

**Устойчивость работы энергосистем**

**ДИНАМИЧЕСКАЯ  
УСТОЙЧИВОСТЬ НАГРУЗКИ**

- Электрические двигатели составляют основную часть нагрузки энергосистем. При больших возмущениях двигатели оказывают влияние не только на режим работы нагрузки, но могут оказывать влияние на функционирование энергосистемы. Основные два типа возмущений, характерные для мощных электродвигателей:
  - 1. Снижение напряжения на зажимах двигателя, вызванное:
    - коротким замыканием в сети;
    - кратковременным прекращением питания двигателей;
    - пуском электродвигателей.
  - 2. Изменение механического момента на валу двигателя, вызванное изменением режима работы приводимого механизма.

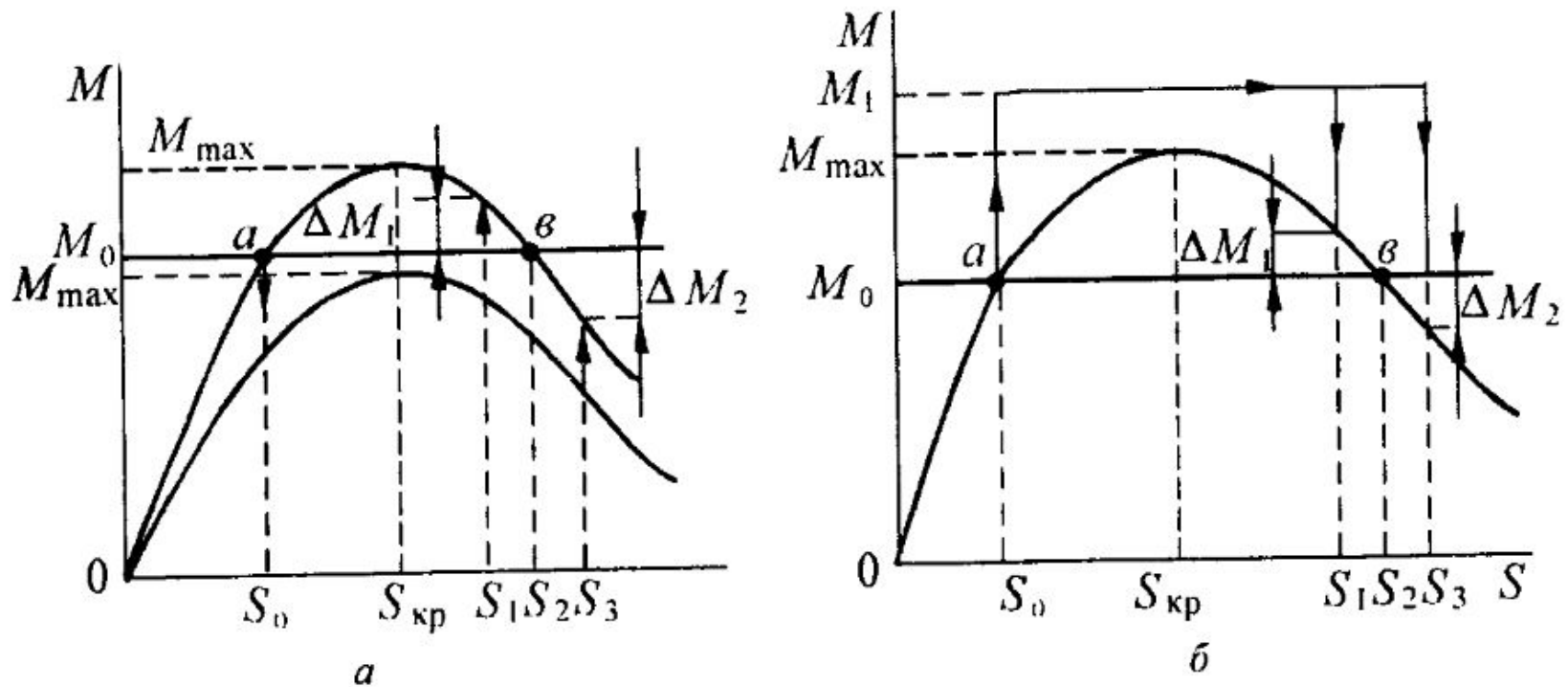
## Динамическая устойчивость асинхронного двигателя

- Снижение напряжения на зажимах двигателя или рост механического момента на его валу вызывает появление избыточного тормозящего момента  $\Delta M$  (рис.15.1). Как при снижении напряжения, так и при увеличении механического момента (если величина механического момента превосходит максимальное значение электромагнитного момента  $M_{мех} > M_{max}$ ) скольжение двигателя будет увеличиваться, и он опрокинется.

## Динамическая устойчивость асинхронного двигателя

- Чтобы этого не произошло, надо своевременно восстановить напряжение или уменьшить механический момент. Если прежнее значение напряжения или момента будет восстановлено при скольжении (рис.15.1), то на вал двигателя будет действовать ускоряющий избыточный момент  $\Delta M_1$  который вернёт двигатель в устойчивый режим работы со скольжением  $S_0$ .

