

Лекция1

Понятие устойчивости. Статическая и динамическая устойчивость (Сиду).

**Ключевые виды устойчивости в ЭЭС:
Сиду параллельной работы генераторов.**

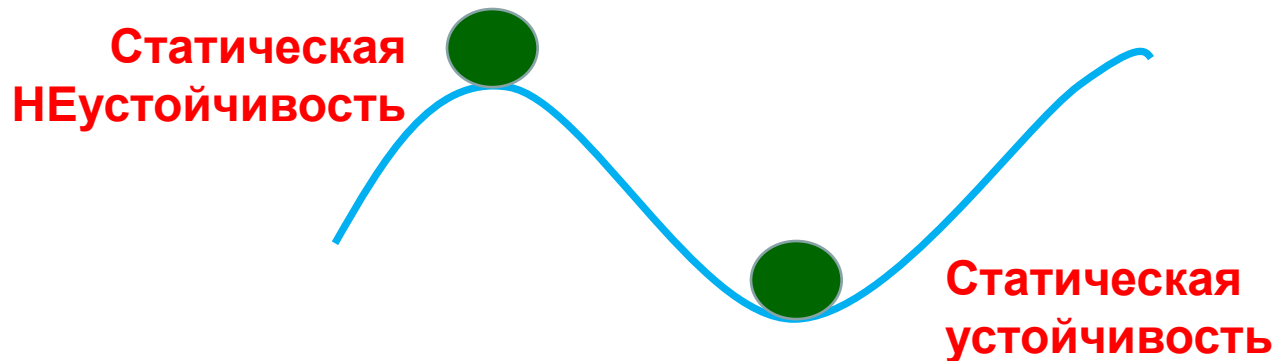
Сиду узла нагрузки.

**Электромагнитные и
электрохимические переходные
процессы. Причины разделения курсов?**

**Уравнение станция – шины бесконечной
мощности.**

Понятие устойчивости. Статическая устойчивость

- **Статическая устойчивость.** Устойчивость в малом. Устойчивость при малых возмущениях.



- Применительно к ЭЭС, статическая устойчивость - это способность ЭЭС восстанавливать исходное состояние (режим) после малых его возмущений.

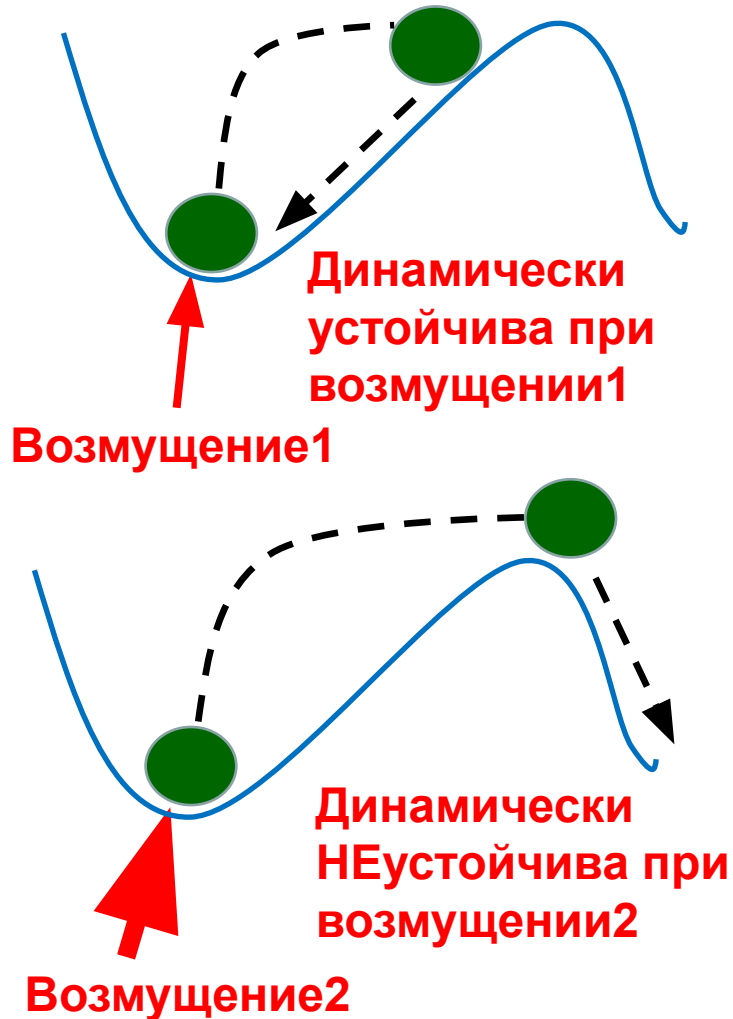
Понятие устойчивости. Динамическая устойчивость

