

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПОНИЖЕННОМ НАПРЯЖЕНИИ ПИТАНИЯ

Петров А.В., Попов В.А., Ситников Е.А.

Задача определения энергетических показателей асинхронного электропривода неразрывно связана с необходимостью оценки скольжения в нормальных и аномальных режимах питания при различных видах механических характеристик рабочих машин [1, 2].

Скольжение в установившемся режиме работы соответствует точке пересечения механических характеристик асинхронного двигателя и рабочей машины [5]. Из рисунка 1 видно, что для различных видов механических характеристик рабочих машин степень изменения скольжения, при напряжении питания отличном по величине от номинального, будет различной. Различные типы механических характеристик рабочих машин (кривые 1 и 2 на рисунке 1) пересекаясь с характеристикой двигателя при  $U_1=U_H$  (кривая 3), определяют одинаковое скольжение  $s_1$ , а, пересекаясь с характеристикой двигателя при  $U_1<U_H$  (кривая 4), определяют рабочие точки с различными значениями скольжения  $s_2$  и  $s_3$ .

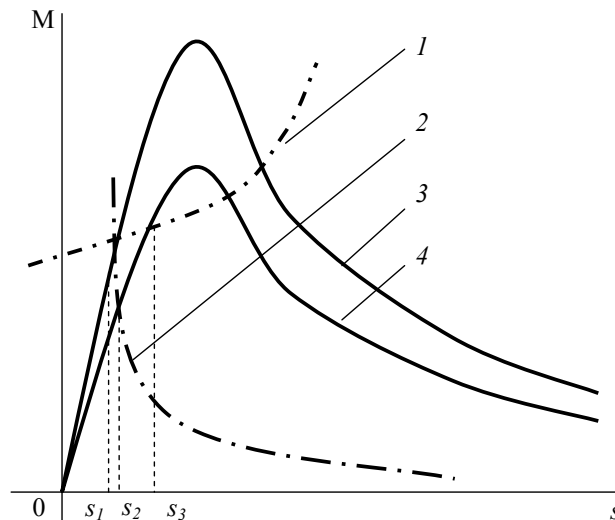


Рисунок 1 – Механические характеристики рабочих машин (1 и 2) и двигателя (3 и 4)

Для того чтобы найти величину скольжения для рабочего участка (скольжение меньше критического) механической характеристики двигателя воспользуемся формулой Клосса и уравнением механической характеристики рабочей машины. Поскольку величина вращающего момента асинхронного двигателя пропорциональна квадрату приложенного напряжения ( $M_1 \propto U_1^2$ ), упрощенная формула Клосса в общем виде будет выглядеть следующим образом [2, 5]:

$$M_{дв} = \frac{2M_{max} \cdot s_{кр} \cdot s}{s_{кр}^2 + s^2} \cdot \left( \frac{U_1}{U_H} \right)^2, \quad (1)$$

где  $M_{max}$  и  $s_{кр}$  – максимальный момент и критическое скольжение двигателя (по каталогу).

Механическая характеристика рабочей машины [5]:

$$M_{рм} = M_{с0} + (M_{с.ном} - M_{с0}) \left( \frac{\omega}{\omega_{ном}} \right)^\alpha, \quad (2)$$

где  $M_{с0}$  и  $M_{с.ном}$  – соответственно пусковой и номинальный моменты рабочей машины;  $\omega$  и  $\omega_{ном}$  – текущее и номинальное значения частоты вращения приводного вала рабочей машины;  $\alpha$  – показатель степени, характеризующий тип механической характеристики рабочей машины.

Поскольку в выражении (1) частота вращения двигателя выражена посредством скольжения, представляется целесообразной замена в выражении (2)  $\omega$  и  $\omega_{ном}$  на скольжение. Для этого воспользуемся следующей формулой:

$$\omega = \omega_0(1 - s),$$

где  $\omega_0$  – синхронная частота вращения поля статора.

В результате выражение (2) приобретает вид:

$$M_{рм} = M_{с0} + (M_{с.ном} - M_{с0}) \left( \frac{1-s}{1-s_{ном.рм}} \right)^{\alpha}, \quad (3)$$

где  $s_{ном.рм}$  – скольжение двигателя соответствующее номинальной частоте вращения вала рабочей машины.

Приравняем выражения (1) и (3):

$$\frac{2M_{max} \cdot s_{кр} \cdot s}{s_{кр}^2 + s^2} \cdot \left( \frac{U_{11}}{U_H} \right)^2 - M_{с0} - (M_{с.ном} - M_{с0}) \left( \frac{1-s}{1-s_{ном.рм}} \right)^{\alpha} = 0. \quad (4)$$

Решение полученного уравнения относительно скольжения  $s$ , даст значение скольжения в рабочей точке необходимое для расчета токов потребляемых двигателем и потерь в нем. Наиболее подходящим способом решения данного уравнения, на наш взгляд, является решение его численными методами, а именно методом хорд и касательных или методом итераций [3].

Искомый корень уравнения (4) будем искать на интервале  $s \in (0; s_{кр})$ , поскольку режимы, рабочая точка которых определяет скольжение превышающее критическое значение, соответствуют аварийным режимам и требуют немедленного отключения двигателя. При возникновении ситуации, когда механические характеристики рабочей машины и двигателя не имеют общей точки в пределах первого (двигательного) квадранта характеристики, режим соответствует короткому замыканию двигателя и требует отключения двигателя от питающей сети.

Очевидно, что искомое значение скольжения будет соответствовать точке пересечения оси скольжения функцией  $M=f(s)$  вида:

$$M = \frac{2M_{max} \cdot s_{кр} \cdot s}{s_{кр}^2 + s^2} \cdot \left( \frac{U_{11}}{U_H} \right)^2 - M_{с0} - (M_{с.ном} - M_{с0}) \left( \frac{1-s}{1-s_{ном.рм}} \right)^{\alpha}. \quad (5)$$

Анализируя зависимость (5), видно, что при  $s_{ном.рм} < s_{кр}$  и  $M_{с.ном} < (U_{11}/U_H)^2 \cdot M_{max}$ , функция  $M=f(s)$  на концах промежутка изоляции  $s \in (0; s_{кр})$  имеет противоположные знаки и следовательно в рассматриваемом промежутке существует, как минимум, один корень уравнения (4). Как правило, большинство видов рабочих машин могут иметь одну рабочую точку в докритических режимах работы асинхронного двигателя. Исключение могут составить рабочие машины, имеющие механическую характеристику с показателем степени  $\alpha=1$ .

Нахождение корня уравнения (5) необходимо проводить, приближаясь к нему посредством хорд со стороны точки  $s=s_{кр}$ , а касательные проводить со стороны точки  $s=0$ .

Рассмотренный метод дает сразу избыточное (приближение посредством хорд) и недостаточное (приближение посредством касательных) искомое значение  $s$ , что позволяет непосредственно оценивать степень точности в процессе расчетов.

#### Литература:

1. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М.: Энергия, 1977.
2. Вольдек А.И. Электрические машины. Л.: Энергия, 1977
3. Калиткин Н.Н. Численные методы. М.: Наука, 1978.
4. Карташев И.И. Качество электроэнергии в системах электроснабжения. Способы его контроля и обеспечения / Под ред. М.А. Калугиной. М.: МЭИ, 2000.
5. Кобозев В.А. Основы энергосбережения в асинхронном электроприводе. Ставрополь, 1999.