

# КУРС ЛЕКЦИЙ

по учебной дисциплине

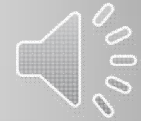
## «Переходные процессы в электроэнергетических системах»

### Раздел 4

## Лекция №13 **Переходные процессы при пуске в ход синхронных генераторов**

Учебные вопросы

1. **Общая оценка переходных процессов.**
2. **Включение в сеть СГ методом самосинхронизации.**
3. **Электро механический пуск СГ.**



**Существуют два способа подключения к сети СГ – *синхронизация* и *самосинхронизация*. Оба способа могут быть как автоматическими, так и ручными**

**Синхронизация генераторов проводится при следующих условиях:**

- а) равенстве амплитуд напряжений подключаемого генератора и сети;**
- б) равенстве частот генератора и сети;**
- в) совпадении фаз напряжений генератора и сети.**

**При этом подключение генератора к сети не вызывает уравнительных токов, толчков мощности и изменения напряжения в системе.**

**Синхронизация требует времени для уравнивания напряжений и частот генератора и сети. В аварийных условиях напряжение и частота сети могут значительно отклоняться от номинальных значений и быстро изменяться, аппаратура точной автоматической синхронизации, как правило задерживает процесс синхронизации до 5 мин. и более.**

**При повреждении устройств точной синхронизации возможно ошибочное (несинхронное) включение генераторов в сеть с опасными для него толчками уравнивающего тока и активной мощности.**

**При несовпадении векторов напряжений  
синхронизируемого генератора и сети по фазе  
величина ударного тока включения  
приблизённо определяется:**

$$i_{y\partial}'' = \sqrt{2} \frac{1,8\Delta E}{(x_d'' + x_c)}$$

$\Delta E$  - геометрическая разность между э.д.с.  
генератора и напряжением сети;

$x_d'', x_c$  - сопротивления генератора и  
эквивалентное сопротивление  
системы.

**Максимальный ударный ток несинхронного включения генератора возникает при:**

$$x_c = 0 \quad \delta = \pi$$

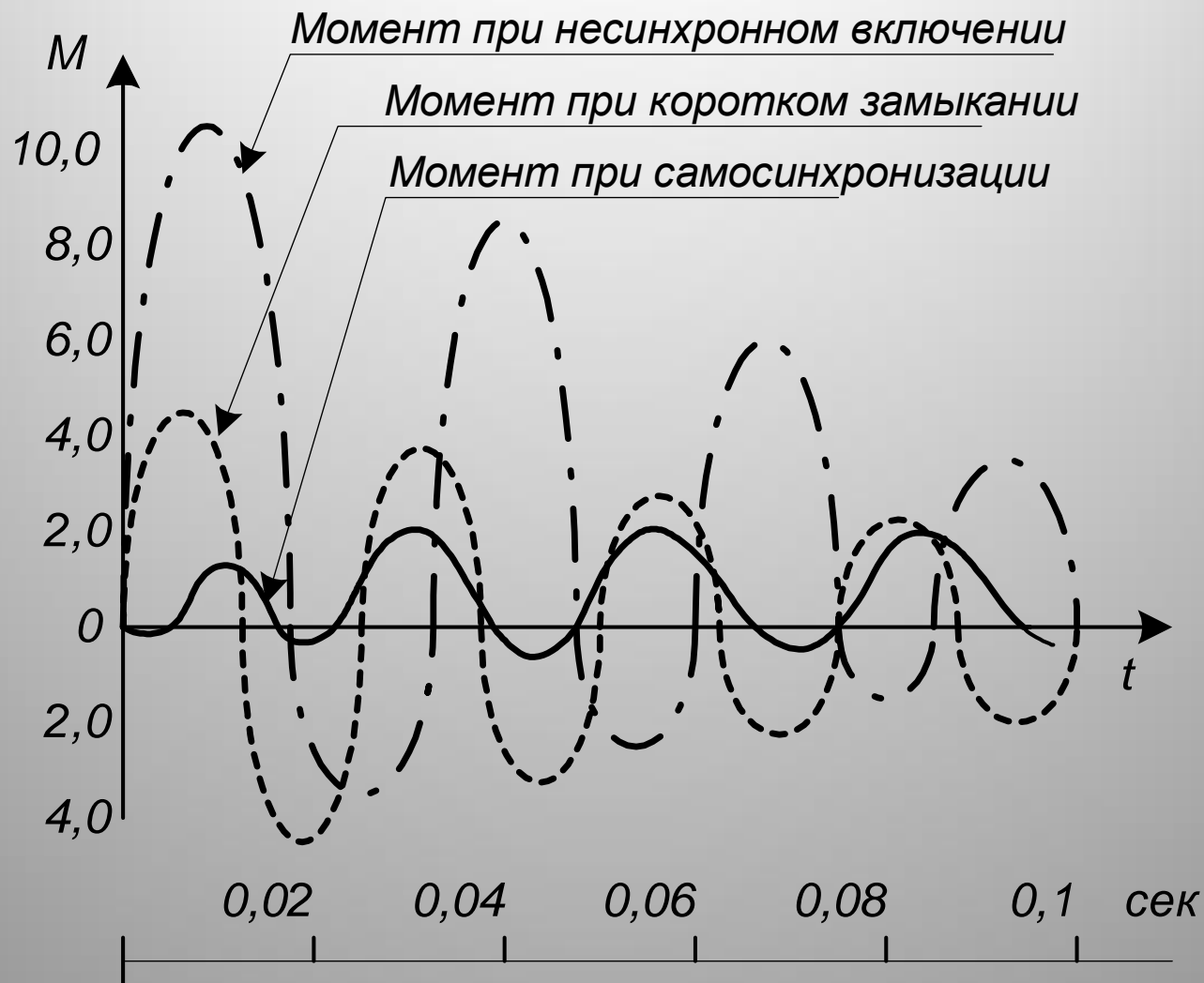
**Нарушение условия равенства частот генератора и сети может также повлечь за собой нежелательные последствия:**  
**генератор будет втягиваться медленно, испытывая качания, создавая толчки тока и активной мощности в системе. Если расхождение частот при этом большое (3-5%), то генератор может перейти в асинхронный режим.**