- **Динамическая устойчивость.** Устойчивость в большом. Устойчивость при больших возмущениях. Применительно к ЭЭС, динамическая устойчивость - это способность электроэнергетической системы восстанавливать исходное состояние (режим) после *больших возмущений*.



- *Что такое возмущение?* Очевидно, что не существует технической системы, динамическая устойчивость которой обеспечивалась бы при любых сколь угодно больших возмущениях.

Понятие устойчивости. Динамическая устойчивость



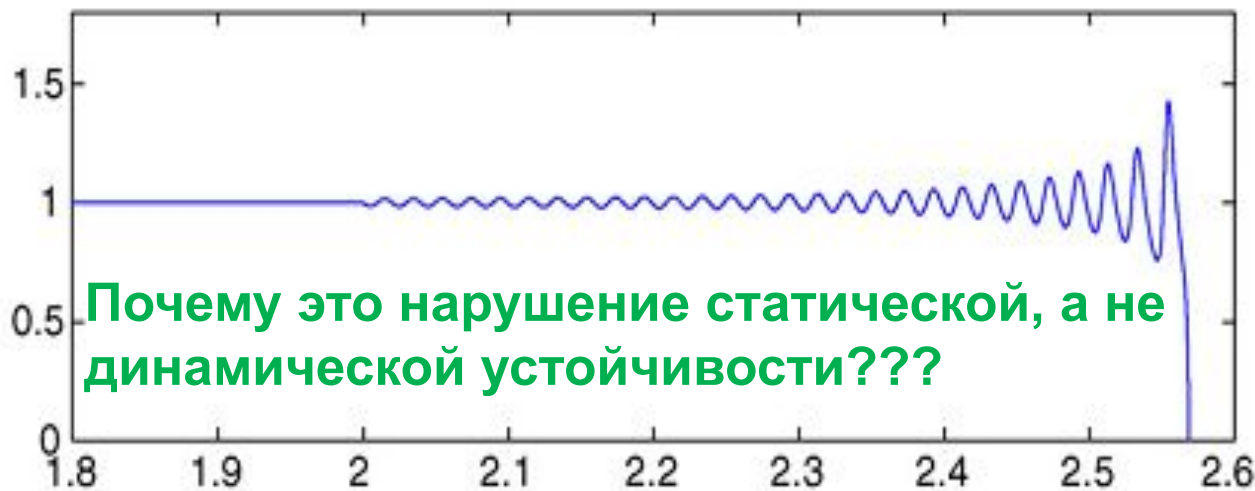
- *Что такое возмущение?*
Очевидно, не существует технической системы, динамическая устойчивость которой обеспечивалась бы при любых сколь угодно больших возмущениях. В связи с этим, возмущения, для которых должна обеспечиваться динамическая устойчивость, всегда нормируются (например, методическими указаниями по устойчивости ЭЭС).

Ключевые виды устойчивости в ЭЭС

- **Устойчивость параллельной работы генераторов (ПРГ):**
 - Статическая **периодическая** (колебательная) и **апериодическая** (генераторы без АРВ) устойчивость ПРГ
 - Динамическая устойчивость ПРГ при больших возмущениях
- **Устойчивость узла нагрузки (УН) (устойчивость по напряжению):**
 - Статическая **апериодическая** (сползание напряжения) и **периодическая** (наличие ИРМ в узле) устойчивость узла нагрузки.
 - Динамическая устойчивость УН при больших возмущениях (например, самозапуск АД).

