

# Раздел 6



## Асинхронные режимы

**Асинхронный режим** – переходный режим в энергосистеме, характеризующийся несинхронным вращением части генераторов энергосистемы.

Причины:

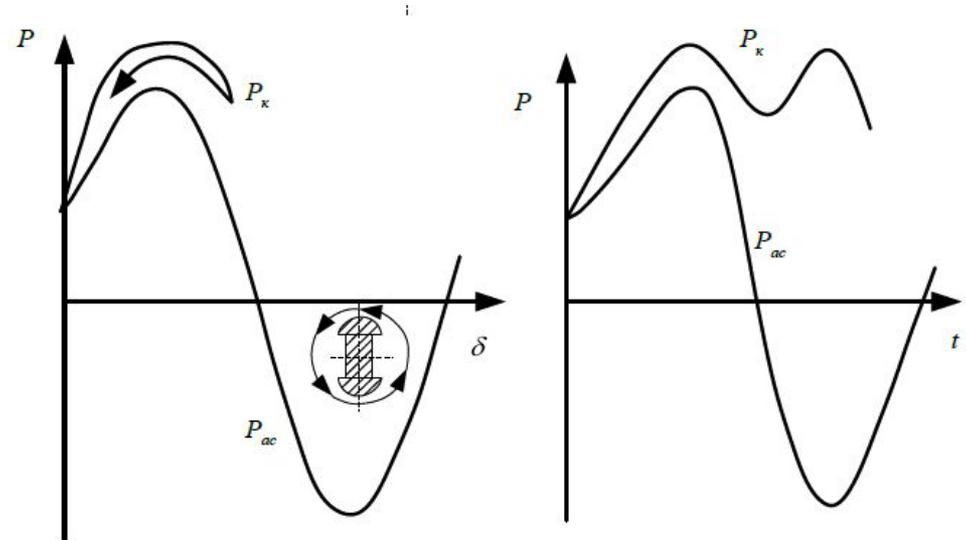
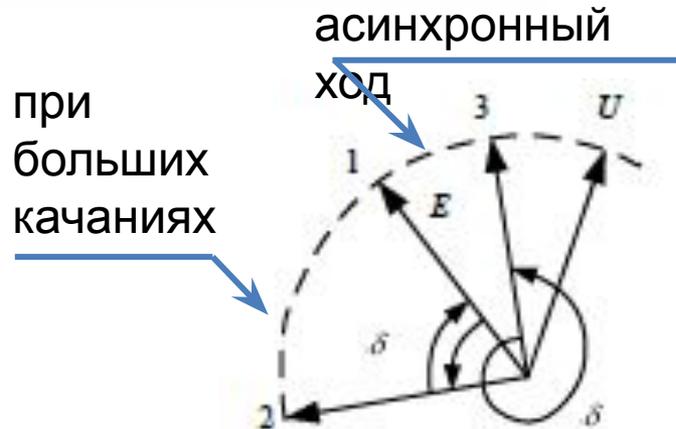
- нарушения статической устойчивости из-за увеличения передаваемой мощности по линиям электропередачи сверхдопустимого значения;
- нарушения динамической устойчивости из-за аварийных возмущений (коротких замыканий, отключение генерирующего оборудования или электроустановок потребителя);
- несинхронного включения линий электропередачи и генераторов;

потери возбуждения генератора.  
Чем характеризуется асинхронный режим?

- периодическое изменение вектора э.д.с. хотя бы одной станции (одного генератора) системы на угол, больший 360 градусов.
- периодическое изменение знака синхронной мощности;
- генератор выдает в сеть пульсирующую асинхронную мощность и потребляет больше РМ;
- возрастает ток статора в связи с увеличившейся РМ, во время асинхронного режима колеблется около среднего значения с частотой, приблизительно равной  $2(f_0 - f)$



