

КУРС ЛЕКЦИЙ

по учебной дисциплине

«Переходные процессы в электроэнергетических системах»

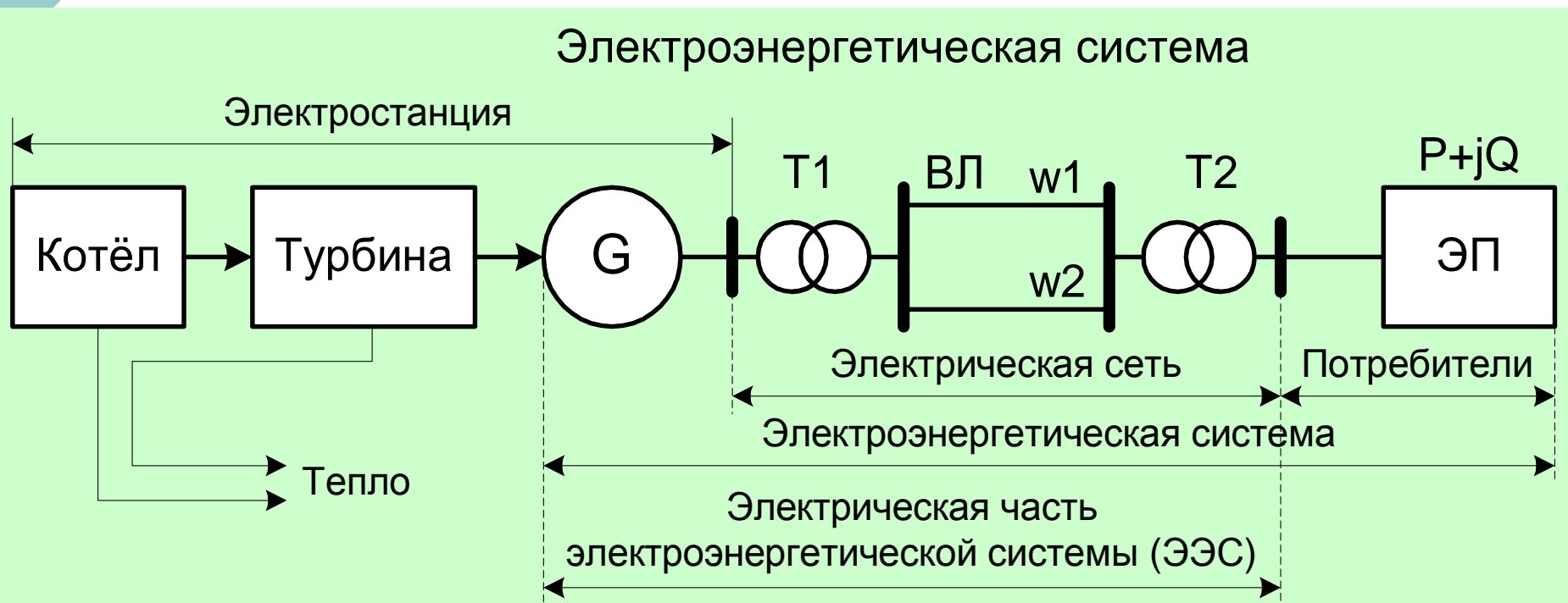
Раздел 1 Основные сведения о переходных процессах в ЭЭС


ЛЕКЦИЯ № 1 Общие вопросы динамики ЭЭС

Учебные вопросы лекции:

1. Состав и функции ЭЭС
2. Режимы работы ЭЭС

Электроэнергетическая система (энергосистема) – это объединение электростанций, связанных между собой и потребителями электрической энергии высоковольтными ЛЭП и распределительными линиями.
Электрическую часть энергосистемы называют электрической системой.





Электрическая система представляет собой совокупность взаимодействующих элементов, которые можно разбить на две группы:

силовые элементы:

- **вырабатывающие** (например, генераторы, с их первичными двигателями),
- **преобразующие** (трансформаторы, выпрямители, инверторы),
- **передающие и распределяющие** (линии передач, сети)
- **потребляющие (нагрузки)** электрическую энергию;

элементы управления:

регулирующие и изменяющие состояние системы (регуляторы возбуждения синхронных машин, регуляторы частоты, реле, выключатели и т. п.).

Режимы работы электроэнергетических систем

Режим - состояние системы, которое характеризуется показателями, количественно определяющими ее работу.

К параметрами режима относятся значения мощности, напряжения, тока, углов сдвига векторов э. д. с., напряжений, токов, частоты и т. д.