Статическая периодическая УПРГ

- Статическая **периодическая** (колебательная) устойчивость ПРГ. Данный вид устойчивости связан с настройкой АРВ генераторов. Нормально АРВ должен исключать возможность самораскачивания в широком диапазоне режимов работы.

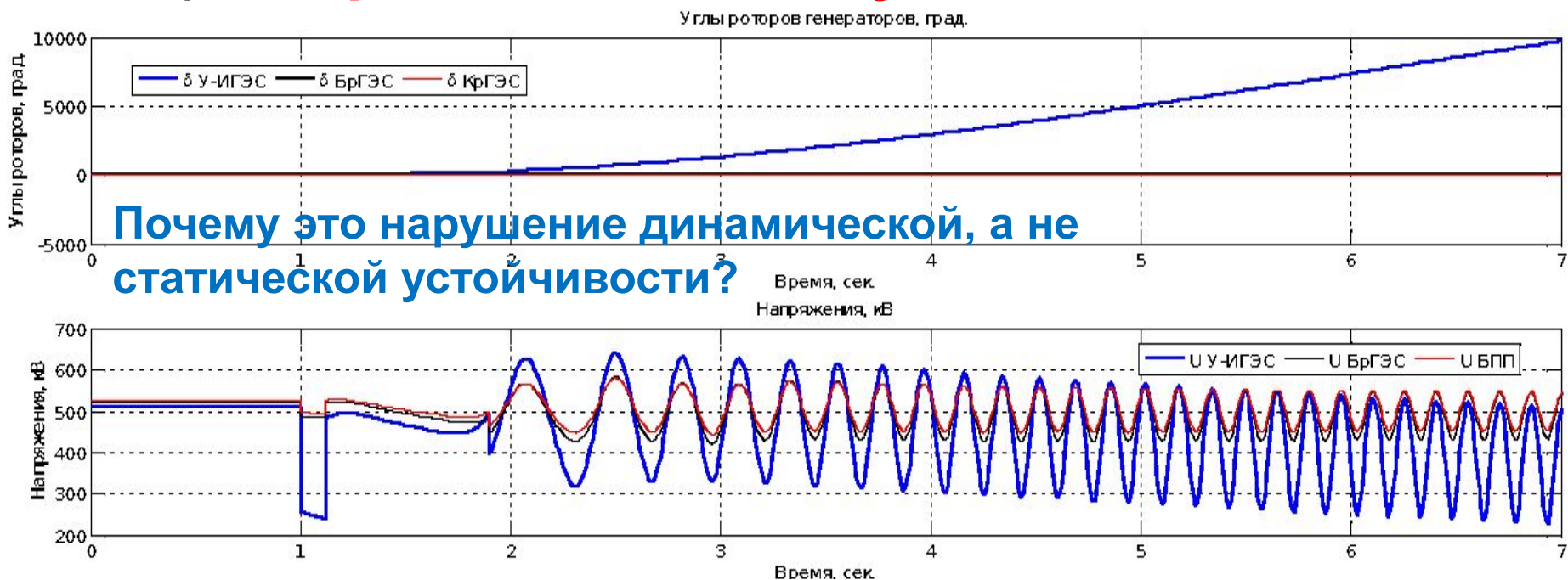


Напряжение на статоре генератора при нарушении статической периодической устойчивости ПРГ

- Нарушению устойчивости ПРГ *не предшествует* возмущение, что свидетельствует о нарушении статической устойчивости.