## Возникновение асинхронных режимов

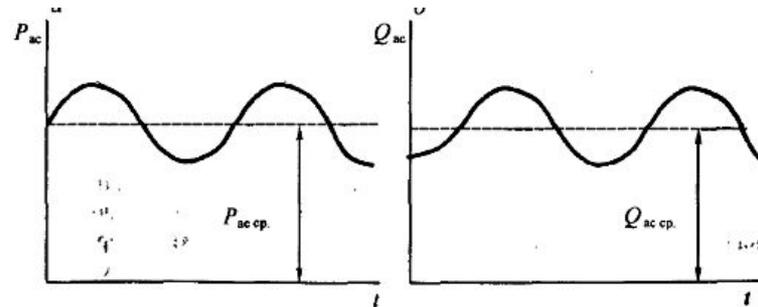


**!** В асинхронном режиме предельная величина активной мощности, которую может отдавать турбогенератор, обычно составляет 50-70% от  $S_N$ . Возможность асинхронного хода и его длительность зависят от типа генератора, от скольжения к концу аварийного процесса, характера изменения момента турбины на первой и последующих стадиях асинхронного режима, асинхронного момента генератора и мощности местной нагрузки в послеаварийном режиме.

**Генераторы.** При больших изменениях скорости Мэл и Рэл, отдаваемая синхронными машинами в генераторном режиме и соответственно получаемая в двигательном режиме, будут зависеть не только от величины угла, но и от скорости его изменения.

$$M_{ЭЛ} = M_{АС} + P_{CH}$$

$$P_{ЭЛ} = P_{АС} + P_{CH}$$



Мсн зависит от параметров машины,  $I_{в}$ , приложенного напряжения и величины угла  $\delta$

Мас - от параметров машины, приложенного напряжения, угла  $\delta$  и скорости его изменения, т.е. скольжения ( $s = -d\delta/dt$ )

$M_{ac}$  и  $P_{ac}$  определяют при упрощающих предположениях, принимая, что машина симметрична в электрическом и магнитном отношениях и ее параметры по продольной и поперечной осям одинаковы:  $T_q = T_d$ ;  $x_q = x_d$ ;

$$P_{AC} = \frac{U^2 r_{2\Sigma s}}{(r_{2\Sigma})^2 + (x_{s\Sigma s})^2}$$

$$r_{2\Sigma} = r_2 + r_{вн}; x_{s\Sigma} = x_s + x_{вн}$$

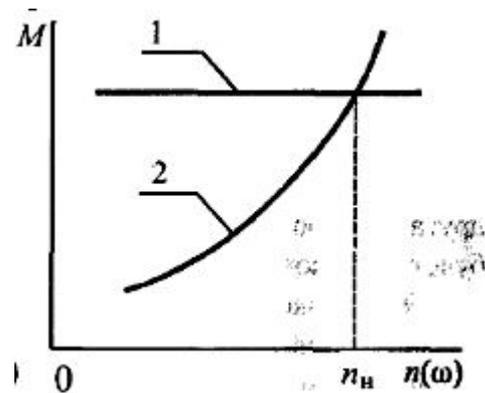
$$x_s = \frac{x_d x'_d}{x_d - x'_d}$$

$$Q_{AC} \approx P_{AC} \frac{s}{s_{кр}}$$

**Первичные двигатели.** Характеристики и параметры первичного двигателя имеют существенное значение при анализе асинхронных режимов. В первую очередь важно знать зависимость момента (или мощности) от скорости и ускорения агрегата.

Важную роль играет коэффициент статизма – показывает изменение частоты вращения (соответствующее изменению мощности от  $P=0$  до  $P_{ном}$ ).

$$\sigma = \frac{n_{\max} - n_{\min}}{n_{\text{НОМ}}} 100\%$$



Механический момент приводных механизмов при уменьшении частоты вращения остается постоянным (1 - тяжелые условия пуска) или уменьшается (2 – легкие условия пуска)

