

**Тема: Електромагнітний момент  
і механічні характеристики.  
Механічні характеристики  
асинхронного двигуна при  
змінні напруги мережі і  
активного опору обмотки  
ротора.**

# План

1. Електромагнітний момент і механічні характеристики.
2. Механічні характеристики асинхронного двигуна при змінній напруги мережі і активного опору обмотки ротора.

Электромагнитный момент асинхронного двигателя создается взаимодействием тока в обмотке ротора с вращающимся магнитным полем. Электромагнитный момент  $M$  пропорционален электромагнитной мощности:

$$M = P_{\text{эм}} / \omega_1 \quad (1)$$

где

$$\omega_1 = 2 \pi n_1 / 60 = 2 \pi f_1 \quad (2)$$

- угловая синхронная скорость вращения.

Подставив в (1) значение электромагнитной мощности по, получим

$$M = P_{\text{э2}} / (\omega_1 s) = m_1 I'^2_2 r'_2 / (\omega_1 s) \quad (3)$$

т. е. электромагнитный момент асинхронного двигателя пропорционален мощности электрических потерь в обмотке ротора.

Если значение тока ротора по выражению подставить в (3), то получим формулу электромагнитного момента асинхронной машины (Н м):

$$M = \frac{m_1 U_1^2 r_2' p}{2\pi f s [(r_1 + r_2'/s)^2 + (x_1 + x_2')^2]} \quad (4)$$

Рассмотрим зависимость момента от скольжения  $M = f(s)$  при  $U_1 = \text{const}, f_1 = \text{const}$  и постоянных параметрах схемы замещения.

Эту зависимость принято называть механической характеристикой асинхронной машины. Анализ выражения (4), представляющего собой аналитическое выражение механической характеристики  $M = f(s)$ , показывает, что при значениях скольжения  $s = 0$  и  $s = \infty$  электромагнитный момент  $M = 0$ . Из этого следует, что механическая характеристика  $M = f(s)$  имеет максимум.

Для определения величины  
критического скольжения  $s_{кр}$   
соответствующего  
максимальному моменту,  
необходимо взять первую  
производную от (4) и  
приравнять ее нулю:  $dM / ds = 0$ .

В результате

$$s_{кр} = \pm r'_2 / \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x'_2)^2} \quad (5)$$

Подставив значение  
критического скольжения (по 5)  
в выражение  
электромагнитного момента  
(4), после ряда  
преобразований получим  
выражение максимального  
момента (Н м):

$$M_{max} = \pm \frac{m_1 U_1^2 p}{4\pi f [\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2')^2}]}$$



Для асинхронных машин общего назначения активное сопротивление обмотки статора  $r_1$  намного меньше суммы индуктивных сопротивлений:  $r_1 \ll (x_1 + x'_2)$ . Поэтому, пренебрегая величиной  $r_1$ , получим упрощенные выражения критического скольжения

$$\underline{S_{кр}} \approx \pm r'_2 / (x_1 + x'_2) \quad (7)$$

и максимального момента (Н м)  
(8)

$$\underline{M_{max}} = \pm \frac{n_h U_1^2 p}{4\pi f_1 (x_1 + x'_2)_1}$$



Рис. 13.2. Зависимость режимов работы асинхронной машины от скольжения

Из  $M = \frac{m_1 U_1^2 r_2' p}{2\pi f s [(r_1 + r_2' / s)^2 + (x_1 + x_2')^2]}$  следует, что электромагнитный момент асинхронного двигателя пропорционален квадрату напряжения сети:  $M \equiv U_1^2$ . Это в значительной степени отражается на эксплуатационных свойствах двигателя: даже небольшое снижение напряжения сети вызывает заметное уменьшение вращающего момента асинхронного двигателя. Например, при уменьшении напряжения на 10% относительно номинального ( $U_1 = 0,9 U_{\text{ном}}$ ) электромагнитный момент двигателя уменьшается на 19% :  $M' = 0,9^2 M$ , где  $M$  — момент при номинальном напряжении сети, а  $M'$  — момент при пониженном напряжении.