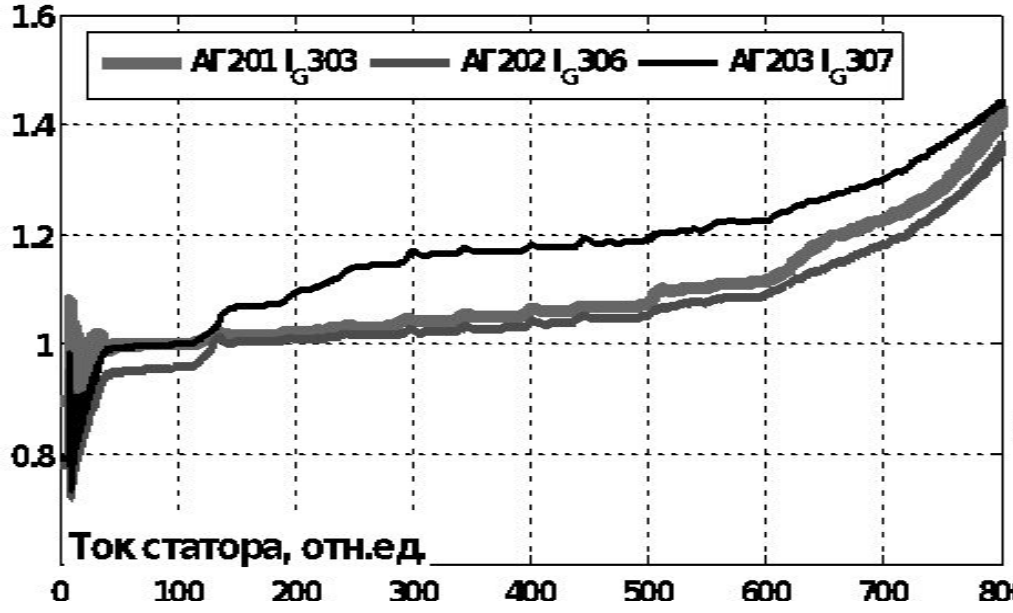
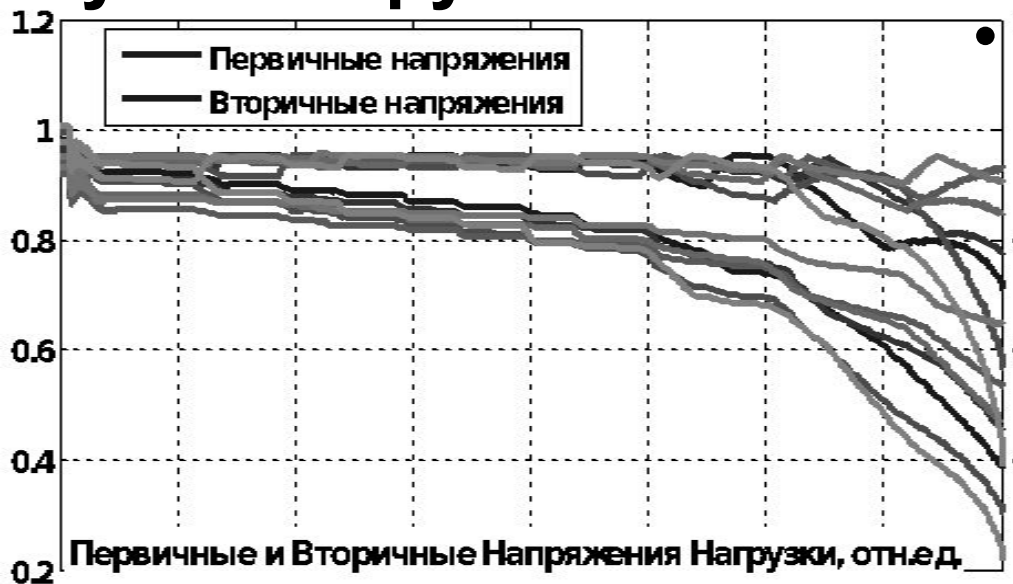
Динамическая устойчивость ПРГ

- Связано с необходимостью сохранять УПРГ при **нормативных возмущениях**.



- нарушению **динамической** устойчивости ПРГ **предшествует возмущение** (однофазное КЗ с успешным ОАПВ), о чем свидетельствует временный провал напряжения.

