $I''_{\pi \max \text{ ДОП}}$, определенный при угле π между несинхронными напряжениями, соответственно равен: для ГГ - 2.95, для ТГ - 4.07, для СК - 5.2.

#4. Происходит короткое замыкание на линиях Л1 и Л2. Описать действие защит и АПВ с ускорением защиты до АПВ.



2.4. Автоматическое включение резерва

Пример.

Для предотвращения неправильного действия пусковых органов напряжения при неисправностях в цепях напряжения, последовательно с контактами реле минимального напряжения, включили контакты реле минимального тока.

Определить уставку срабатывания реле минимального тока.

Трансформатор – ТДНС-16000/35, минимальный ток соответствует нагрузке трансформатора на 0.25 от номинала.

Решение.

Определим минимальный рабочий ток в цепи трансформатора:

$$I_{\min} = 0.25 \cdot \frac{S_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}} = 0.25 \cdot \frac{16000}{\sqrt{3} \cdot 35} = 65.98 \text{ A}$$

С учетом коэффициента трансформации:

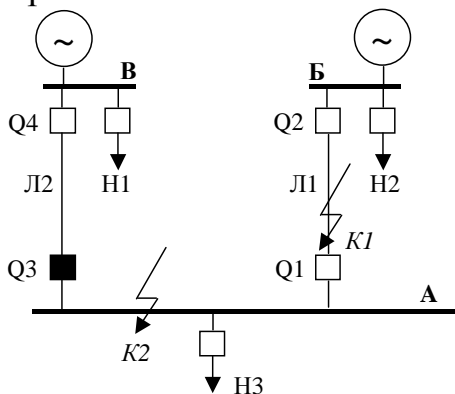
$$I_{\min 2} = 65.98 \cdot \frac{5}{300} = 1.01 \text{ A}$$

Зная, что уставку срабатывания реле минимального тока должна быть меньше минимального тока в цепи трансформатора, получаем:

$$I_{\text{уст}} = 1.01 \cdot \frac{1}{k_{\text{отс}}} = 1.01 \cdot \frac{1}{1.2} = 0.842 \text{ A}.$$

◆◆◆

#1. Описать алгоритм работы АВР для схемы, изображенной на рисунке, при коротких замыканиях в точках К1 и К2.



#2. Рассчитать уставки АВР.

$U=110$ кВ, $t_{\text{ВКЛ1}}=2$ с, $I_{\text{НАГР min}}=350$ А, $U_{\text{РАБ min}}=6$ кВ, $k_{\text{ТА}}=200$, $k_{\text{ТВ}}=80$.

Время срабатывания защит смежных элементов: $t_1=2.5$ с, $t_2=3$ с.

2.5. Автоматическая частотная разгрузка

Пример.

Уставка первой очереди АЧР – 48.7 Гц. Уставка последней очереди АЧР – 47.3 Гц. Степень очереди АЧР по частоте - $\Delta f = 0.1$ Гц. Определить число очередей разгрузки АЧР.

Решение.

Зная уставки первой и последней очередей АЧР, а также, снижение частоты во время срабатывания устройств АЧР, число очередей АЧР определим следующим образом:

$$n_{\text{АЧР}} = \frac{f_{\text{СП1}} - f_{\text{СП2}}}{\Delta f} + 1 = \frac{48.7 - 47.3}{0.1} + 1 = 15$$

Получаем *число очередей АЧР равное 12.* (При получении нецелого числа, необходимо округлять значение в меньшую сторону)



#1. При раздельном действии АЧР-I и АЧР-II, мощность АЧР-I $P_{\text{АЧР-I}}$ составляет 8000 МВт, а мощность $P_{\text{НАГР}}=100000$ МВт.

Определить мощность АЧР-II $P_{\text{АЧР-II}}$.

#2. При совместном действии АЧР-I и АЧР-II, мощность АЧР-I $P_{\text{АЧР-I}}$ составляет 7000 МВт, а мощность $P_{\text{НАГР}}=80000$ МВт.

Определить мощность, не совмещенной с АЧР-I, АЧР-II $P_{\text{АЧР-II}}$.

#3. Имеется шесть потребителей: *A, B, C, D, E* и *F*. *A* – наиболее ответственный, *F* – наименее.

Графически изобразить 2 случая работы АЧР:

1. При правильном подключении потребителей.
2. При неправильном подключении потребителей.

#4. Имеется десять потребителей: *A, B, C, D, E, F, G, H, I* и *J*. *A* – наиболее ответственный, *J* – наименее.

Графически изобразить работу очередей АЧР.

#5. Нарисовать функцию изменения частоты при работе АЧР для случая: АЧР-I – 2 очереди, АЧР-II – 4 очереди, при совместном действии.