Подставив в (4) скольжение  $s = 1$ , получим выражение  
пускового момента  
асинхронного двигателя (Н м):

$$M_{\text{п}} = \frac{m_1 U_1^2 r_2' p}{4\pi f_1 [(x_1 + x_2')^2 + (r_1 + r_2')^2]} \quad (9)$$

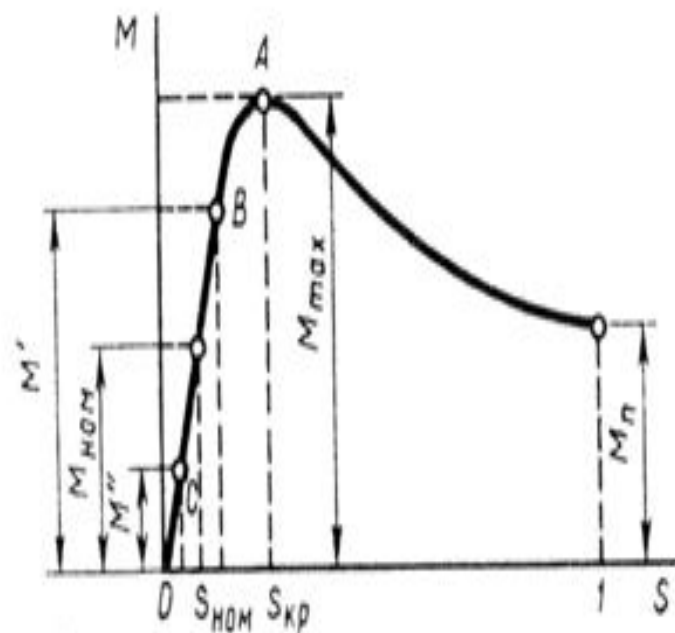


Рис 13.3. Зависимость электромагнитного момента асинхронного двигателя от скольжения

Под действием этого момента начинается вращение ротора двигателя, при этом скольжение уменьшается, а вращающий момент возрастает в соответствии с характеристикой  $M = f(s)$ . При критическом скольжении  $s_{кр}$  момент достигает максимального значения  $M_{max}$ . С дальнейшим нарастанием частоты вращения (уменьшением скольжения) момент  $M$  начинает убывать, пока не достигнет установившегося значения, равного сумме противодействующих моментов, приложенных к ротору двигателя: момента х.х.  $M_0$  и полезного нагрузочного момента (момента на валу двигателя)  $M_2$ , т. е.

$$M = M_0 + M_2 = M_{ст} \quad (10)$$

Работа асинхронного двигателя становится неустойчивой при скольжениях  $s \geq s_{кр}$ . Так, если электромагнитный момент двигателя  $M = M_{max}$ , а скольжение  $s = s_{кр}$ , то даже незначительное увеличение нагрузочного момента  $M_2$ , вызвав увеличение скольжения  $s$ , приведет к уменьшению электромагнитного момента  $M$ . За этим следует дальнейшее увеличение скольжения и т. д., пока скольжение не достигнет значения  $s = 1$ , т. е. пока ротор двигателя не остановится.

Таким образом, при достижении электромагнитным моментом максимального значения наступает предел устойчивой работы асинхронного двигателя. Следовательно, для устойчивой работы двигателя необходимо, чтобы сумма нагрузочных моментов действующих на ротор, была меньше максимального момента

$$M_{\text{ст}} = (M_0 + M_2) < M_{\text{max}}.$$



Но чтобы работа асинхронного двигателя  
была надежной и чтобы случайные  
кратковременные нагрузки не вызывали  
остановок двигателя, необходимо, чтобы он  
обладал перегрузочной способностью.  
Перегрузочная способность двигателя  $\lambda$   
определяется отношением максимального  
момента  $M_{\max}$  к номинальному  $M_{\text{ном}}$ . Для  
асинхронных двигателей общего назначения  
перегрузочная способность составляет

$$\lambda = M_{\max} / M_{\text{ном}} = 1,7 \div 2,5.$$

Из (4), (6) и (9) видно, что электромагнитный момент асинхронного двигателя, а также его максимальное и пусковое значения пропорциональны квадрату напряжения, подводимого к обмотке статора:  $M \equiv U_1^2$ . В то же время анализ выражения (5) показывает, что значение критического скольжения не зависит от напряжения  $U_1$ .

Это дает нам возможность построить механические характеристики  $M = f(s)$  для разных значений напряжений  $U_1$ , из которых следует, что колебания напряжения сети  $U_1$  относительно его номинального значения  $U_{1\text{ном}}$ , сопровождаются не только изменениями максимального и пускового моментов, но и изменениями частоты вращения ротора. С уменьшением напряжения сети частота вращения ротора снижается (скольжение увеличивается).

