

УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНЕРГОСИСТЕМ

**АСИНХРОННЫЕ РЕЖИМЫ В
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

АСИНХРОННЫЕ РЕЖИМЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Асинхронными называют такие режимы работы генератора или двигателя, при которых скорость вращения роторов значительно отклоняется от синхронной. К асинхронным режимам относятся:

- работа синхронной машины после её выпадения из синхронизма;
- асинхронный пуск двигателей или синхронных компенсаторов;
- самозапуск двигателей.

В асинхронном режиме вектор ЭДС синхронной машины, выпавшей из синхронизма, вращается относительно вектора ЭДС машин, работающих синхронно.

Возникновение асинхронного режима

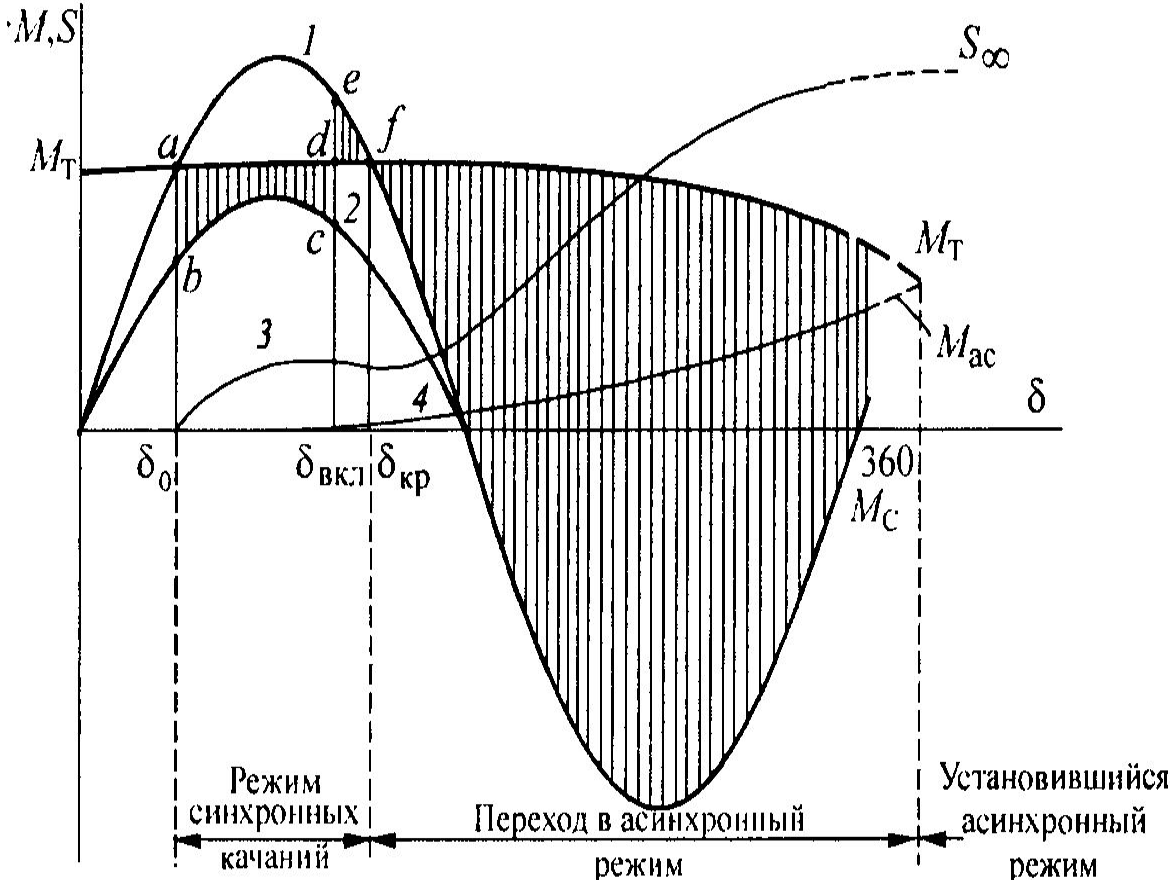
- Асинхронный режим может возникнуть в результате нарушения динамической устойчивости, вследствие потери возбуждения синхронной машины.
- Рассмотрим переход генератора в асинхронный режим работы вследствие нарушения динамической устойчивости (рис.16.1). Пусть одна из линий электропередачи (рис.10.1, а) внезапно отключается, а затем включается вновь. При этом происходит переход с характеристики 1 на характеристику 2 и обратно.

