



СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

**Кафедра «ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ И
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ»**

Дисциплина:

«Автоматизированный электрический привод»

Лекция № 9:

РЕГУЛИРОВАНИЕ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Доцент кафедры к. т. н.

ГОРПИНЧЕНКО Александр Владимирович

- 1) Регулирование скорости вращения АД изменением числа пар полюсов.
- 2) Регулирование скорости вращения АД изменением частоты питающего напряжения.
- 3) Регулирование скорости вращения АД изменением подводимого к двигателю напряжения.

ЛИТЕРАТУРА

М.Г.Чиликин, А.С.Сандлер
«Общий курс электропривода», стр. 156...184.

Из уравнения механической характеристики АД

$$M = \frac{3U_1^2 R'_2}{\Omega_0 s \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s} \right)^2 + (x_1 + x'_2)^2 \right]} \quad (1)$$

и выражения $\Omega = \frac{2\pi f_1}{p} (1-s)$ следует, что скорость АД является

функцией многих величин: $\Omega = f(p, f_1, U_1, R_1, R'_2, x_1, x'_2)$, и может быть изменена в результате большого числа способов регулирования.

Основные способы регулирования:

- 1) способ регулирования скорости вращения изменением числа пар полюсов обмотки статора электродвигателя p ;
- 2) способ регулирования скорости вращения изменением частоты питающего АД напряжения f_1 ;
- 3) способ регулирования скорости вращения изменением подводимого напряжения U_1 .

1. Регулирование скорости вращения асинхронного двигателя изменением числа пар полюсов p .

Механические характеристики АД с различным числом пар полюсов имеют вид, как показано на рис. 1.

$$\Omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}; \text{ т.е. } \Omega_0 \equiv \frac{1}{p} \text{ и } M_k = \frac{3U_1^2}{2\Omega_0 \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (x_1 + x_2')^2} \right]}; \text{ т.е. } M_k \equiv p. \quad (2)$$

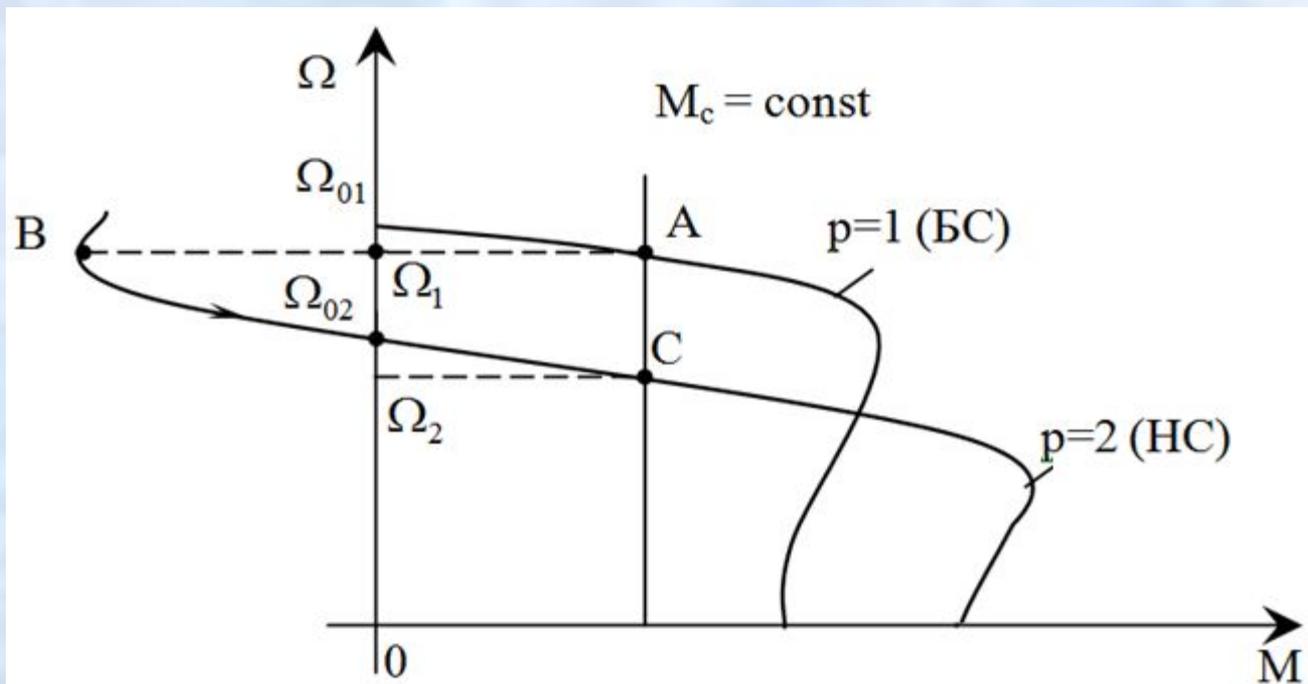


Рисунок 1

На статоре АД в одни и те же пазы укладываются 2-е обмотки, имеющие разное число пар полюсов.

Переключением АД с одной обмотки на другую и осуществляется регулирование скорости Ω .

Показатели регулирования:

- 1) Диапазон регулирования достигает (6:1)...(8:1) и даже до 12:1
- 2) Плавность регулирования – низкая (ступенчатое регулирование скорости Ω).
- 3) Направление регулирования скорости Ω – возможно регулирование вверх и вниз от скорости при каком-то промежуточном p (для 3-х скоростных АД).
- 4) Стабильность работы на заданной скорости достаточно высокая (т.к. АД работает на ЕМХ, имеющей большую жесткость).
- 5) Экономичность регулирования – высокая, т.к. потери на регулировании почти отсутствуют.