#6. Нарисовать функцию изменения частоты при работе АЧР для случая: АЧР-I – 3 очереди, АЧР-II – 3 очереди, при раздельном действии.

#7. Рассчитать объем дополнительной разгрузки $P_{д/р}$, если $P_{деф}=0.7$ о.е. Изобразить объем дополнительной разгрузки графически.

2.6. Компаундирование генераторов

Пример.

Рассчитать систему компаундирования генераторов, а именно:

- 1) сопротивление шунта-реостата;
- 2) ток компаундирования возбуждения;
- 3) напряжение устройства компаундирования.

Напряжение возбуждения $U_{возб.}=211.5$ В (при номинальном напряжении генератора).

Ток обмотки возбуждения $I_{о.в.}=7.35$ А (при номинальном токе нагрузки).

Сопротивление обмотки возбуждения, в которую включено компаундирование $r_{о.в.}=14$ Ом (при номинальном токе нагрузки).

Напряжение возбуждения холостого хода $U_{X/X}=85$ В.

Ток обмотки возбуждения холостого хода $I_{о.в.X/X}=2.4$ А.

Решение.

Сначала, зная напряжение и ток возбуждения холостого хода, определим *сопротивление шунта-реостата*:

$$1) r_{ш} = \frac{U_{X/X}}{I_{X/X}} - r_{о.в.} = \frac{85}{2.4} - 14 = 21.4 \text{ Ом.}$$

Зная сопротивление шунта-реостата можно определить *ток компаундирования возбуждения*:

$$2) I_{к.в.} = \frac{I_{о.в.}(r_{ш} + r_{о.в.}) - U_{возб}}{r_{ш}} = \frac{7.35(21.4 + 14) - 211.5}{21.4} = 2.28 \text{ А.}$$

И, наконец, определим *напряжение устройства компаундирования*:

$$3) U_{к.в.} = I_{о.в.} \cdot r_{о.в.} = 7.35 \cdot 14 = 103 \text{ В.}$$



#1. Рассчитать систему компаундирования генераторов, а именно:

- 1) сопротивление шунта-реостата;
- 2) ток компаундирования возбуждения;
- 3) напряжение устройства компаундирования.

Напряжение возбуждения $U_{возб.}=182.5$ В (при напряжении генератора, равном $\frac{3}{4}$ от номинального).

Ток обмотки возбуждения $I_{о.в.}=8.6$ А (при токе нагрузки, равном $\frac{3}{4}$ от номинального).

Сопротивление обмотки возбуждения, в которую включено компаундирование $r_{о.в.}=18$ Ом (при номинальном токе нагрузки).

Напряжение возбуждения холостого хода $U_{X/X}=85$ В.

Ток обмотки возбуждения холостого хода $I_{о.в.X/X}=2.4$ А.

#2. Нарисовать векторную диаграмму напряжений E_q , U_G , ΔU , если ток возбуждения $I_B=const$, $E_q=const$, $\cos\varphi=1$, при активной нагрузке.

#3. Нарисовать векторную диаграмму напряжений E_q , U_G , ΔU , если ток возбуждения $I_B=const$, $E_q=const$, $\cos\varphi=1$, при реактивной нагрузке.

#4. Нарисовать векторную диаграмму напряжений E_q , U_G , ΔU , если ток возбуждения $I_B=const$, $E_q=const$, $\cos\varphi=0.5$, при активно-индуктивной нагрузке.

#5. Нарисовать векторную диаграмму напряжений E_q , U_G , ΔU , если ток возбуждения $I_B=const$, $E_q=const$, $\cos\varphi=0.5$, при активно-емкостной нагрузке.

2.7. Автоматическое регулирование напряжения. Автоматическое регулирование частоты

Пример.

Два генератора работают параллельно на общие шины. Коэффициенты статизма генераторов $k_{СТ1}=3\%$ и $k_{СТ2}=4\%$, соответственно. Какую нагрузку по реактивной мощности Q_2 при снижении напряжения на шинах примет второй генератор, если первый принял на себя $Q_1=98$ о.е.

Решение.

Зная, что распределение нагрузки по реактивной мощности обратно пропорционально коэффициентам статизма получаем:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \frac{k_{СТ.1}}{k_{СТ.2}} = 98 \cdot \frac{3}{4} = 73.5 \text{ о.е.}$$

Таким образом, *второй генератор* при снижении напряжения на шинах примет нагрузку $Q_2=73.5$ о.е.



#Определить коэффициент статизма регулятора (при регулировании частоты вращения) $k_{СТ}$.

Начальная частота сети $f_1=49.937$ Гц,

Конечная частота сети $f_2=49.812$ Гц,

Начальная нагрузка генератора $P_1=60$ МВт,

Конечная нагрузка генератора $P_1=62$ МВт.