Возникновение асинхронного режима

- При этом происходит переход с характеристики 1 на характеристику 2 и обратно. Но угол включения $\delta_{вкл}$ (рис.16.1) настолько велик, что площадь ускорения f_{abcd} превосходит наибольшую возможную площадь торможения f_{dcf} . Угол вектора ЭДС эквивалентного генератора G превышает критическое значение $\delta_{кр}$. На ротор начинает действовать ускоряющий избыточный момент, приводящий к дальнейшему увеличению угла

• δ

Возникновение асинхронного режима



Переход в асинхронный режим синхронного генератора

Возникновение асинхронного режима

- Когда скорость ротора начнёт отличаться от синхронной, появляется скольжение S , растущее с увеличением разности скоростей. Вследствие скольжения появляется асинхронный момент, который зависит от напряжения на зажимах генератора. Приблизённо можно принять

$$P_{ac} = M_{ac} = \varphi(S) \quad .$$

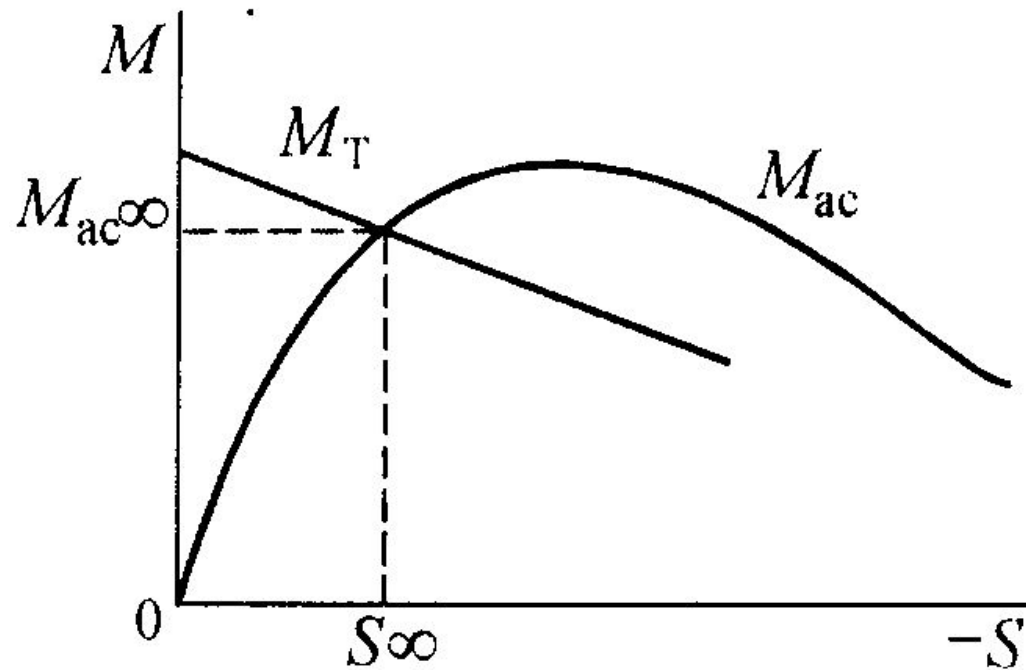
Возникновение асинхронного режима

- С увеличением скольжения начинают действовать регуляторы мощности турбины, уменьшая P_T . Синхронная мощность приобретает пульсирующий характер и, являясь функцией скольжения, будет, в свою очередь, влиять на него, вызывая его пульсации. При некотором значении скольжения момент турбины уравнивается средним асинхронным моментом ($M_T = M_{ac}$). Это условие определяет начало установившегося асинхронного режима (хода).