Характеристика состояния электроэнергетической системы

**Состояние ЭЭС характеризуется
параметрами системы и
параметрами её режима**

**Параметры системы - это показатели
количественно определяющие
физические свойства системы. (значения
полных, активных и реактивных
сопротивлений элементов, коэффициентов
трансформации, постоянных времени, и т д.)**

Электрическая энергия

(базовые понятия)

Энергия – это мера движения.

С количественной точки зрения величина энергии (W) определяется произведением обобщённой силы на обобщённую координату, причём неважно что рассматривать в качестве обобщённой силы, а что рассматривать в качестве обобщённой координаты.

При количественном определении величины электрической энергии такими координатами могут являться – ток (i), напряжение (u) и время (t).

Электрическая энергия

(количественные соотношения)

Электрическая энергия может быть
определена как:

$i \cdot u = p$ - **мгновенная мощность**

$P = \int_{t1}^{t2} p(t) dt$ - **активная мощность**
функция потока мощности

$W = P \cdot t$ - **электрическая энергия**

**Мощность - это энергия
в единицу времени**

Электрическая энергия

(электрическая работа и мощность)

В источнике э.д.с. под действием электромагнитных сил происходит разделение зарядов. Работа, которая совершается сторонними силами в источнике при разделении заряда или, «выработанная» в источнике электроэнергия находится по формуле: $A = QE$

Так как: $Q = It$ то $A = IEt$

По закону сохранения энергии - мощность генератора определяется суммой мощностей потребителей и потерь: $P_{\tilde{A}} = P_1 + P_0$

Электрическая энергия

(активная W_a и реактивная W_p энергия)

Реактивная энергия – чисто расчётная величина, позволяющая определить коэффициент мощности, так как:

Активная энергия: $W_a = UIt \cos \phi$ вт

Реактивная энергия: $W_p = UIt \sin \phi$ вар

$$\frac{W_a}{\sqrt{(W_a)^2 + (W_p)^2}} = \frac{UIt \cos \phi}{\sqrt{(UIt \cos \phi)^2 + (UIt \sin \phi)^2}} = \frac{UIt \cos \phi}{UIt \sqrt{\cos^2 \phi + \sin^2 \phi}} = \cos \phi$$

Электрическая энергия

(единицы измерения работы и мощности)

Единица измерения мощности:

$$[P] = \frac{[A]}{[t]} = \frac{1дж}{1сек} = вт$$

С другой стороны: $[A] = [U] \cdot [Q] = 1к \cdot 1в = 1дж$

Тогда: $1вт = \frac{1в \cdot 1к}{1сек} = 1в \cdot 1а = 1ва$

1 ватт – есть мощность электрического тока в 1 ампер при напряжении в 1 вольт

Линейность и нелинейность ЭЭС

(взаимосвязь между параметрами режима и параметрами системы)

Ток в ветви сложной ЭЭС определяется параметрами режима (э. д. с. E_n) и параметрами системы (проводимостями Y_{1k}):

$$\dot{I}_1 = \dot{E}_1 Y_{11} + \dot{E}_2 Y_{12} + \dots + \dot{E}_n Y_{1k}$$

Если параметры (параметр) системы в той или иной мере зависит от режима, то такая система будет *нелинейной*.

Нелинейность, обусловленная характером соотношений между параметрами режима электроэнергетической системы.

Мощность **P** , связанная квадратичной зависимостью с напряжением **U** и синусоидальной – с углом расхождения векторов напряжений по концам передачи **δ** , будет нелинейной функцией этих величин:

$$P = U^2/R; \quad P = (U_1 U_2 / X) \sin \delta$$

где **P** , **X** – параметры системы.

Режимы работы электрической системы разделяются на установившиеся и переходные

Внутри этих групп различают:

- нормальные установившиеся** - длительные режимы, применительно к которым определяются технико-экономические характеристики ЭЭС;
- **нормальные переходные** - режимы, во время которых система переходит от одного рабочего состояния к другому;
- **аварийные - установившиеся и переходные режимы**, для которых определяются технические характеристики устройств, предназначенных для ликвидации аварии, и выясняются условия дальнейшей работы системы;
- **послеаварийные установившиеся** - режимы, которые характеризуются изменением нормальной схемы системы.

Нормальный установившийся режим, как одна из форм переходного режима

В нормальном рабочем состоянии, или в *нормальном режиме*, система должна надежно обеспечить потребителя электрической энергией нормированного качества. При этом желательно, чтобы режим системы был неизменным. Однако такого полностью «установившегося режима» реально существовать не может.

Нагрузка в системе колеблется:
непрерывно происходят «малые изменения» числа подключенных потребителей - их мощности и состава, т.е. нагрузка «дышит».