# Динамическая устойчивость асинхронного двигателя



## Динамическая устойчивость асинхронного двигателя

- Если восстановление напряжения или момента произойдёт при скольжении  $s_3$  то избыточный момент  $M_3$  будет иметь тормозной характер и двигатель опрокинется. Для определения зависимости скольжения от времени необходимо решить уравнение движения ротора двигателя.

## Динамическая устойчивость асинхронного двигателя

- При изменении момента на валу двигателя ускорение ротора может найдено путём решения уравнения

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\Delta M}{J} \quad , (15.1)$$

- где  $\Delta M = M_{\partial e} - M_c$  – разность электромагнитного момента двигателя и момента сопротивления приводимого механизма;  $J$  – момент инерции.

## Динамическая устойчивость асинхронного двигателя

- Здесь  $J = J_{\text{дв}} + J_{\text{мех.пр}}$ ,  $J_{\text{дв}}$  – момент инерции двигателя,  $J_{\text{мех.пр}} = J_{\text{мех}} \left( \frac{\omega_{\text{ном.мех}}}{\omega_{\text{ном.дв}}} \right)$  – приведенный момент механизма с учётом разных номинальных скоростей вращения двигателя,  $\omega$  – угловая скорость вращения двигателя, в зависимости от скольжения:

$$\omega = (1 - S) \omega_{1\text{ном}} \quad .(15.2)$$



## Динамическая устойчивость асинхронного двигателя

- Подставив выражение (15.2) в (15.1) и выразив  $\Delta M$  в относительных единицах двигателя, получим

$$\Delta M_{*ном} = -\frac{dS}{dt} \frac{\omega_{1ном}}{M_{ном}} J = -T_j \frac{dS}{dt}, \quad (15.3)$$

- где  $T_j = \frac{J\omega_{1ном}^2}{P_{ном}}$  ( $P_{ном}$  — номинальная мощность двигателя)

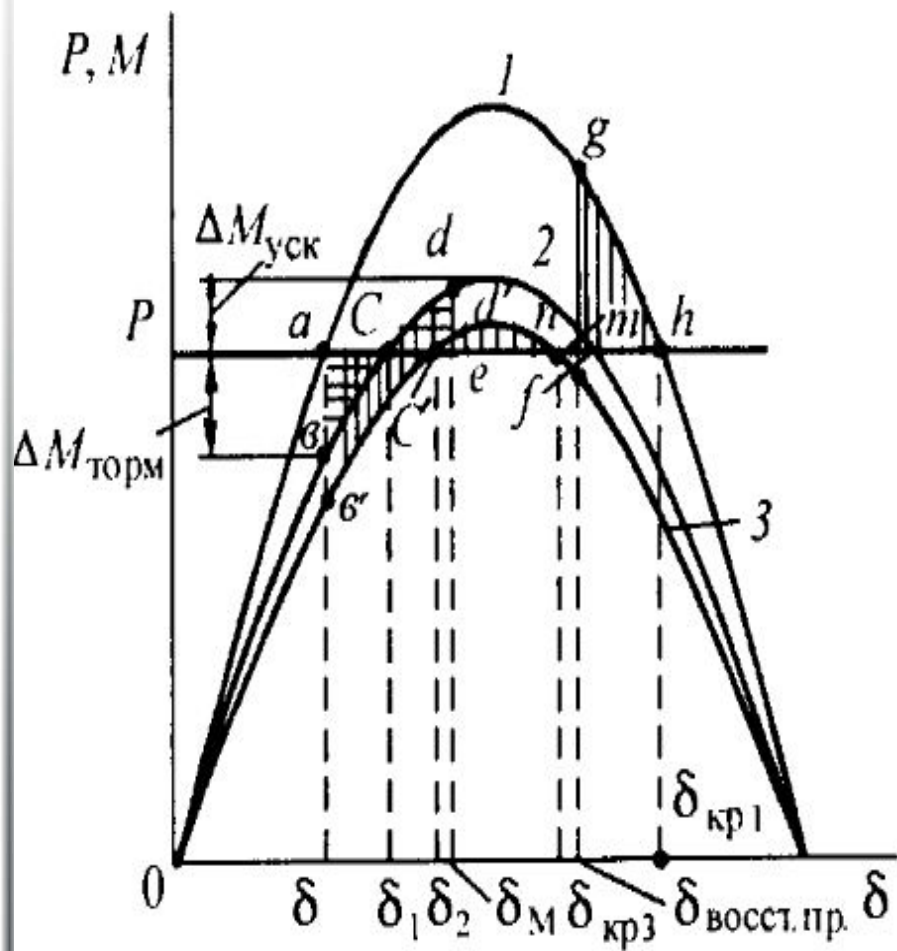
## Динамическая устойчивость асинхронного двигателя

- Уравнение (15.3) описывает движение ротора двигателя при больших возмущениях и называется уравнением движения ротора асинхронного двигателя. Это уравнение нелинейно и, следовательно, не имеет аналитического решения, поэтому может быть решено только с помощью численных методов. В результате решения получается зависимость  $S(t)$ , по которой определяется динамическая устойчивость двигателя.