**Самосинхронизация генераторов обладает рядом существенных преимуществ:**

- **простота схемы и аппаратуры;**
- **надёжность работы устройств;**
- **быстрота включения генератора в сеть, что особенно важно при появлении дефицита мощности в энергосистеме в аварийных условиях.**

**Для избежания толчков мощности и опасных механических усилий включение генераторов способом самосинхронизации происходит при снятом возбуждении!**

## Момент при самосинхронизации меньше чем при коротком замыкании.



Переходный момент генераторов при различных режимах

## **Вопрос 2. Включение в сеть СГ методом самосинхронизации**

**Введение в синхронизм СГ имеет несколько этапов. Сначала не возбуждённый СГ приводится во вращение первичным двигателем и доводится до скорости, близкой к синхронной, после чего подключается к сети. Подключение к сети обычно проводится при скольжении  $\pm 2-3\%$ , хотя и включение при больших скольжениях не представляет какой-либо опасности. Иногда оказывается даже целесообразным подключать машину к сети при неподвижном роторе и одновременно разгонять её первичным двигателем (так называемый электромеханический пуск)**



**Во время пуска и подключения к сети обмотка возбуждения замкнута на гасительное сопротивление (АГП) или на якорь не возбуждённого возбудителя. Если СГ подключается к сети со скольжением меньше 3-5%, то возбуждение подаётся одновременно с включением выключателя. Если СГ подключается к сети с большим скольжением, то машина некоторое время работает без возбуждения, и только после того как она «подтянется» к скорости, близкой к синхронной, подают возбуждение. Появляющийся синхронный момент увеличивает колебания скольжения и обеспечивает входение в синхронизм практически независимо от угла.**

**При проведении самосинхронизации существенное значение имеют характеристики первичных двигателей. Они должны быстро разгонять агрегат. Кроме того, механический момент, развиваемый в процессе синхронизации, должен находиться в определённом соотношении с асинхронным моментом и не должен быть слишком большим по сравнению с ним.**

**Соотношения эти таковы:**

- механически момент должен быть меньше максимального значения среднего асинхронного момента, если в процессе самосинхронизации механический и асинхронный момент направлены одинаково;**

- если в процессе самосинхронизации механический и асинхронный момент имеют разные знаки, то необходимо, чтобы результирующий механический момент был меньше минимального значения среднего асинхронного момента.

Математически это формулируется следующим образом:

$$M_{\text{мех}} \leq k_1 M_{\text{ас. max}}$$

$$M_{\text{мех}} \leq k_2 M_{\text{ас. min.}}$$

$k_1, k_2$  — коэффициенты запаса;