Нормальный установившийся режим, как одна из форм переходного режима



U – напряжение на шинах подстанции,
питающей нагрузку;

P – поток мощности, потребляемой нагрузкой;

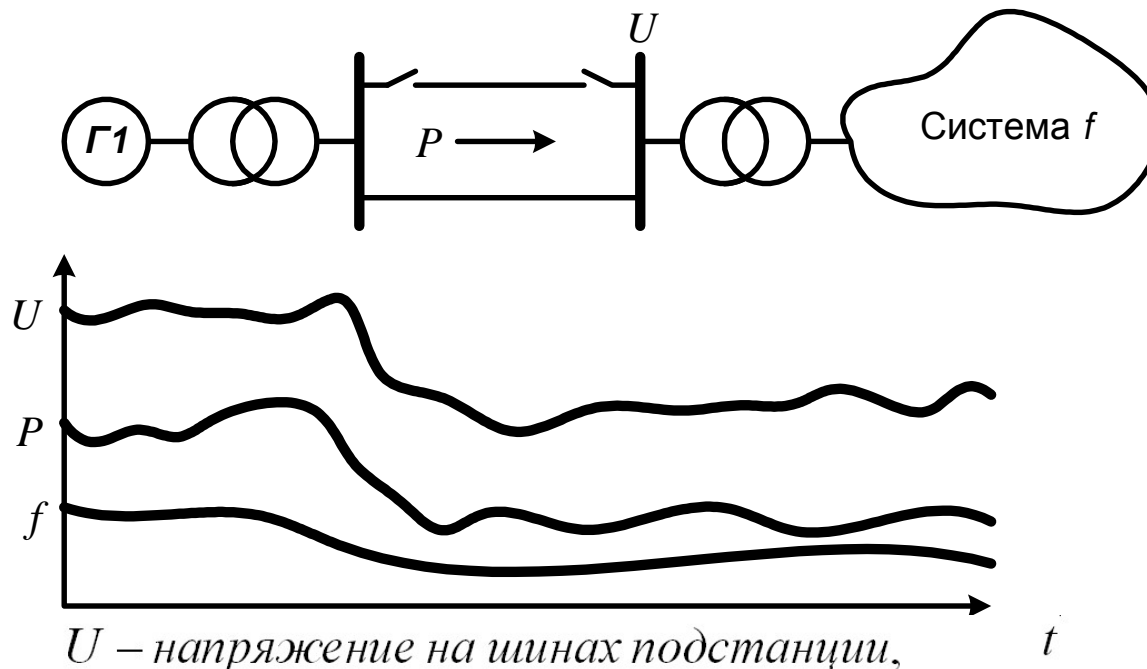
f – частота в системе.

**«малые изменения» числа подключенных
потребителей - их мощности и состава**

Нормальный переходный режим работы ЭЭС

Кроме малых отклонений параметров режима, реже, но также довольно часто, происходят более крупные «большие изменения», связанные с вариациями значений вырабатываемых и потребляемых мощностей и конфигурации системы - включением и отключением генераторов линий передач, трансформаторов, мощных подстанций (узлов нагрузки). Такие изменения - переходы от одного режима к другому во время нормальной работы системы - называются *нормальными переходными режимами*

Нормальный переходный режим работы ЭЭС



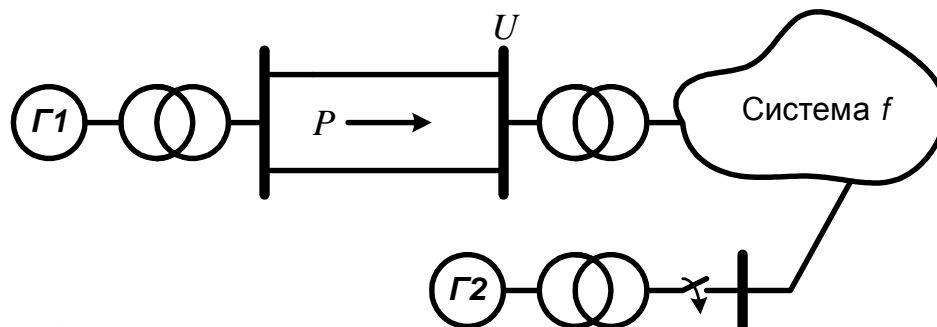
U – напряжение на шинах подстанции,
питающей нагрузку;

P – поток мощности, потребляемой нагрузкой;

f – частота в системе.