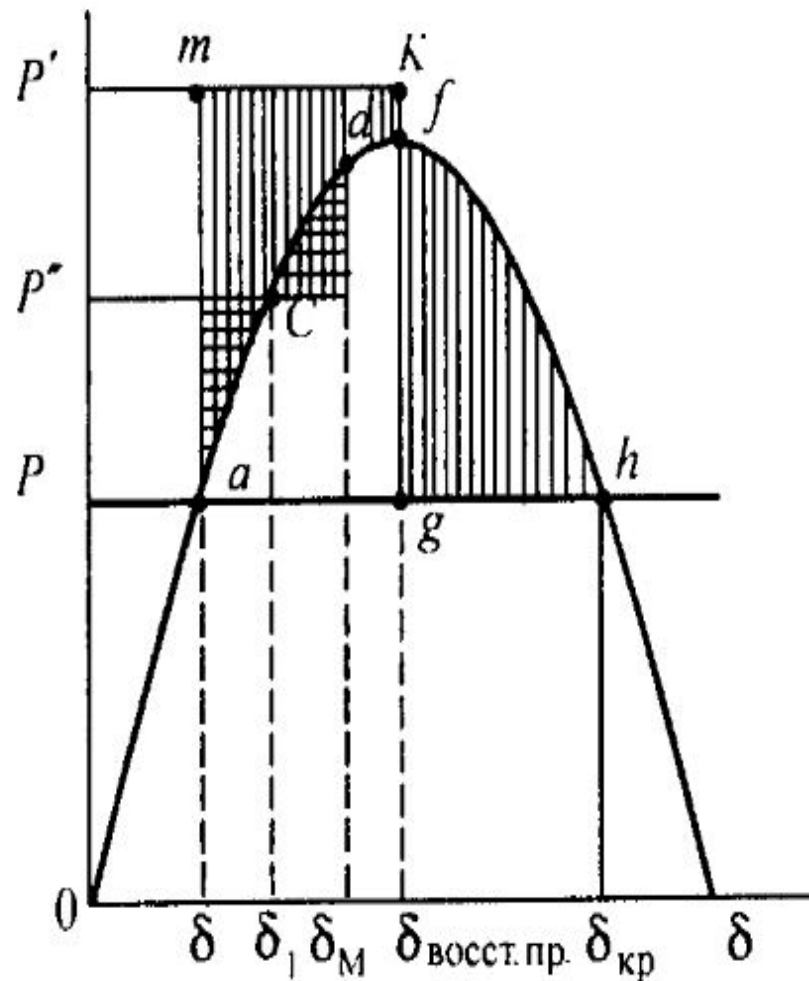
## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- Предположим, что двигатель снабжён АРВ пропорционального типа; при этом он может быть представлен переходными ЭДС  $E'$  и сопротивлением  $X'_d$ . Характеристика мощности двигателя без учёта второй гармоники имеет синусоидальный характер (кривая 1, рис. 15.2, а).

# Динамическая устойчивость синхронного двигателя



а



б

## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- При уменьшении напряжения на зажимах двигателя рабочая точка перемещается на характеристику мощности, соответствующую новому режиму (точка *b* на характеристике 2, рис.15.2, *a*). При этом на валу двигатель – приводимый механизм возникает избыточный тормозной момент  $\Delta M_{\text{торм}}$ , угол  $\delta$  начинает увеличиваться, а тормозной момент уменьшается и становится равным нулю в точке *c*.

## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- Кинетическая энергия, запасённая ротором двигателя при его движении от точки  $b$  к точке  $c$  (величина её пропорциональна площади  $abc$ ), не позволит ротору остановиться в точке нового равновесия  $c$ . Угол  $\delta$  будет увеличиваться до тех пор, пока площадь  $cde$  не станет равной площади  $abc$ . Точка  $d$  соответствует максимальному углу отклонения оси ротора от своего первоначального положения ( $\delta_0$ ).

## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- В точке  $d$  скорость вращения ротора становится равной синхронной, но, поскольку на вал двигателя действует избыточный ускоряющий момент  $\Delta M_{уск}$ , ротор начинает двигаться в сторону точки  $c$ . Около неё возникают затухающие колебания, аналогичные как при внезапном отключении линии (рис.11.1,  $г$ ).

## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- Рассмотренное снижение напряжения (характеристика 2) не нарушает устойчивости двигателя, и он может нормально работать при пониженном напряжении, но с меньшим запасом статической устойчивости. Если характеристика мощности располагается так, что максимальный угол отклонения ротора превышает критическое значение  $\delta_{кр.3}$  (характеристика 3), на валу двигателя возникает избыточный тормозной момент и его устойчивость нарушается. В этом случае для сохранения устойчивости необходимо восстановление напряжения  $U_0$  на зажимах двигателя в какой-либо момент времени, соответствующий углу  $\delta_{восст}$ .



## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- При этом происходит переход рабочей точки на характеристику 1, новая площадь ускорения  $mgh$  будет достаточной для прекращения торможения двигателя и возвращение его в устойчивое рабочее состояние. Предельное значение угла  $\delta_{восст}$ , при котором восстановление прежнего значения напряжения обеспечит сохранение динамической устойчивости, определится из равенства площадей  $F_{ab'c'} + F_{nmf} = F_{c'd'n} + F_{mgh}$ ,

# Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- ИЛИ

$$\int_{\delta_1}^{\delta_2} (P_0 - P_{\max 3} \sin \delta) d\delta + \int_{\delta_{кр.3}}^{\delta_{восст.пр}} (P_0 - P_{\max 3} \sin \delta) d\delta -$$
$$- \int_{\delta_2}^{\delta_{кр.3}} (P_{\max 3} \sin \delta - P_0) d\delta - \int_{\delta_{восст.пр}}^{\delta_{кр.1}} (P_{\max 3} \sin \delta - P_0) d\delta = 0$$

## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- откуда после преобразований получаем

$$\cos \delta_{\text{восст.пр}} = \frac{P_0 (\delta_{\text{кр1}} - \delta_0) - P_{\text{max3}} \cos \delta_0 + P_{\text{max1}} \cos \delta_{\text{кр1}}}{P_{\text{max1}} - P_{\text{max3}}}$$

## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- При увеличении механического момента двигателя до значения  $P'_0$  (рис.15.2, б) на валу возникает избыточный тормозной момент  $\Delta M_{\text{торм}}$ , вызывающий относительное движение ротора в сторону увеличения угла  $\delta$ . После того как угол ротора превысит значение  $\delta_1$ , на валу двигателя появляется избыточный ускоряющий момент. Относительная скорость ротора, максимальная в точке с, становится равной нулю в точке d. Ротор двигателя начинает движение в обратную сторону. В результате затухающих колебаний около точки с двигатель переходит в новый режим работы с углом  $\delta_1$ .

## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- При значительном увеличении механического момента до величины  $P'_0$ , динамическая устойчивость в отличие от предыдущего случая не сохраняется. При любом значении угла  $\delta$  избыточный момент будет иметь тормозной характер и двигатель выпадет из синхронизма. В этом случае сохранение устойчивости возможно, если произойдёт восстановление механического момента до его прежнего значения в точке  $f$ .

## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- На валу двигателя возникает избыточный ускоряющий момент, пропорциональный отрезку  $fg$ . Устойчивость двигателя сохранится, если площадь торможения  $amkf$  будет меньше или, по крайней мере, равна предельно возможной площади ускорения  $fgh$ . В случае равенства этих площадей угол восстановления механического момента является предельным. Его значение может быть найдено из соотношения

$$F_{amkf} - F_{fgh} = 0$$

- или

$$\int_{\delta_0}^{\delta_{\text{восст.пр}}} (P_0'' - P_{\text{max1}} \sin \delta) d\delta - \int_{\delta_{\text{восст.пр}}}^{\delta_{\text{кр}}} (P_{\text{max1}} \sin \delta - P_0) d\delta = 0.$$

## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- Раскрыв интегралы и преобразовав последнее выражение, получим

$$\cos \delta_{\text{восст.нр}} = \frac{P_0'' \delta_0 - P_0 \delta_{\text{кр}} - P_{\text{max}1} (\cos \delta_{\text{кр}} - \cos \delta_0)}{P_0'' - P_0} .$$

Время, в течение которого ротор двигателя достигнет угла  $\delta_{\text{восст.нр}}$ , определяется из зависимости  $\delta(t)$ , которая в свою очередь получается в результате решения уравнения движения ротора.

## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- При возникновении на валу двигателя избыточного момента его относительная скорость  $\Delta\omega$  будет определяться из уравнения

$$\frac{d\delta}{dt} = \Delta\omega = \omega_0 - \omega \quad ,$$

где  $\omega_0$  – синхронная скорость.

- Относительное значение  $\Delta\omega_*$  определяется по формуле

$$\Delta\omega_* = \frac{\Delta\omega}{\omega_0} = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} = 1 - \omega_* = S \quad .$$



## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- Скольжение двигателя представим в виде

$$S = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{\omega_0 - \Delta\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{1}{\omega_0} \frac{d\delta}{dt} \quad .$$

- При появлении избыточного момента ротор получает ускорение, которое может найдено из уравнения

$$\frac{d\omega_*}{dt} = -\frac{dS}{dt} = -\frac{1}{\omega_0} \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\Delta M}{T_j} \quad ,$$

откуда

$$-T_j \frac{d^2\delta}{dt^2} = \Delta P \quad . \quad (15.4)$$

## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- Это уравнение называется уравнением движения ротора синхронного двигателя. Правая часть этого уравнения нелинейна, поэтому уравнение не имеет решения в общем виде и может быть решено только с использованием численных методов (в частности метода последовательных интервалов). Результатом решения является зависимость  $\delta(t)$ . Определив графическим методом предельный угол восстановления  $\delta_{\text{восст.пр}}$  находим соответствующее ему значение предельного времени  $t_{\text{восст.пр}}$ .

## Динамическая устойчивость синхронного двигателя

- Решение уравнения движения ротора двигателя (15.4) позволяет сделать вывод об устойчивости двигателя. Если зависимость  $\delta(t)$  имеет нарастающий характер, то двигатель неустойчив. Если эта зависимость представляет собой затухающие колебания, то двигатель устойчив.