2.8. Групповое управление возбуждением генераторов

Пример.

Для схемы группового управления возбуждением с уравниванием по среднему значению определить:

Напряжение U_{12} , моделирующее предписанную реактивную мощность одного генератора.

$$E_1=E_2=E_3=\dots E_7=15.75 \text{ кВ,}$$

$$Q_{\text{среднее}}=98 \text{ о.е.,}$$

Внутреннее сопротивление источника ЭДС $R_D=0.5 \text{ Ом,}$

Сопротивление обмотки управления магнитного усилителя исполнительного элемента $R_Y=2 \text{ Ом.}$

Решение.

Составив схему многолучевой звезды, куда войдут внутреннее сопротивление источника ЭДС, сопротивление обмотки управления магнитного усилителя исполнительного элемента, источник ЭДС, и упрощенно принимаем, что $E \equiv Q$.

Тогда напряжение U_{12} , моделирующее предписанную реактивную мощность одного генератора определится как:

$$U_{12} = \frac{Q_{\text{СРЕДНЕЕ}}}{n} = \frac{98}{7} = 14 \text{ о.е.}$$

◆◆◆

#Для схемы группового управления возбуждением с уравниванием по среднему значению определить:

Ток регулирования i -той ветви I_i при следующих условиях:

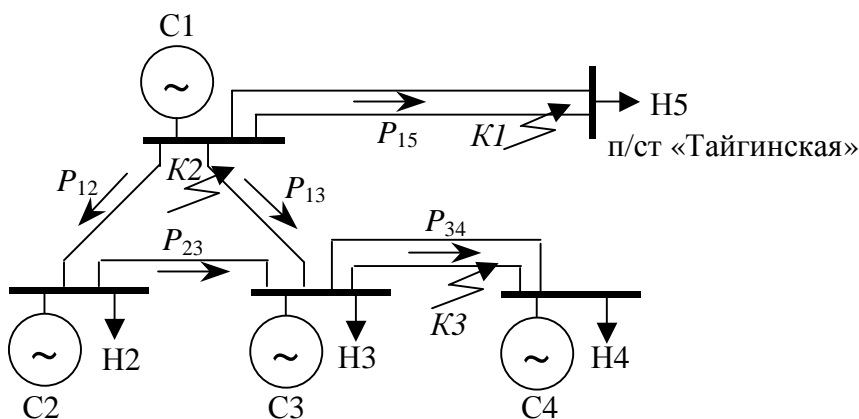
$$E_1=E_2=E_3=\dots E_n=12.5 \text{ кВ,}$$

Внутреннее сопротивление источника ЭДС $R_D=0.2 \text{ Ом,}$

Сопротивление обмотки управления магнитного усилителя исполнительного элемента $R_Y=4 \text{ Ом,}$

Напряжение, моделирующее предписанную реактивную мощность одного генератора $U_{12}=11.8 \text{ кВ.}$

2.9. Противоаварийная автоматика



Пример.

Произошло короткое замыкание ($K1$) на одной из линий, питающих нагрузку подстанции «Тайгинская» - Н5. Каковы его последствия и с помощью какой противоаварийной автоматики их можно ликвидировать.

Решение.

Короткое замыкание в точке $K1$ может вызвать перегрузку по току оставшейся в работе линии по условию ее термической стойкости.

Для предотвращения повреждения линии используются устройства автоматической разгрузки оборудования (АРО), действующие:

1. На ограничение мощности питающей электростанции (если это эффективно).
2. На отключение части нагрузки подстанции «Тайгинская».
3. На отключение линии.

◆◆◆

#1. Произошло короткое замыкание ($K2$) на линии С1-С3. Каковы его последствия и с помощью какой противоаварийной автоматики их можно ликвидировать.

#2. Произошло короткое замыкание ($K3$) на одной из параллельных линий участка С3-С4. Каковы его последствия и с помощью какой противоаварийной автоматики их можно ликвидировать.

2.10. Статическая и динамическая устойчивость

Пример.

Определить запас статической устойчивости. Зная величину запаса статической устойчивости, определить какой режим работы энергосистемы.

Предел статической устойчивости $P_{\text{пр.ст.}}=50000$ МВт.

Максимальное допустимое значение передаваемой мощности $P_{\text{доп.}}=44000$ МВт.