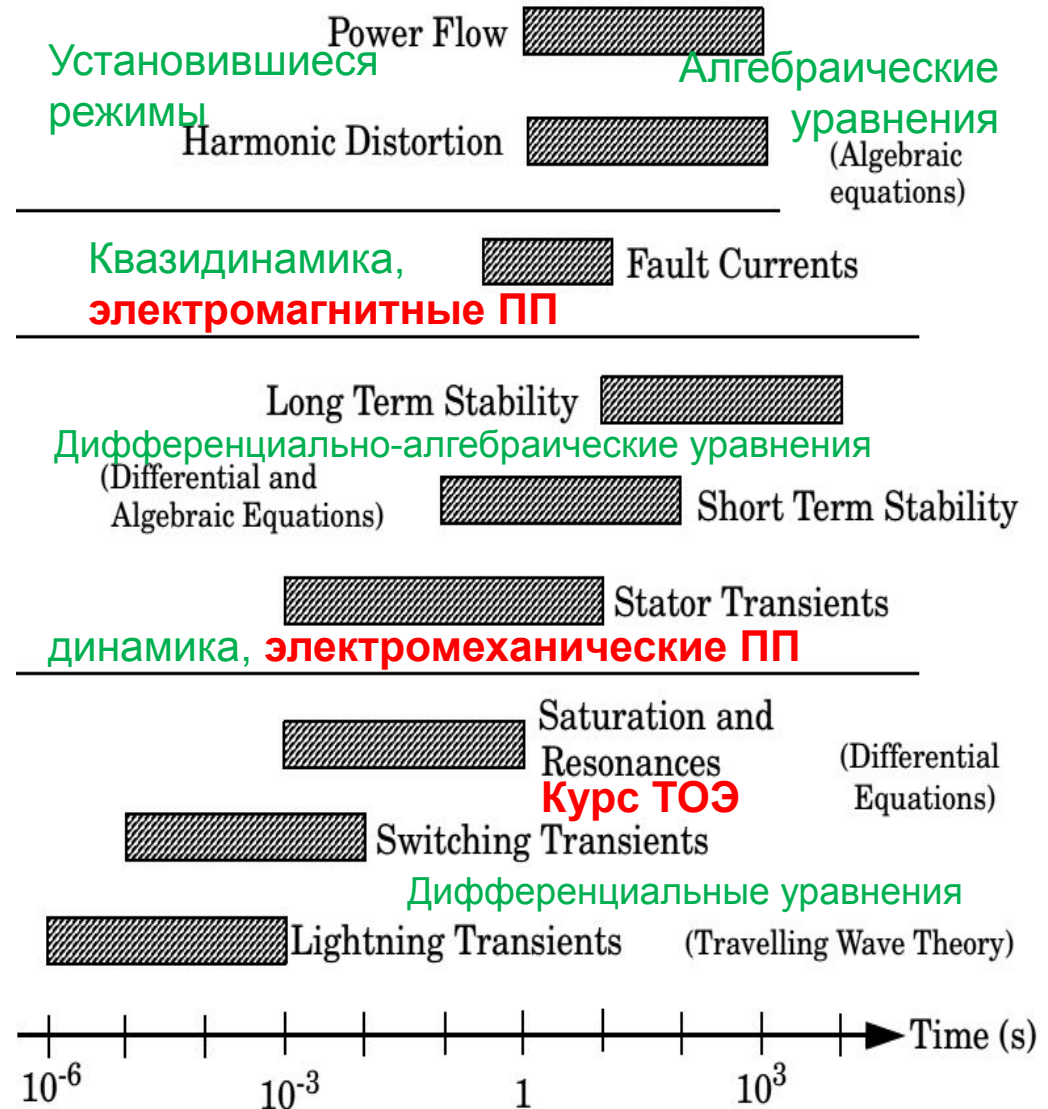
Статическая апериодическая устойчивость узла нагрузки



Связано с балансом реактивной мощности в системе. В случае недостатка реактивной мощности, в узлах нагрузки происходит апериодическое сползание напряжения с одновременным возрастанием тока.

Электромеханические и электромагнитные переходные процессы. Причины разделения

- Применительно к ЭЭС можно выделить следующие виды динамики:
 - Электромагнитные ПП (100 Hz - MHz) (это изучалось в курсе ТОЭ) + **квазистатические режимы**, которые изучались в курсе электромагнитных ПП.
 - **Электромеханические ПП** (колебания роторов генераторов) (0.1 – 3 Hz).
 - Длительные ПП неэлектромеханической природы – механика и термодинамика (тепловые процессы в агрегатах станций).