Установившийся асинхронный режим

- Установившийся асинхронный режим характеризуется скольжением, которое в соответствии с рис.16.2 определяется точкой пересечения характеристик момента турбины и асинхронного момента. Если выпавшая из синхронизма машина возбуждена, то кроме взаимно уравновешивающих друг друга асинхронного момента и момента турбины на вал генератор-турбина будет действовать также синхронный вращающий момент.

Установившийся асинхронный режим

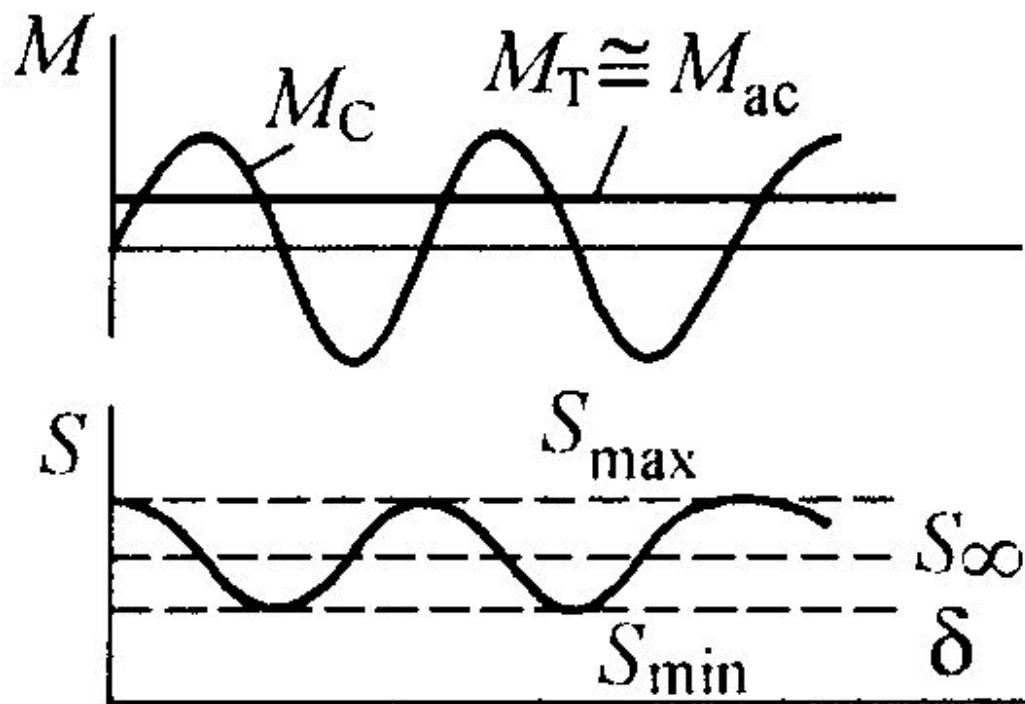


К определению скольжения в установившемся асинхронном режиме

Установившийся асинхронный режим

- Этот знакопеременный момент вызывает периодическое изменение скорости вращения ротора в асинхронном режиме, а следовательно, и пульсации скольжения, изменяющиеся от s_{∞} до s_{\min} около своего среднего значения s_{max} (рис.16,3). Очевидно, что чем больше амплитуда синхронного момента, тем больше разница между максимальным и минимальным значениями пульсирующего скольжения.