**Отключение линии электропередачи,
питающей подстанцию от генератора**

Нормальный переходный режим работы ЭЭС



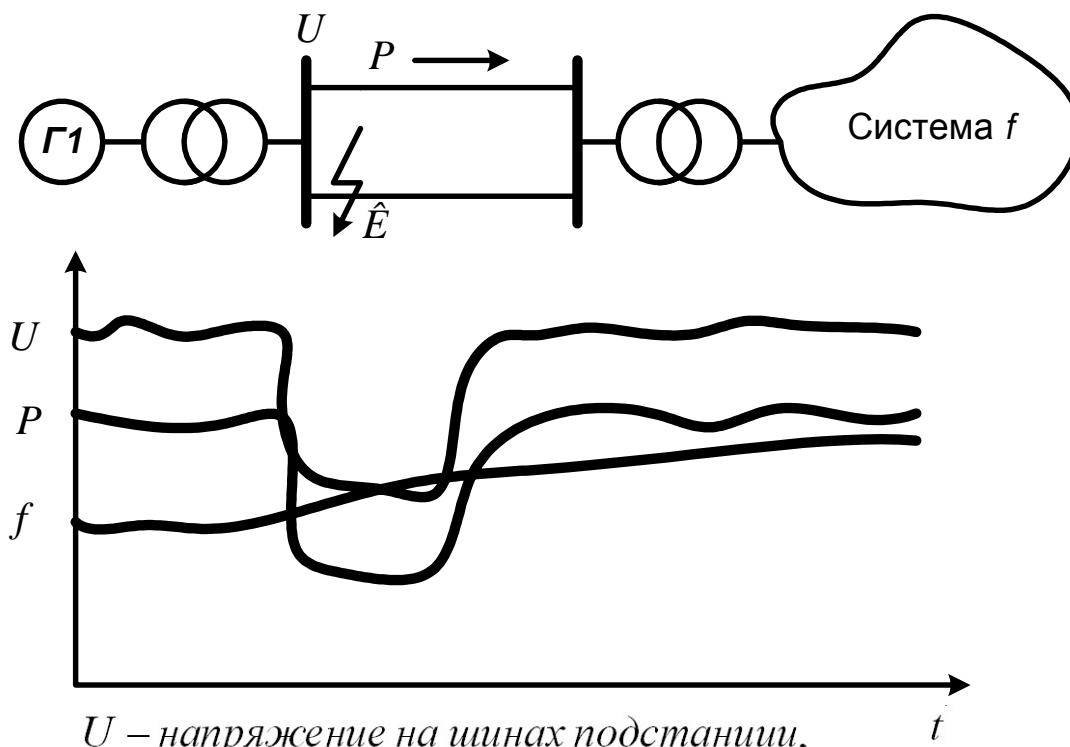
U – напряжение на шинах подстанции,
питающей нагрузку;

P – поток мощности, потребляемой нагрузкой;

f – частота в системе.

Включение мощного генератора $G2$ и набор им нагрузки

Электрическая система может подвергаться аварийным воздействиям



U – напряжение на шинах подстанции,

питающей нагрузку;

P – поток мощности, потребляемой нагрузкой;