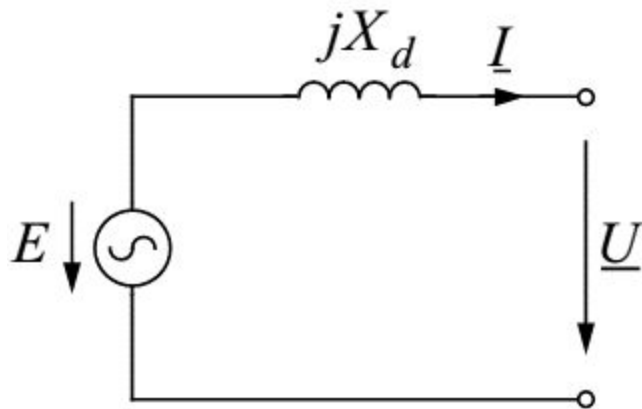


Электромеханические и электромагнитные переходные процессы. Причины разделения

- Почему нельзя создать единую модель, которая описывала бы все явления разом:
 - «Полная» модель потребует огромного числа параметров, так как будет разом описывать всевозможные динамические процессы. Сбор данных и исключение ошибок при введении данных в модель является крайне сложной задачей.
 - Результаты, получаемые при обсчете подобной «полной» модели будут крайне сложны для анализа. Объем информации, получаемой в результате расчета, будет огромен.
 - Несмотря на то, что уравнения для «полной» модели могут быть построены теоретически, человечество до сих пор не научилось создавать численные методы, которые смогли бы обсчитывать подобные модели. По крайней мере, скорость расчета и устойчивость численных методов не позволяет гарантировать быстроту получения и правильность результата.
- Невозможность создания «полной» модели является причиной разделения курсов электромагнитных и электромеханических ПП.

Уравнение СШБМ. Синхронная машина.

- При определенных упрощениях и допущениях в установившемся режиме работы СГ может быть представлен ЭДС E_q за сопротивлением X_d . Напряжение на шинах статора равно U .
- Используя нижеприведенные преобразования можно получить выражение для активной мощности СГ.



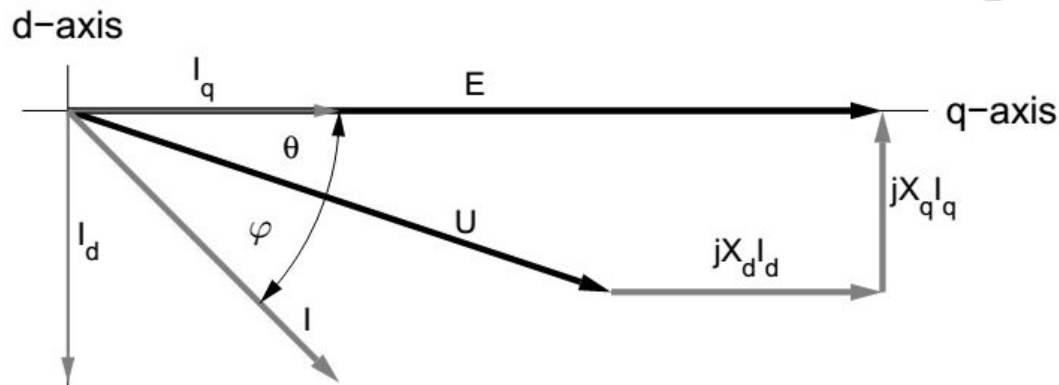
$$\underline{E} = U + jX_d \underline{I}$$

$$E \cdot (\cos \theta + j \sin \theta) = U + X_d I \cdot (j \cos \varphi + \sin \varphi)$$

$$\frac{E}{X_d} \cdot \sin \theta = I \cdot \cos \varphi$$

$$P = UI \cos \varphi$$

ЗНАТЬ!!!



$$P = \frac{UE}{X_d} \sin \theta$$

Уравнение СШБМ. Вращение твердого тела.