Установившийся асинхронный режим



Изменение асинхронного момента и скольжения в асинхронном режиме

Установившийся асинхронный режим

- Уравнения движения ротора генератора в асинхронном режиме имеет вид:

$$T_j \frac{d^2 \delta}{dt^2} = M_T - M_c - M_{ac} = \sum M \quad . \quad (16.1)$$

- Преобразуем это уравнение, введя в левую часть скольжение.
- Ускорение ротора двигателя запишем в виде

$$\frac{d^2 \delta}{dt^2} = \frac{d\Delta\omega}{dt} \quad , \quad (16.2)$$

- где $\Delta\omega = \omega - \omega_0$ – разность между текущей и синхронной скоростями ротора. В

Установившийся асинхронный режим

- В относительных единицах эта разность может быть записана в виде:

$$\Delta\omega_* = \frac{\omega - \omega_0}{\omega_0} = s \quad . \quad (16.3)$$

Подставив в выражение (16.3) в (16.2), получим

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{d\Delta\omega_*}{dt} \frac{d\delta}{d\delta} = \Delta\omega_* \frac{d\Delta\omega}{d\delta} = s \frac{ds}{d\delta} \quad .$$

Следовательно, выражение (16.1) принимает вид

$$T_j s \frac{dS}{d\delta} = \sum M \quad .(16.4)$$

Установившийся асинхронный режим

- Предположим, что $M_T = f(S)$, $M_{ac} = \xi(S)$ заданы как функции угла δ . Тогда, проинтегрировав выражение (16.4), получим

$$T_j \left(\frac{S_{\max}^2}{2} - \frac{S^2}{2} \right) = \int_{\delta}^{\delta_{\max}} \sum M d\delta ,$$

откуда можно найти значения скольжения в любой момент времени

$$S = \sqrt{S_{\max}^2 - \frac{2}{T_j} \int_{\delta}^{\delta_{\max}} \sum M d\delta} . \quad (16.5)$$

Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей

- Для большинства синхронных машин асинхронный режим не представляет опасности. Необходимо проверить опасность нарушения устойчивости остальной части системы, в которой мощный генератор работает. В этом режиме генератор обычно потребляет из системы значительную реактивную мощность. Это приводит к увеличению тока статора. Поскольку предельная величина ток статора ограничена, предельная активная мощность также ограничивается до 50–70% номинальной мощности, а у мощных турбогенераторов – 30–50%.

Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей

- Это приводит к дефициту активной мощности в системе, что является существенным недостатком асинхронного режима.
- Возможность работы в асинхронном режиме и её длительность ограничены опасностью повреждений самого генератора. В асинхронном режиме допускается работа турбогенератора в течение 15–30 минут, гидрогенератора в течение нескольких минут.
- Восстановление выпавшего из синхронизма генератора возможно без его отключения из сети. Можно оставить его на некоторое время в асинхронном режиме, а затем ввести в синхронизм. Это называется **ресинхронизацией**.

Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей

- Одно из условий успешной ресинхронизации можно получить, используя выражение (16.6). Если скольжение, с которым работает генератор в асинхронном режиме, станет равным нулю, то это означает, что скорость вращения генератора стала синхронной, при

$$S_{\max}^2 = \frac{2}{T_j} \int_{\delta}^{\delta_{\max}} \sum M d\delta \quad .$$

Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей

- В этом случае среднее значение скольжения

$$S_{cp} = \sqrt{\frac{1}{2T_j} \int_{\delta}^{\delta_{\max}} \sum M d\delta}$$

- Условие $S = 0$ — необходимое, но недостаточное для втягивания генератора в синхронизм. Для получения второго условия рассмотрим протекание процесса ресинхронизации, представленного на рис.16.4. Предположим, что увеличение тока возбуждения повышает синхронный вращающий момент, что в свою очередь приводит к росту пульсаций скольжения.