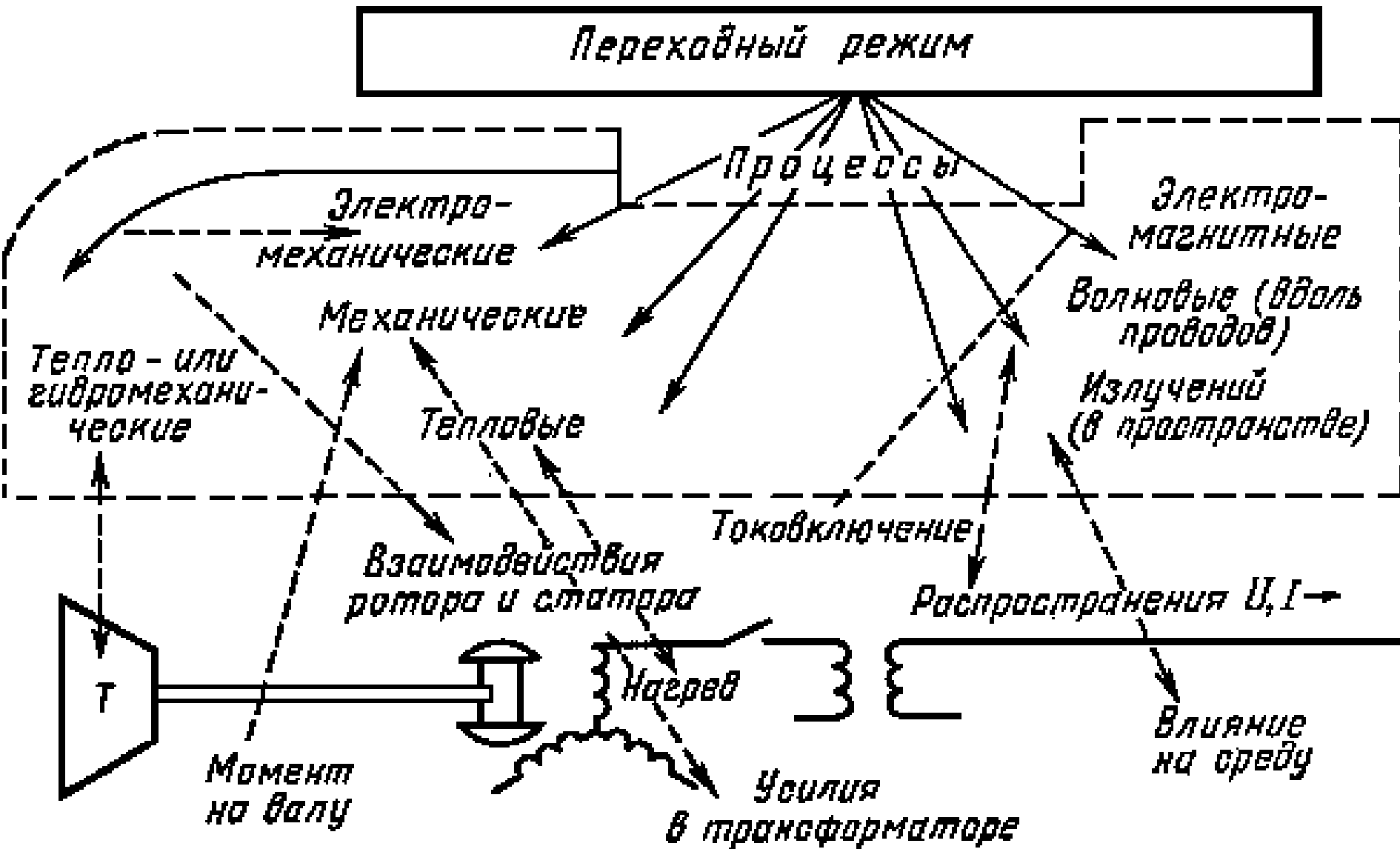
f – частота в системе.

Переходный аварийный режим в системе

Аварии могут быть вызваны

- **нарушением режима системы – перегрузками отдельных элементов и их автоматическим отключением, делением системы на части - «развалом системы» ;**
- **разрушением отдельных элементов системы. Например, из-за внешних воздействий (ветер, гололед) могут разрушиться опоры электропередачи. Из-за внутренних воздействий, обусловленных возросшими токами при коротком замыкании, могут разрушиться генераторы, трансформаторы, реакторы и подстанции.**

Переходный режим системы сопровождается множеством различных процессов



Статическая устойчивость электроэнергетической системы

При нормальной работе системы всегда имеются малые возмущающие воздействия, например изменения нагрузки. Следовательно, происходят непрерывно и соответствующие действия регулирующих устройств.

Эти малые возмущения не должны вызывать нарушения устойчивости режима, не допуская прогрессивно возрастающего изменения параметров режима. Система должна быть устойчива при малых возмущениях, или обладать *статической устойчивостью*.

Динамическая устойчивость электроэнергетической системы

Нормальные переходные процессы возникают и при больших возмущениях в виде резких и существенных изменений режима системы. При этом появляются такие значительные отклонения параметров режима от их исходного состояния, что учет наиболее существенных нелинейных зависимостей становится в большинстве случаев обязательным.

По отношению к большим возмущениям вводится понятие динамической устойчивости системы.

Результирующая устойчивость электроэнергетической системы

Если после большого возмущения синхронная работа системы сначала нарушается, а затем после некоторого, допустимого по условиям эксплуатации асинхронного хода восстанавливается, то считается, что система обладает **результирующей устойчивостью**.

Этот вид устойчивости иногда считают разновидностью динамической устойчивости, различая **синхронную динамическую устойчивость** и **динамическую устойчивость (результирующую)**.

Переходная устойчивость электроэнергетической системы

Иногда в зарубежной литературе
различают **переходную устойчивость**
(Transient Stability), **определяемую при**
рассмотрении процесса на интервале
нескольких секунд, и динамическую
устойчивость (Dynamic Stability),
связанную с процессами, происходящими
на протяжении нескольких минут.

В этом случае требуется учет
динамических характеристик паровых
котлов, атомных реакторов, напорных
трубопроводов гидростанций,
динамических характеристик релейной
защиты и устройств регулирования
частоты и мощности.