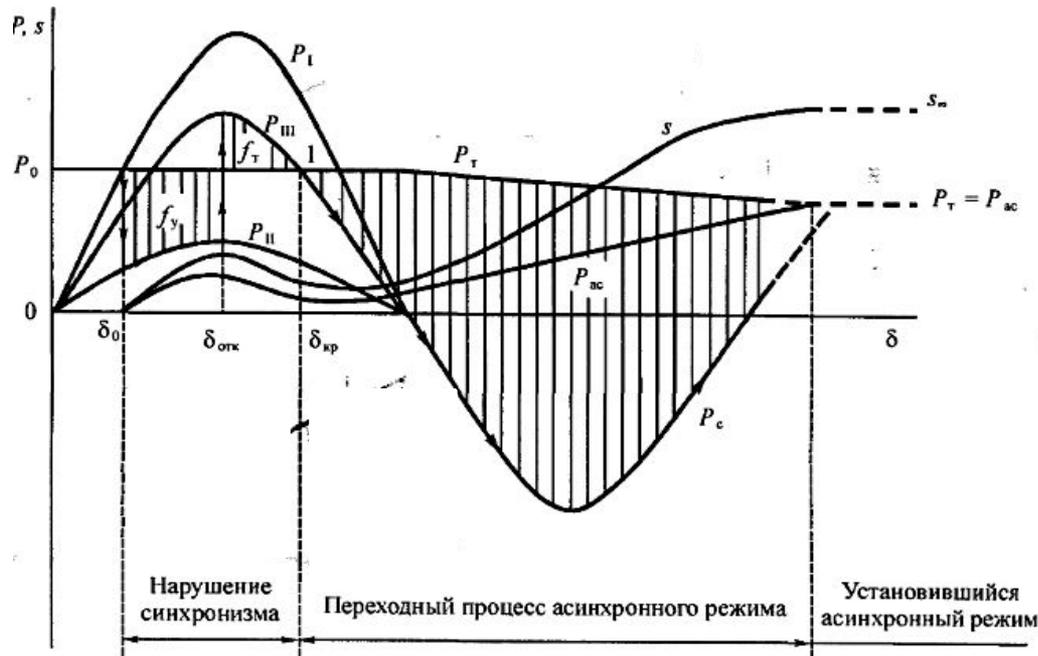
**Эл. сеть.** Схемы замещения ЛЭП, трансформаторов и других неподвижных элементов системы при асинхронном ходе одного генератора или части ее генераторов, не влияющих на всю систему настолько сильно, чтобы вызвать в ней заметное отклонение частоты, не изменяются. При выявлении в процессе анализа значительных изменений частоты следует уточнять расчеты, изменяя индуктивные сопротивления

**Нагрузка.** Поведение нагрузки имеет большое значение для определения допустимости асинхронного хода в системе. Понижение напряжения при асинхронных режимах может вызвать опрокидывание двигателей нагрузки (лавину напряжения). Колебания напряжения на шинах нагрузки, происходящие во время асинхронного хода крупного генератора или группы генераторов, могут привести к колебаниям светового потока осветительных установок.

При асинхронном режиме в составе напряжения, подведенного к нагрузке,

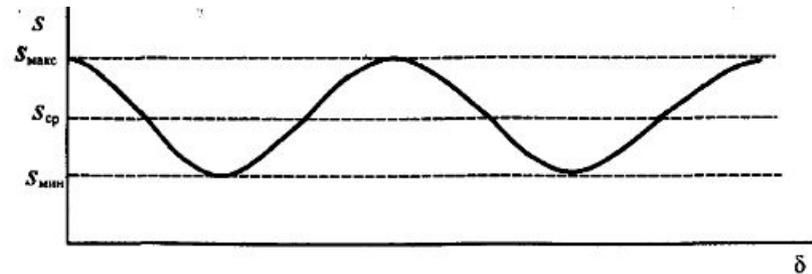
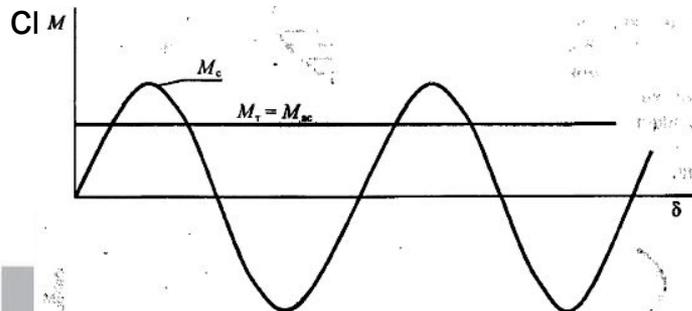
будет несколько (по меньшей мере две) различных частот переменного тока, отличных от нормальной частоты  $f_0$ .