# Пуск двигателей

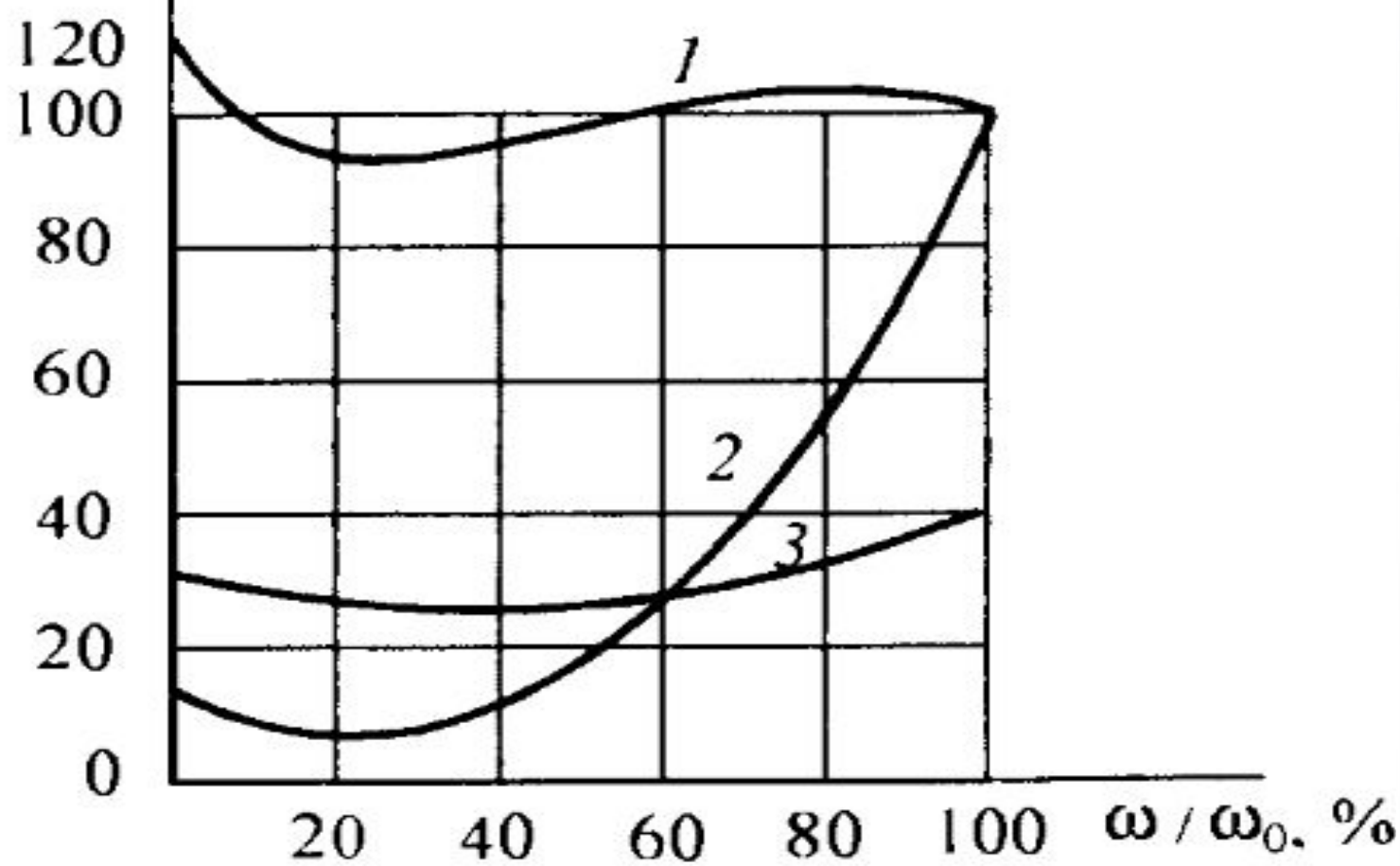
- Пуск двигателя – это процесс перехода двигателя и приводного механизма ( $\omega \rightarrow \omega$ ) в состояние вращения с нормальной скоростью ( $\omega = \omega_d$ ).
- Процессы, протекающие при пуске синхронных и асинхронных двигателей, а также их схемы пуска очень похожи и отличаются лишь тем, что у синхронного двигателя на последней стадии пуска включается возбуждение. Пуск двигателей является нормальным переходным режимом, который рассматривается с точки зрения обеспечения нормальной работы энергосистемы. При этом решаются такие задачи, как расчёт пускового тока двигателей, напряжения на их зажимах при пуске, возможность группового пуска двигателей и т.п.

# Пуск двигателей

- Во время пуска двигатель потребляет значительно большее количество энергии, чем в нормальном режиме, что сопровождается увеличением пускового тока. В асинхронных двигателях с короткозамкнутым ротором кратность пускового тока достигает 5–8 по отношению к номинальному.
- Условия пуска двигателей определяются механическим моментом, который должен быть создан двигателем в начальный момент пуска.

- Механические характеристики некоторых типов приводимых во вращение механизмов представлены на рис.15.3. Выделяют **лёгкие**, **нормальные** и **тяжёлые** условия пуска.
- Если начальный момент вращения двигателя составляет 10–40% от номинального момента, то условия пуска считаются лёгкими.
- Когда начальный момент вращения двигателя составляет 50–75% от номинального момента условия пуска считаются нормальными.

$M/M_{\text{НОМ}}, \%$



- Тяжёлые условия пуска – это такие условия, при которых начальный момент вращения двигателя составляет 100% и более от номинального момента.
- Тяжёлые условия пуска характерны для таких механизмов, как подъёмные краны, дробильные барабаны, насосы с открытой задвижкой и т.п. Для облегчения тяжёлых условий пуска в некоторых приводах применяются специальные механизмы: центробежные, гидравлические, сцепные и другие муфты, с помощью которых двигатель нагружается лишь после того, как достигнет нужной скорости вращения и станет развивать соответствующий этой скорости механический момент.