- Уравнение вращения СГ:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = J \frac{d^2\theta}{dt^2} = T_m - T_e$$

J – момент инерции [кг*м²],

T_m момент мех. (турбина), Н*м,

T_e момент электрический (в сеть), Н*м,

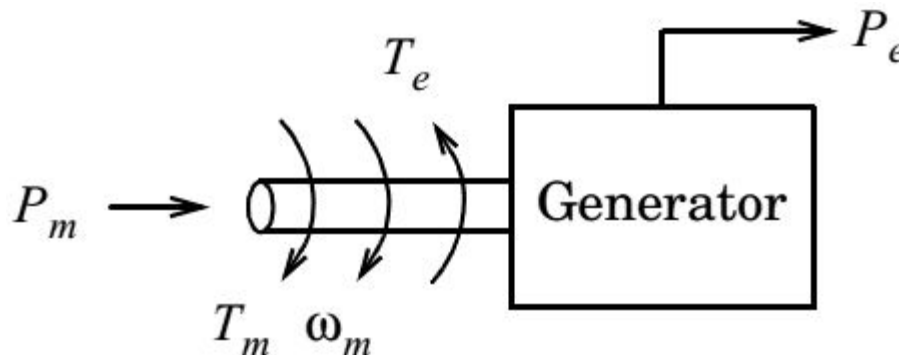
ω_m – угловая скорость механического вращения, рад/сек.

$$\omega_m J \frac{d^2\theta_m}{dt^2} = P_m - P_e$$

Умножаем обе части уравнения на угловую скорость механического вращения, учитывая, что $P = M * \omega_m$

$$\frac{2}{p} \omega_m J \frac{d^2\theta_e}{dt^2} = P_m - P_e$$

Переходим к электрическому углу, ($\omega_m = 2 * \omega_e / p$, дифференцируя обе части получим $\theta_m = 2\theta_e / 2$)



Уравнение СШБМ. Вращение твердого тела.

$$2 \frac{2}{p\omega_m} \left(\frac{1}{2} \omega_m^2 J \right) \frac{d^2 \theta_e}{dt^2} = P_m - P_e$$

Произведем простые преобразования

$$\frac{2}{\omega_e} \frac{\left(\frac{1}{2} \omega_m^2 J \right) \frac{d^2 \theta_e}{dt^2}}{S} = \frac{P_m - P_e}{S}$$

Поделим обе части уравнения на номинальную мощность генератора, переходя тем самым к о.е.

$$\frac{1}{2} \omega_m^2 J$$

Номинальная механическая энергия вращения агрегата

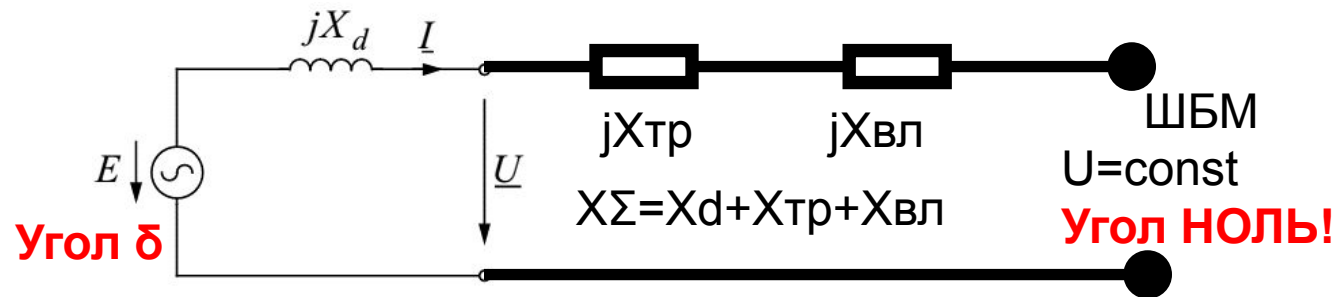
$$\frac{1}{2} \omega_m^2 J / S = H$$

Размерность H?

$$\frac{2H}{\omega_e} \frac{d^2 \theta}{dt^2} = \frac{2H}{\omega_{e0}} \frac{d\omega_e}{dt} = 2H \frac{d\omega_{e*}}{dt} = P_{m*} - P_{e*}$$

Уравнение СШБМ.