## Нарушение синхронизма и переход в асинхронный режим



- 1 –  $\delta$  растет,  $s$  увеличивается;
- 2 – с увеличением  $s$  появляется и растет  $P_{ас}$
- 3 – вступает в действие регулятор турбины, уменьшает мощность турбины и уравнивает ее до  $P_t = P_{ас}$
- 4 – наступает установившийся асинхронный режим ( $P_{ас} = M_{ас}$ ,  $P_t = M_t$ )
- 5 – если у СМ работает возбуждение, появляется синхронный вращающий момент  $M_c$  (среднее значение его равно 0)

6 –  $M_c$  вызывает пульсации скорости СМ, следовательно и пульсации

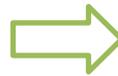


Скольжение определяют из уравнения движения ротора в асинхронном режиме:

$$M_{MEK} \frac{d^2 \delta}{dt^2} - M_{AC} = \Sigma$$



$$\frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{ds}{dt} = \frac{ds}{dt} \frac{d\delta}{d\delta} = s \frac{ds}{d\delta}$$



$$M_j s \frac{ds}{d\delta} = \Sigma$$

Проинтегрировав выражение получим:

$$M_j \left( \frac{s_{\max}^2}{2} - \frac{s^2}{2} \right) = \int_{\delta}^{\delta_{\max}} \Sigma \delta$$

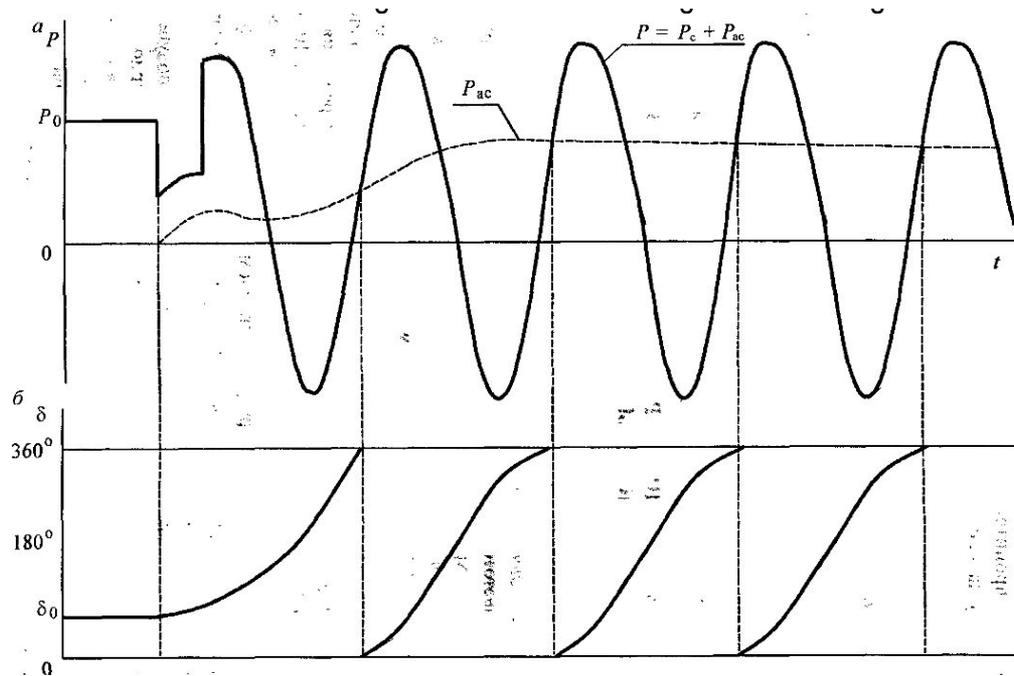


$$M_j \sqrt{s_{\max}^2 - \frac{2}{T_j} \int_{\delta}^{\delta_{\max}} \Sigma \delta}$$

Асинхронный режим сопровождается характерными для него явлениями и признаками:

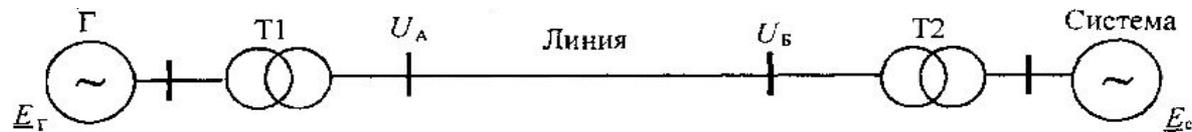
**1. Периодическое изменение угла между несинхронными ЭДС** от 0 до  $360^\circ$  с частотой скольжения. При этом частота скольжения во время асинхронного хода не остается постоянной, а изменяется.