- Схемы пуска определяются жёсткостью питающей сети. Ниже приведены схемы прямого и реакторного пусков как наиболее распространённые в практике эксплуатации.
- При прямом пуске двигатель включается на полное напряжение сети выключателем. Это наиболее простая схема, применяемая для пуска двигателей малой мощности.

- При **реакторном пуске** двигатель подключается к сети через реактор, который ограничивает пусковой ток двигателя, снижая напряжение на его зажимах. По мере разгона двигателя уменьшается потребляемый им ток, и пусковой реактор шунтируется. Сопротивление реактора вычисляется с помощью выражения

- $$X_p = U_{\text{ном}} \left( \frac{1}{I_{\text{пуск.мин}}} - \frac{1}{I_{\text{пуск.мах}}} \right), \quad (12.5)$$

- где  $I_{\text{пуск.мин}}$  – величина, до которой ограничивается пусковой ток с помощью реактора;  $I_{\text{пуск.мах}}$  – пусковой ток двигателя при номинальном напряжении на его зажимах.

- Напряжение на зажимах двигателя при реакторном пуске

$$U_{\text{дв}} = U_c - \frac{U_c}{X_p + X_{\text{дв}}} X = U_c \left( 1 - \frac{X_p}{X_p + X_{\text{дв}}} \right) = \frac{U_c}{1 + \frac{X_p}{X_{\text{дв}}}} =$$

$$= \frac{U_c}{1 + X_p \left( \frac{I_{\text{пуск. max}}}{U_{\text{ном}}} \right)}, \quad (12.6)$$

- где  $U_c$  – напряжение сети,  $X_{\text{дв}}$  – сопротивление двигателя в момент пуска.

- Пусковой ток при этом

$$I_{\text{пуск}} = \frac{U_c}{X_p + X_M} = \frac{U_c}{X_p + \frac{U_{\text{ном}}}{I_{\text{пуск.мах}}}} \quad .(15.7)$$

- Пусковой момент при реакторном пуске определится из выражения:

$$M_{\text{пуск.р}} = M_{\text{пуск.}(U=U_{\text{ном}})} \left( \frac{U_M}{U_{\text{ном}}} \right)^2 \quad .(15.8)$$

- В выражениях (15.5) – (15.8) предполагается, что двигатель в режиме пуска может быть представлен только реактивным сопротивлением. Это не вносит в расчёт существенной погрешности, так как активное сопротивление двигателя, обратно пропорциональное скольжению, в первый момент пуска (при  $s = 100\%$ ) незначительно.

- Недостатком реакторного пуска является необходимость в дополнительном оборудовании (реакторе и выключателе). Кроме того, увеличивается время пуска двигателя, снижается его пусковой электромагнитный момент. Достоинство реакторного пуска – улучшение режима по напряжению в питающей сети, сниженные требования к оборудованию.

## Пуск синхронных двигателей

- Синхронный двигатель подключается к сети недовозбуждённым. Его обмотка возбуждения закорачивается или подключается к пусковому активному сопротивлению, которое в 5–10 раз превышает активное сопротивление обмотки возбуждения. Пусковой ток определяется из выражения

$$I_{\text{пуск}} \cong \frac{U_{\text{дв}}}{X_d''},$$

- где  $U_{\text{дв}}$  – напряжение на зажимах двигателя;  $X_d''$  – сверхпереходное сопротивление двигателя. Когда скорость вращения ротора становится близкой к синхронной, обмотка возбуждения подключается к источнику напряжения и двигатель втягивается в синхронизм.

- Расчёт режима пуска производится с целью определения времени пуска, допустимости нагрева обмоток, характера изменения напряжения питающей сети. Как для асинхронных двигателей, так и для синхронных расчёт режима пуска производится путём решения уравнения движения ротора. Решая это уравнение одним из численных методов, находят зависимость  $S(t)$ , по которой определяют время пуска (при  $S = S_0$ ). Затем находится зависимость  $U(t)$ , необходимая для расчёта устойчивости рядом работающих двигателей.



## Самозапуск двигателей

- Самозапуск двигателей – это процесс восстановления нормального режима работы двигателя после кратковременного отключения источника питания. Задача самозапуска заключается в том, чтобы не допустить массового отключения электродвигателей. Самозапуск от пуска отличается следующим:
  - одновременно пускается целая группа двигателей;
  - в момент восстановления питания некоторая часть двигателей или все двигатели вращаются с некоторой скоростью;
  - самозапуск проходит под нагрузкой.
-

## Самозапуск двигателей

- По условиям самозапуска приводные механизмы делятся на две группы:
  - механизмы, имеющие постоянный момент сопротивления и при кратковременном прекращении питания быстро теряющие скорость (шаровые мельницы, транспортёры, подъёмные краны и т.п.);
  - механизмы, имеющие вентиляторные характеристики момента (центробежные насосы, вентиляторы, дымососы, центрифуги);

## Самозапуск двигателей

- Для обеспечения успешного самозапуска определяют суммарную мощность электродвигателей, которые могут быть запущены после перерыва питания. В соответствии с полученной величиной выделяются те двигатели, отключение которых недопустимо по условиям технологического процесса или правилам техники безопасности. Суммарная неотключаемая мощность электродвигателей определяется при условии, что остаточное напряжение в режиме самозапуска обеспечивает вращающий момент, превышающий момент механизма.