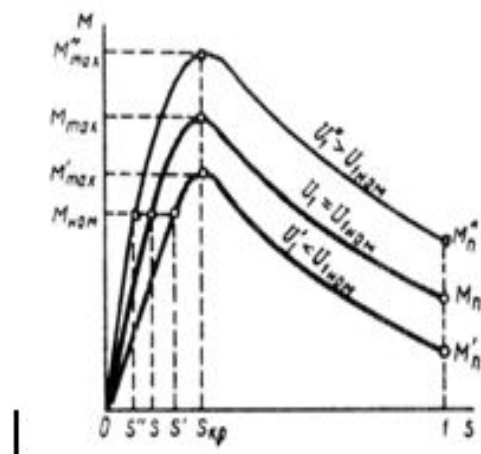


Рис. 13.5. Влияние напряжения на вид механической характеристики асинхронного двигателя

Как следует из (6), значение максимального момента двигателя не зависит от активного сопротивления ротора  $r_2'$ .

Что же касается критического скольжения  $s_{кр}$ , то, как это видно из (5) оно пропорционально сопротивлению  $r_2'$ . Таким образом, если и асинхронном двигателе постепенно увеличивать активное сопротивление цепи ротора, то значение максимального момента будет оставаться неизменным, а критическое скольжение будет увеличиваться.

При этом пусковой момент двигателя  $M_{п}$  возрастает с увеличением сопротивления  $r_2'$  до некоторого значения. На рисунке это соответствует сопротивлению  $r_{2'ш}$ , при котором пусковой момент равен максимальному. При дальнейшем увеличении сопротивления  $r_2'$  пусковой момент уменьшается.

Анализ графиков  $M = f(s)$  , также показывает, что изменения сопротивления ротора  $r_2'$  сопровождаются изменениями частоты вращения: с увеличением  $r_2'$  при неизменном нагрузочном моменте  $M_{ст}$  скольжение увеличивается, т.е. частота вращения уменьшается (точки 1, 2, 3 и 4).

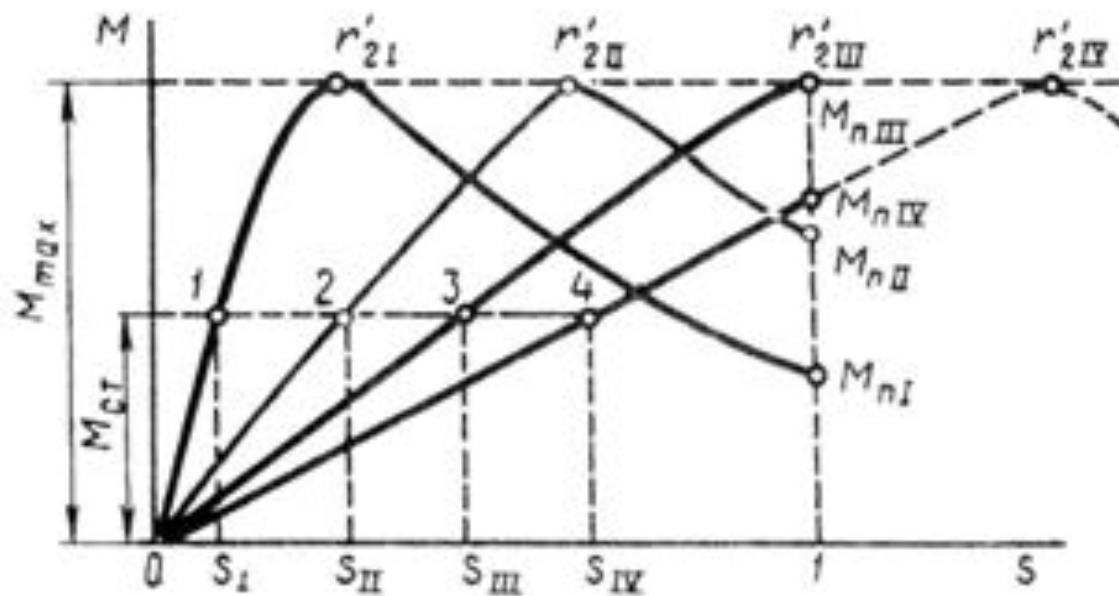


Рис. 13.6. Влияние активного сопротивления обмотки ротора на механическую характеристику асинхронного двигателя

Рассмотренные зависимости  $M = f(U_1)$  и  $M = f(r_2')$  имеют также большое практическое значение при рассмотрении вопросов пуска и регулирования частоты вращения асинхронных двигателей