**2 . Периодическое изменение (качания) активной мощности.** За один цикл (период) установившегося асинхронного хода знак активной мощности изменяется дважды. Физически это означает, что генератор как синхронная машина в течение первого полупериода работает в генераторном режиме, а в течение второго полупериода - в двигательном. Средняя активная мощность, выдаваемая генератором,  $P = P_c + P_{ac}$  ЭТИ.



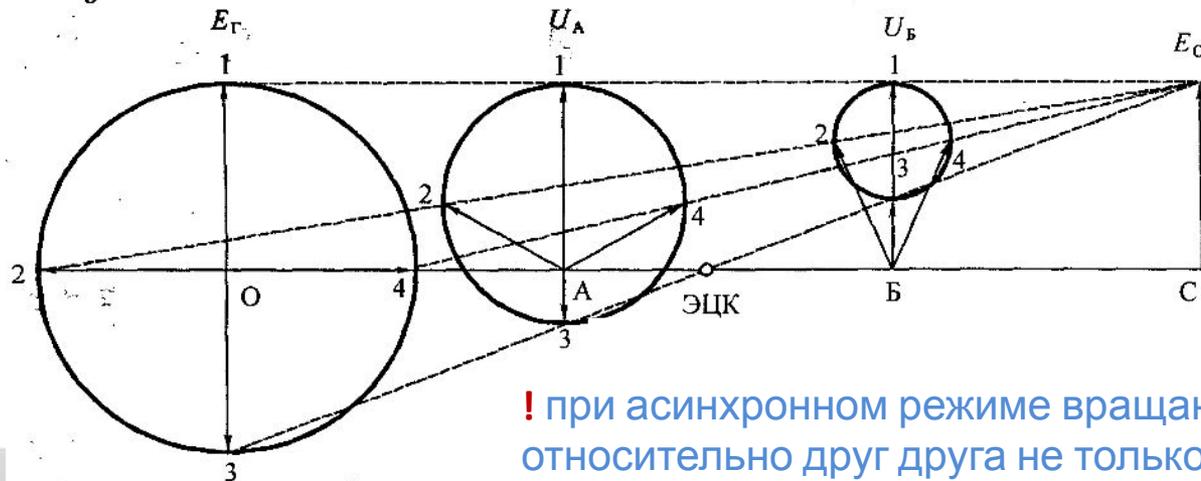
## Изменение параметров режима при асинхронном ходе

3. **Периодическое изменение (качания) напряжения.** На примере простейшей системы при работе генератора в асинхронном режиме можно считать, что вектор мощной приемной системы  $E_c$  является неподвижным, а вектор ЭДС генератора  $E_r$  вращается относительно  $E_c$  с частотой вращения  $f_s$ .



Примем, что ЭДС численно равны, т. е.  $E_c = E_r$ .