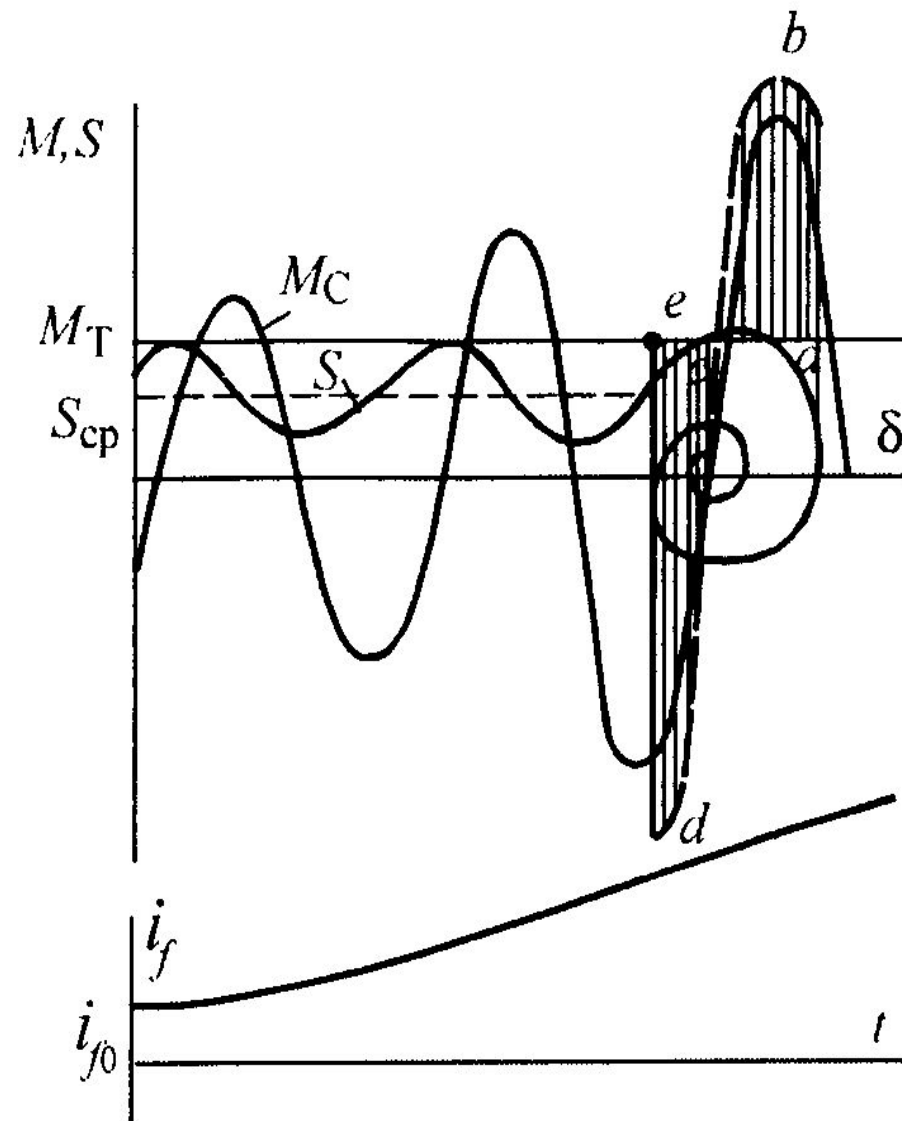
Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей

- При некотором значении синхронного момента скольжение пройдёт через нуль, что свидетельствует о наступлении синхронного режима. Избыточный момент, определяющий движение ротора генератора в асинхронном режиме, состоит из трёх составляющих:

$$\sum M = M_T - M_c - M_{ac} \quad ,$$

- где M_T – момент турбины; M_c , M_{ac} – синхронный и асинхронный моменты. Когда скольжение становится равным нулю, асинхронный момент также равен нулю. Следовательно, условием втягивания генератора в синхронизм будет условие $M_c > M_T$.

Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей



Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей

- При таком соотношении моментов и $S = 0$ на вал генератора действует тормозной избыточный момент, который вызывает уменьшение угла δ . Ротор генератора начинает движение в сторону его уменьшения, площадь торможения abc уравнивается площадью ускорения cde , происходят затухающие колебания около точки c . Вследствие того, что ток возбуждения начинает увеличиваться, отсчёт площадей производится от характеристики синхронного момента, соответствующего большему значению тока возбуждения (изображена пунктирной линией). Необходимо отметить, что увеличение тока возбуждения в процессе ресинхронизации приводит к более быстрому втягиванию генератора в синхронизм, демпфированию колебаний угла δ по времени.

Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей

- Если условие $M_c > M_T$ не выполняется, то ресинхронизация не будет успешной, угол продолжит возрастать, а генератор останется в асинхронном режиме.
- После вхождения в синхронизм регулятор скорости турбины начинает увеличивать впуск энергоносителя, вследствие чего возрастает момент турбины. Это приводит к увеличению площади ускорения и уменьшению площади торможения, что может вызвать из синхронизма в одном из последующих циклов качаний. Избежать выпадения из синхронизма можно, регулируя надлежащим образом ток возбуждения.

Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей

- Процесс ресинхронизации может быть рассчитан методом последовательных интервалов с учётом характеристик турбин и их регуляторов скорости.
- Восстановление синхронного режима работы синхронных двигателей производится для ответственных механизмов, сохранение которых в работе необходимо по условиям техники безопасности или технологии производства.

Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей

Оно может осуществляться разными способами:

- ресинхронизацией;
- ресинхронизацией с автоматической разгрузкой рабочего механизма (если она допустима) до такой степени, при которой обеспечивается втягивание двигателя в синхронизм;
- отключение двигателя и повторное включение его автоматическим пуском.

Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей

- В последнем способе при сохранении возбуждения двигателя важное значение имеет синхронное включение. При несовпадении по фазе векторов напряжений синхронизируемого двигателя и сети возникает ударный ток включения, который приближённо определяется с помощью выражения:

$$I = \sqrt{2} \frac{1,8\Delta E''}{(X''_M + X_c)},$$

- где $\Delta E''$ – геометрическая разность между ЭДС двигателя E''_q и напряжением сети; X''_M ,
- X_c – сопротивления двигателя и системы.

Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей

- При $\delta = \pi$ ударный ток имеет наибольшее значение, и может вызвать повреждение обмоток двигателя при его включении. Это можно предотвратить с помощью ускоренной синхронизации. В устройстве, выполняющем ускоренную синхронизацию, осуществляется постоянное сравнение значений напряжения по концам выключателя, с помощью которого осуществляется ресинхронизация.

Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей

- Как только разность $\Delta U = U_1 - U_2$ превысит наперёд заданное значение ε зависящее от погрешности измерения, начнётся определение расхождения векторов \vec{U}_1 и \vec{U}_2 :

$$\alpha = \frac{\omega_1 - \omega_2}{\Delta t},$$

- где ω_1 и ω_2 – скорости вращения векторов напряжений \vec{U}_1 и \vec{U}_2 ; Δt – время, за которое произошло увеличение скорости с ω_1 до

ω_2

Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей

- После определения ускорения вычисляются текущий угол и угол опережения. Текущий угол находится по моментам прохождения через нуль напряжений u_1 и u_2 . Для включения двигателя после проворота его ротора на угол $\delta = 2\pi$ необходимо команду на включение выключателя подавать с некоторым опережением по времени. При этом угол опережения получают из соотношения

$$\delta_{on} = St_{вв} + \frac{\alpha t_{вв}}{2},$$

- где S , α – текущие значения скольжения и ускорения ротора; $t_{вв}$ – собственное время включения двигателя. Условие срабатывания выключателя запишется в виде $\delta_{вкл} = \delta_{сраб} + \delta_{on} > 2\pi$, при его выполнении подаётся сигнал на включение выключателя.

Ресинхронизация синхронных генераторов и двигателей

- Описанный алгоритм обеспечивает ускоренную синхронизацию в случае кратковременной потере питания двигателя, которая может возникнуть вследствие КЗ на питающей линии либо её отключения, а затем включения от АПВ двигателя.