## Самозапуск двигателей

Расчёт самозапуска предполагает решение нескольких задач.

1. Рассчитывается момент вращения двигателей при пониженном напряжении и проверяется, превышают ли они моменты механизмов.

2. Рассчитывается температура дополнительного нагрева двигателей из-за увеличения времени разгона.

Скольжение двигателей к моменту самозапуска может быть определено численным интегрированием уравнения движения ротора двигателя.

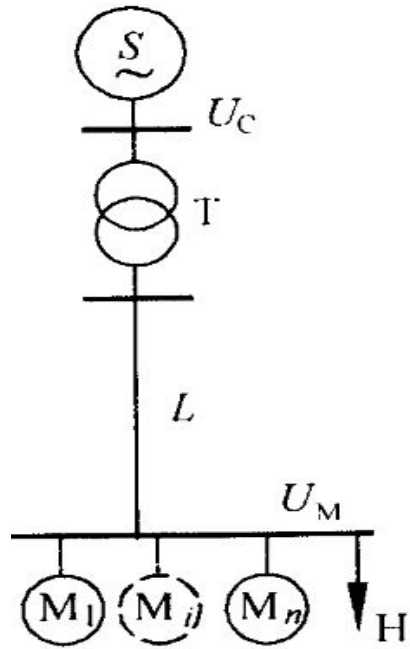
## Самозапуск двигателей

- Напряжение на зажимах двигателей при самозапуске

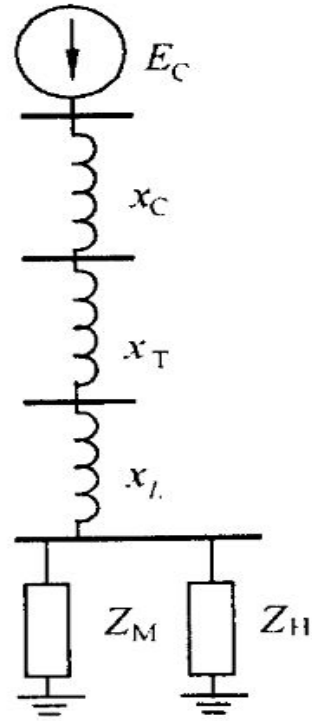
$$U_M = \frac{E_c}{Z_{\text{экв}} + X_{\text{вн}}} \quad , \quad (15.9)$$

- где  $Z_{\text{экв}} = Z_{\text{дв}\Sigma} // Z_H$  ,  $X_{\text{вн}} = X_c + X_T + X_L$  – внешнее сопротивление.
- Здесь  $Z_{\text{дв}\Sigma}$  – эквивалентное сопротивление всех подключённых двигателей.

# Самозапуск двигателей



*a*



*б*

## Самозапуск двигателей

- Сопротивление двигателя в момент самозапуска:

$$Z_{дв} = \frac{U_{ном}^2}{S_{сз}}, \quad (15.10)$$

- где  $S_{сз}$  – суммарная мощность двигателей, самозапуск которых будет успешным;  $U_{ном}$  – номинальное напряжение двигателей.
- Подставив выражение (15.10) в (15.9), найдём мощность  $S_{сз}$  :

$$S_{сз} = \frac{U_{ном}^2}{Z_H X_{вн}} \left[ \frac{E_c}{U_M} Z_H - (Z_H + X_{вн}) \right]. \quad (15.11)$$

## Самозапуск двигателей

- Мощность самозапуска связана с номинальной мощностью выражением (при КПД двигателей, равным 1):

- $$S_{сз} = S_{НОМ} K_s \quad , \quad (15.12)$$

- Здесь

$$K_s = \sqrt{\frac{1 - S_{кр}^2}{1 + \left(\frac{S_{кр}}{S_{сз}}\right)^2}} K \quad ,$$

- где  $K$  – кратность пускового тока.



## Самозапуск двигателей

- Подставив (15.12) в (15.11), получим выражение для мощности двигателей, которые можно не отключать при самозапуске:

$$S_{\text{неоткл}} = \frac{U_{\text{ном}}^2}{Z X_{\text{вн}} K_s} \left[ \frac{E}{U} Z - (Z + X_{\text{вн}}) \right] .$$

# Самозапуск двигателей

- Минимальное допустимое напряжение на зажимах двигателей по условию возможности осуществления самозапуска для механизмов с постоянным моментом сопротивления определяется в соответствии с выражением

$$U_{\min} \geq \sqrt{\frac{1,1M_{\text{мех}}}{M_{\min}}} \quad ;$$

- для механизмов с характеристиками вентиляторного типа

$$U_{\min} \geq \sqrt{\frac{1,1M_{\text{мех}}}{M_{\max}}} \quad ,$$

- где  $M_{\min}$  – минимальный момент вращения, который принимают равным пусковому;  $M_{\max}$  – максимальный момент вращения двигателя.