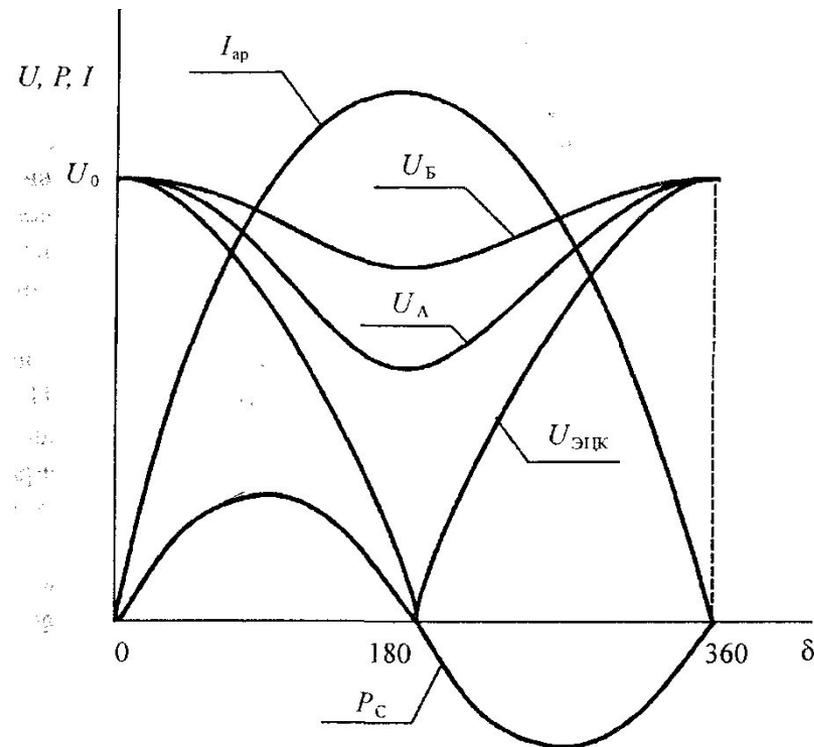
С учетом принятых исходных условий и параметров построена диаграмма изменения напряжения в различных точках при асинхронном ходе.



**!** при асинхронном режиме вращаются относительно друг друга не только векторы ЭДС, но и все векторы напряжений, находящиеся по разные стороны от ЭЦК

## Изменение параметров режима при асинхронном ходе

Векторы напряжения  $U_A$  и  $U_B$  изменяются по величине и занимают новое фазовое расположение. При этом имеется их существенная зависимость от угла  $\delta$ . На рассматриваемой системе имеется характерная точка, напряжение в которой при угле  $\delta = 180^\circ$  снижается до нуля. Эта точка называется электрическим центром качаний (ЭЦК). Характер изменения напряжения в ЭЦК



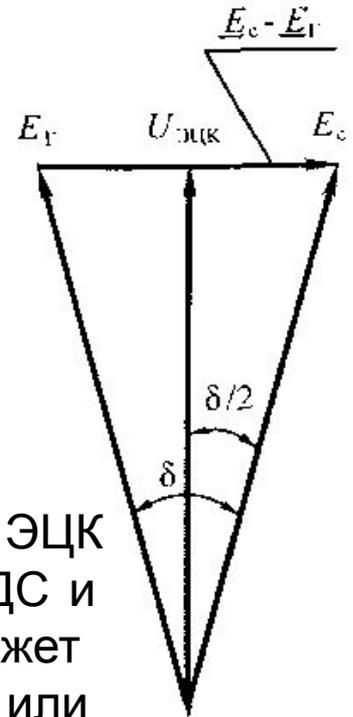
Напряжение в ЭЦК при равных ЭДС для любого угла можно определить на основании векторной диаграммы

При  $E_G = E_C = E_{\text{ЭЦК}}$  расположен в середине вектора  $E_C - E_G$ . Поэтому вектор напряжения  $U_{\text{ЭЦК}}$  делит угол  $\delta$  пополам, и, следовательно, можно записать:

$$U_{\text{ЭЦК}} = E \cos \frac{\delta}{2}$$

При изменении значений  $E_G$  и  $E_C$  место расположения ЭЦК меняется. В зависимости от соотношения величины ЭДС и сопротивления параметров системы ЭЦК может располагаться в любой точке линии, в трансформаторе или даже в самом генераторе.

Вектор напряжения в точке А, находящейся за ЭЦК от вектора  $E_C$ , последовательно занимает те же положения, что и вектор  $E_G$ . Следовательно, вектор напряжения  $U_A$  вращается относительно вектора  $E_C$  с той же частотой, что и вектор  $E_G$ , т. е. с частотой скольжения. Аналогично изменяются векторы напряжения во всех точках электропередачи, находящихся за ЭЦК от вектора  $E_C$ .