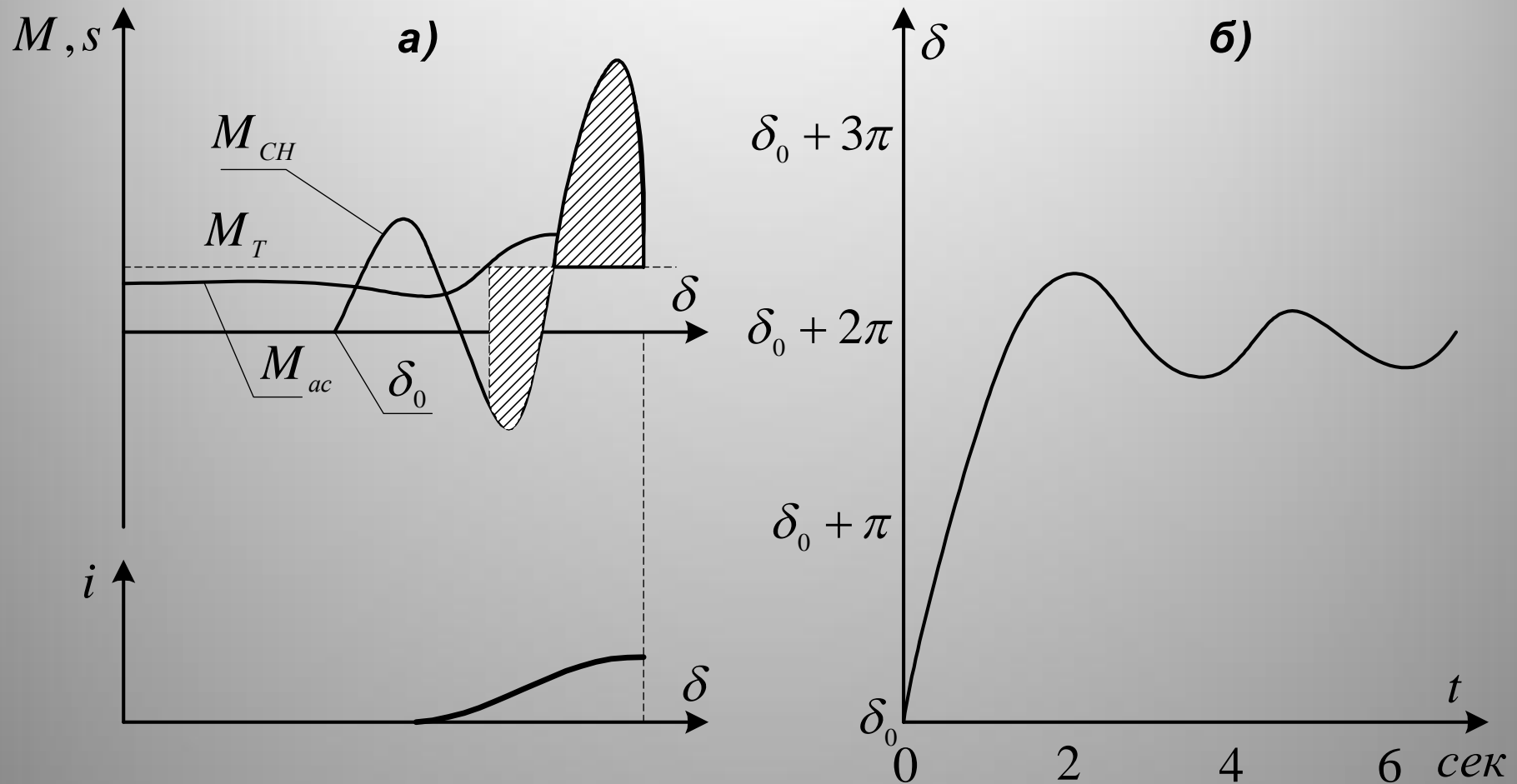
**Несоблюдение требований в случае одинакового знаков моментов** приведёт к «проскакиванию» ротора через возможный установившийся асинхронный режим и через синхронный режим. Это, в свою очередь, приведёт к выпадению из синхронизма со скольжением другого знака.

**Несоблюдение требований в случае разных знаков моментов** приведёт к «застреванию» ротора при большом скольжении и невозможности осуществления синхронизации.

**На следующем слайде на рисунке а) показано изменение тока возбуждения и получающееся при этом соотношение площадей ускорения и торможения, определяющих характер процесса самосинхронизации СГ, работающего при скорости больше синхронной, а на рисунке б) протекание процесса во времени.**

**Как следует из рисунков, после подачи возбуждения ротор под действием появившегося синхронного момента затормаживается, в силу чего скольжение и асинхронный момент уменьшается достигая нуля.**

**Изменение тока возбуждения и получающееся при этом  
соотношение площадоk ускорения и торможения**



**Самосинхронизация машины, работавшей при  
скорости, больше синхронной**

**Дале угол начинает уменьшаться уже в синхронном режиме (при среднем значении скольжения равном нулю) и процесс качаний определяется соотношением площадок ускорения и торможения.**

**При значительных величинах вращающего момента турбины и начального скольжения процесс вхождения в синхронизм затягивается, сопровождаясь значительными качаниями.**

**Более полный анализ процесса втягивания в синхронизм, а также определение условий успешной синхронизации можно провести путём решения уравнений Парка-Горева.**

### **Вопрос 3. Электромеханический пуск СГ**

**При электромеханическом пуске СГ подключают к сети при неподвижном роторе и одновременно разгоняют его первичным двигателем. При этом возбудитель СГ может быть наглухо присоединён к ротору, а устройства регулирования возбуждения должны находиться в таком состоянии, чтобы при скорости близкой к синхронной СГ был возбуждён и смог войти в синхронизм.**

**Агрегат в этом случае развернётся быстрее, так как на него, кроме момента турбины, будет действовать ещё ускоряющий асинхронный момент СГ.**



**Ускорение пуска будет особенно заметным у генераторов, имеющих успокоительные контуры на роторе. Схема автоматики агрегата при таком пуске упрощается.**

**Явления в генераторе, происходящие при электромеханическом пуске, аналогичны явлениям при асинхронном пуске синхронных двигателей с подключённым возбудителем.**

**Электромеханический пуск в настоящее время применяется только на небольших необслуживаемых гидростанциях, так как быстрый пуск паротурбинных агрегатов не может быть допущен по режиму работы турбины.**