Запас статической устойчивости:

$$k_{\text{зап.ст.}} = \frac{P_{\text{пр.ст.}} - P_{\text{доп.}}}{P_{\text{доп.}}} \cdot 100\% = \frac{50000 - 44000}{44000} \cdot 100\% = 13.6\%.$$

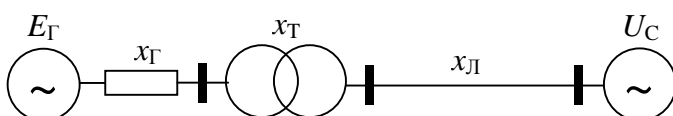
Так как $k_{\text{зап.ст.}}=13.6\%$, можно сделать вывод что режим работы энергосистемы – кратковременный послеаварийный до вмешательства оперативного персонала.

◆◆◆

#1. Изобразить на одном графике зависимость мощности турбины от времени $P_T=f(t)$ при импульсной разгрузке турбины для следующих случаев:

1. Время импульса $t_{\text{и}}=0.3$ с,
2. Время импульса $t_{\text{и}}=0.4$ с.

#2. Для схемы, изображенной на рисунке определить:



1. Мощность, вырабатываемую электростанцией.
2. Мощность, потребляемую системой.
3. Предел статической устойчивости.

Исходные данные: $E_T=1.1$, $U_C=1$, $x_T=0.2$, $x_T=1.32$, $x_L=0.7$, $\delta=17^\circ$.



РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Основная

1. **Барзам А.Б.** Системная автоматика. М.: Энергоатомиздат, 1994.
2. **Беркович М.А., Комаров, Семенов В.А.** Основы автоматике энергосистем. М.: Энергия, 1976.
3. **Автоматизация электроэнергетических систем:** Учеб. пособие для вузов/О.П. Алексеев, В.Л. Козис, В.В. Кривенков и др.; Под ред. В.П. Морозкина, Д. Энгелаге. М.: Энергоатомиздат, 1994.
4. **Дроздов А.Д., Засыпкин А.С.** Автоматизация электроэнергетических систем. М.: Энергоиздат, 1988. – 440 с.
5. **Беркович М.А., Гладышев В.А., Семенов В.А.** Автоматика энергосистем. М.: Энергоатомиздат, 1991.
6. **Овчаренко Н.И.** Автоматика электрических станций и электроэнергетических систем: Учебник для вузов/Под ред. А.Ф. Дьякова. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 504 с.
7. **Баркан Я.Д., Орехов** Автоматика электроэнергетических систем. М.: Энергия, 1986.
8. **Совалов С.А., Семенов В.А.** Противоаварийное управление в энергосистемах. М.: Энергоатомиздат, 1991.
9. **Гизила Е.П.** Расчет устройств автоматике энергосистем. М.: Энергия, 1974.
10. **Обабков В.К.** Синтез адаптивных систем управления резонансными объектами. Киев: Наукова Думка, 1993.

Дополнительная

1. **Москалев А.Г.** Автоматическое регулирование режима энергетической системы по частоте и активной мощности. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 240 с.
2. **Соловьев И.И.** Автоматизация энергетических систем. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1956. – 360 с.
3. **Теория автоматического регулирования.** В 2 ч. Под ред. А.А. Воронова. Учеб. пособие для ВУЗов. М.: Высшая школа, 1977.

4. **Попов Е.П.** Теория линейных систем автоматического регулирования и управления: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 304 с.

5. **Овчаренко Н.И.** Микропроцессорные комплексы релейной защиты и автоматики электроэнергетических сетей. – М.: НПФ «Энергопрогресс», 1999.

6. **Применение и техническое обслуживание микропроцессорных устройств на электростанциях и в электросетях.** Ч.2: Устройства релейной защиты и автоматики распределительных электрических сетей/Сост. А.П. Кузнецов; Под ред. Б.А. Алексева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – 120 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Темы реферата по «Теории автоматического управления»

1. Частотные характеристики. Временные характеристики.
2. Устойчивость линейных систем автоматического управления: понятие устойчивости, устойчивость по Ляпунову, устойчивость линейных систем.
3. Алгебраические критерии устойчивости.
4. Частотные критерии устойчивости.
5. Метод D -разбиения.
6. Методы оценки качества регулирования линейных систем.
7. Корректирующие устройства. Комбинированное регулирование.
8. Автоколебания.
9. Устойчивость в малом, большом, целом. Второй (прямой) метод Ляпунова.
10. Абсолютная устойчивость. Критерий Попова.
11. Линейные импульсные системы автоматического управления.
12. Анализ устойчивости замкнутых импульсных систем.
13. Случайные процессы в АСУ – основные статические характеристики.
14. Случайные процессы в АСУ – корреляционные функции.
15. Спектральные плотности.
16. Расчет линейных систем при случайных воздействиях.
17. Синтез линейных систем с минимальной средней квадратичной ошибкой.
18. Случайные процессы в импульсных системах.
19. Системы оптимального управления.
20. Адаптивное регулирование резонансных объектов.