**4. Периодическое изменение тока.** Известно, что ток, проходящий по электропередаче при асинхронном режиме, равен

$$I_{AP} = \frac{E_C - E_\Gamma}{x_\Sigma}$$

где  $x_\Sigma$  - суммарное реактивное сопротивление между векторами  $E_C$  и  $E_\Gamma$

Из векторной диаграммы

следует:

$$\frac{E_C - E_\Gamma}{2} = E \cos \frac{\delta}{2}$$



$$E_C - E_\Gamma = 2E \cos \frac{\delta}{2}$$



$$I_{AP} = \frac{2E}{x_\Sigma} \sin \frac{\delta}{2}$$

Ток асинхронного режима зависит от угла  $\delta$  и равен нулю при  $\delta = 0^\circ$  и достигает максимального значения при  $\delta = 180^\circ$ .

Асинхронный режим сопровождается глубокими понижениями напряжения, протеканием больших токов, которые могут превышать токи КЗ, и колебаниями активной и реактивной мощности. Последствиями асинхронного режима являются:

**1. Глубокие снижения напряжения** в электрической сети могут приводить к нарушению устойчивости двигателей, массовому отключению потребителей, нарушению технологических процессов на производстве, нарушению устойчивой работы собственных нужд электростанций.

**2. Повреждения элементов сети** из-за больших токов перегрузки, которые в асинхронном режиме могут превосходить исходный или номинальный в несколько раз.

**3. Повреждения генераторов** из-за возникающих больших электродинамических и механических усилий, перегрева обмоток статора и ротора. Увеличение нагрева ротора и дополнительно циркулирующих в нем вихревых токов.

**4. Глубокие снижения напряжения** при двухчастотном асинхронном режиме могут привести к его развитию в трехчастотный и многочастотный асинхронный ход. Глубокие снижения напряжения в асинхронных режимах могут вызывать каскадное нарушение устойчивости других электростанций и приводить к развитию аварии.

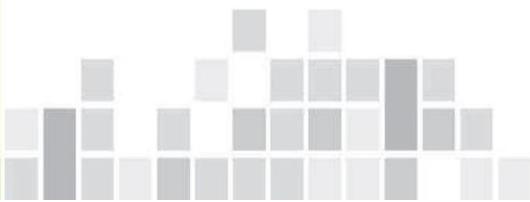
**5. Возникновение дефицита активной мощности**, т.к. в асинхронном режиме предельная нагрузка, которую может выдать турбогенератор, ограничивается 40—60 % от номинальной мощности, для гидрогенератора - 30-50 %.

**6. Глубокие колебания параметров электрического режима** могут приводить к ложной работе устройств релейной защиты и противоаварийной

Асинхронный режим не является допустимым, когда:

- имеют место значительные снижения напряжения в узлах энергосистемы, от которых питаются крупные и ответственные потребители или с ними связаны мощные тепловые и атомные электростанции;
- при возникновении асинхронного хода между двумя частями энергосистемы следует нарушение устойчивости других электростанций;
- происходит повреждение оборудования в электрической сети, на электростанциях;
- изменение режимных параметров приводит к неселективному срабатыванию устройств РЗ и ПА, а загробление их уставок является недопустимым.

**!** В тех случаях, когда приведенные выше условия не являются определяющими, кратковременный асинхронный режим может быть допущен. При этом предельная длительность асинхронного режима составляет 30 с. Турбогенератору при потере возбуждения разрешается работать в асинхронном режиме до 15-30 мин. Активная нагрузка при этом должна быть снижена до 40-60 % от номинальной.



- Асинхронный режим – это плохо!
- В асинхронном режиме изменяются («качаются») токи, напряжения, угол мощность, частота вращения (скорость)
- Асинхронный режим допустим, однако есть разные условия влияющие на его длительность, и его «допустимость» или «недопустимость»
- В асинхронном режиме генераторы и двигатели меняют свои характеристики, в отличие от параметров сети
- При асинхронном режиме в составе напряжения, подведенного к нагрузке присутствует по меньшей мере две различных частоты переменного тока, отличных от нормальной частоты  $f_0$ .
- В ЭЦК напряжение равно 0

### Ресинхронизация , результирующая устойчивость



Go to **[www.menti.com](https://www.menti.com)** and use the code **93 02 08**