Шины бесконечной мощности (ШБМ) характеризуются фиксированным значением напряжения, то есть, бесконечной мощностью КЗ. Предположим, что СГ подключен через трансформатор и ВЛ к ШБМ:



Уравнение Станция – Шины Бесконечной – Мощности (СШБМ)
ЗНАТЬ!!!

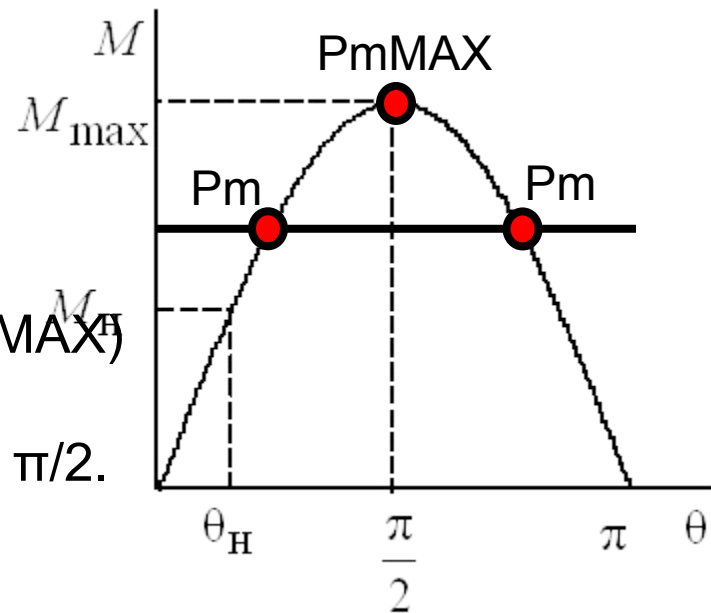
$$2H \frac{d\omega_{e*}}{dt} = P_{m*} - \frac{U_* E_*}{X_{\Sigma*}} \sin \delta$$

Угловая характеристика мощности СГ

- С некоторой долей условности, можно принять, что установившийся режим работы ЭЭС характеризуется балансом между производством и потреблением электроэнергии и, как следствие, постоянством частоты вращения агрегатов станций ($d\omega/dt=0$). Тогда уравнение СШБМ переписывается следующим образом:

$$P_{m*} = \frac{U_* E_*}{X_{\Sigma*}} \sin \delta$$

- Для всех режимов, когда мощность агрегата меньше максимальной (P_{mMAX}) имеется 2 решения. Одно при угле меньше $\pi/2$, другое при угле больше $\pi/2$.
- Что можно сказать о данных решениях? Что произойдет при $P_m > P_{mMAX}$? Чему равен максимум электрической мощности СГ?**



Уравнение СШБМ. Вращение твердого тела.

- Кинетическая энергия вращения твердого тела:

$$W = \frac{J\omega^2}{2} \quad J - \text{момент инерции [кг*м}^2\text{]}, \omega - \text{угловая скорость рад/сек.}$$

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = J \frac{d^2\theta}{dt^2} = T_m - T_e$$

$$\frac{1}{2} \omega_m^2 J \qquad \frac{2H d^2\theta}{\omega_e dt^2} = \frac{2H d\omega_e}{\omega_{e0} dt} = 2H \frac{d\omega_{e*}}{dt} = P_{m*} - P_{e*}$$

$$W = \frac{J\omega^2}{2}$$

$$P_{e*} = P_{m*}$$

$$\frac{1}{2} \omega_m^2 J = H$$

$$\frac{1}{2} \omega_m^2 J / S = H$$

$$P_{m*} = \frac{U_* E_*}{X_{\Sigma*}} \sin\delta$$

$$2H \frac{d\omega_{e*}}{dt} = P_{m*} - \frac{U_* E_*}{X_{\Sigma*}} \sin\delta$$