## Самозапуск двигателей

Задачи расчёта самозапуска:

- проверка влияния самозапуска на режим работы потребителей, находящихся в электрической близости;
- расчёт остаточного напряжения на зажимах двигателей;
- расчёт момента двигателя;
- определение времени пуска и перегрева двигателя.

## Самозапуск двигателей

Во время перерыва питания напряжение на зажимах двигателя определяется его ЭДС, которая уменьшается по мере выбега. При уменьшении скорости вращения ротора на 20% напряжение двигателя с форсировкой не превышает номинального, а без форсировки снижается до 60–70 % номинального.

# Самозапуск двигателей

Допустимое напряжение на шинах нагрузки во время самозапуска определяется следующими требованиями:

1. При совместном питании двигателей и освещения:

- при частых и длительных пусках (  $U \geq 0,9$  );
- при редких и кратковременных пусках и самозапусках

(  $U \geq 0,8 - 0,85$  ).

2. При раздельном питании двигателей и освещения

(  $U \geq 0,7 - 0,8$  ).

3. При люминесцентном освещении (  $U \geq 0,9$  ).

4. При питании двигателей через блок-трансформаторы напряжение ограничивается минимальной величиной электромагнитного момента.

## Автоматическое повторное включение и автоматическое включение резервного питания

- Короткие замыкания, возникающие в различных точках электрической системы, могут быть преходящими, т.е. самоликвидироваться через некоторый небольшой промежуток времени. В этом случае эффективно применение **автоматического повторного включения** (АПВ) того элемента, который отключился при КЗ. АПВ называют **трёхфазным**, если отключаются и вновь включаются все три фазы повреждённого элемента, или **однофазным** (пофазным) (ОАПВ), если отключается только одна или две повреждённые фазы. АПВ считается успешным, если за время отключения короткое замыкание самоустраняется и после повторного включения может восстановиться нормальная работа, и неуспешным, если повторное включение производится на продолжающееся КЗ.

## **Автоматическое повторное включение и автоматическое включение резервного питания**

- Интервал времени между моментом отключения КЗ и повторным включением называется паузой АПВ. В течение паузы происходит деионизация среды в месте КЗ и выключатель возвращается в исходное состояние. В системах электроснабжения (сети до 110 кВ) пауза АПВ принимается в пределах 0,3...0,5 с. При определении этих значений учитывалось, что время деионизации в сетях 6...35 кВ, например, составляет 0,07...0,09 с, а собственное время включения выключателя имеет порядок 0,25...0,3 с.

## **Автоматическое повторное включение и автоматическое включение резервного питания**

- АПВ на воздушных линиях позволяет восстановить нормальную работу в 60...90 % всех аварийных отключений. При установке систем АПВ на трансформаторах важно предусмотреть блокировку, запрещающую работу АПВ, если отключение произошло от действия защиты, реагирующей на внутренние повреждения трансформатора. Для ответственных двигателей после их аварийного отключения предусматривается АПВ, обеспечивающее их самозапуск.



## **Автоматическое повторное включение и автоматическое включение резервного питания**

- Автоматическое включение резервного питания (АВР) является эффективным способом повышения надёжности электроснабжения.
- Устройства АВР вначале разрабатывались для собственных нужд электростанций, но затем их стали широко применять в системах электроснабжения.
- Схема включения нагрузки с использованием АВР представлена на рис.15.5. В нормальном режиме левая и правая нагрузки и эквивалентные двигатели питаются отдельно.

# Автоматическое повторное включение и автоматическое включение резервного питания

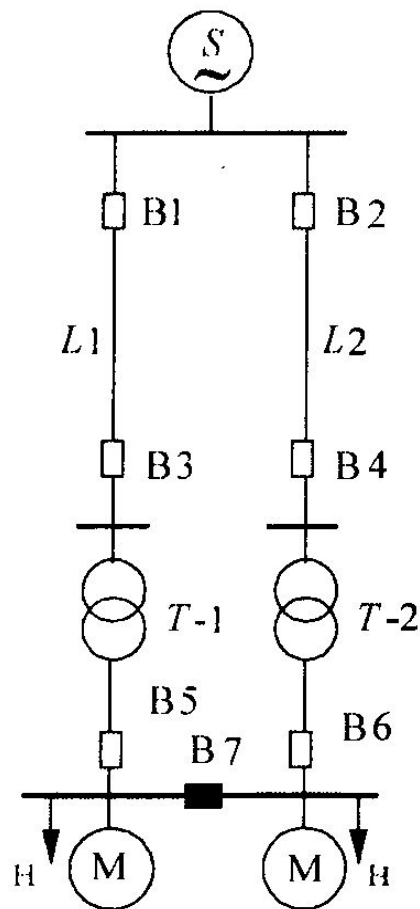


Схема питания с устройством АВР

## **Автоматическое повторное включение и автоматическое включение резервного питания**

- В случае повреждения и отключению какого-нибудь элемента схемы (линии или трансформатора) АВР производится с помощью выключателя В7, который в нормальном состоянии отключён. Действие системы АВР осуществляется при исчезновении напряжения на резервируемом элементе.
- Время действия зависит от схемы электроснабжения, условий самозапуска электродвигателей и времени срабатывания релейной защиты на отходящих линиях. Устройства АВР не должны работать при КЗ на отходящих линиях резервируемого участка. Это обеспечивается дополнительной выдержкой времени или блокировкой.