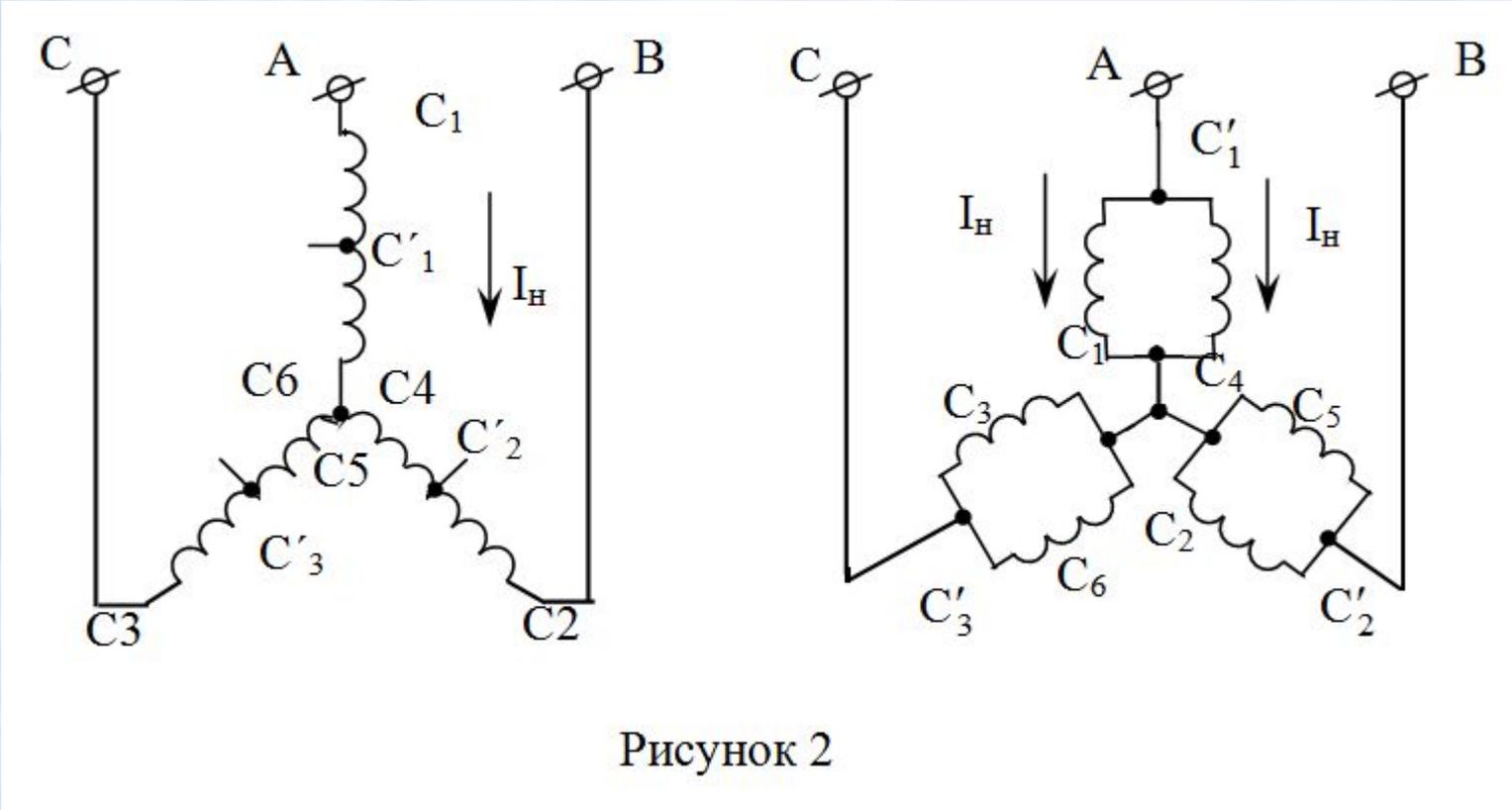


Рисунок 2

Хорошо известно и широко применяется соединение обмотки статора в «звезду» - Y ($p = 2$) и «двойную звезду» – YY ($p = 1$). Такая обмотка называется полюсопереключаемой обмоткой.

2. Регулирование скорости вращения асинхронного двигателя изменением частоты питающего напряжения.

Из выражения $\Omega_0 = \frac{2\pi f_1}{p}$ следует, что регулирование скорости двигателя обеспечивается изменением f_1 без значительного изменения скольжения.

В качестве преобразователей частоты могут быть использованы:

- 1) преобразователи с синхронным генератором, приводимым в движение регулируемым ЭД (например постоянного тока);
- 2) одноякорные преобразователи частоты – (СГ и ЭД постоянного тока);
- 3) асинхронные преобразователи частоты – (АД с фазным ротором, статор питается от сети $f_1 = \text{const}$, а ротор вращается с переменной скоростью от ЭД постоянного тока).
- 4) статические (вентильные) преобразователи частоты.

При регулировании скорости вращения АД изменением частоты

f_1 изменяется и значение максимального момента $M_K \equiv \frac{1}{f_1}$,

а значит изменяется перегрузочная способность двигателя в процессе регулирования (при $\Omega \uparrow$ она падает), что может не обеспечить устойчивую работу привода в диапазоне регулирования.

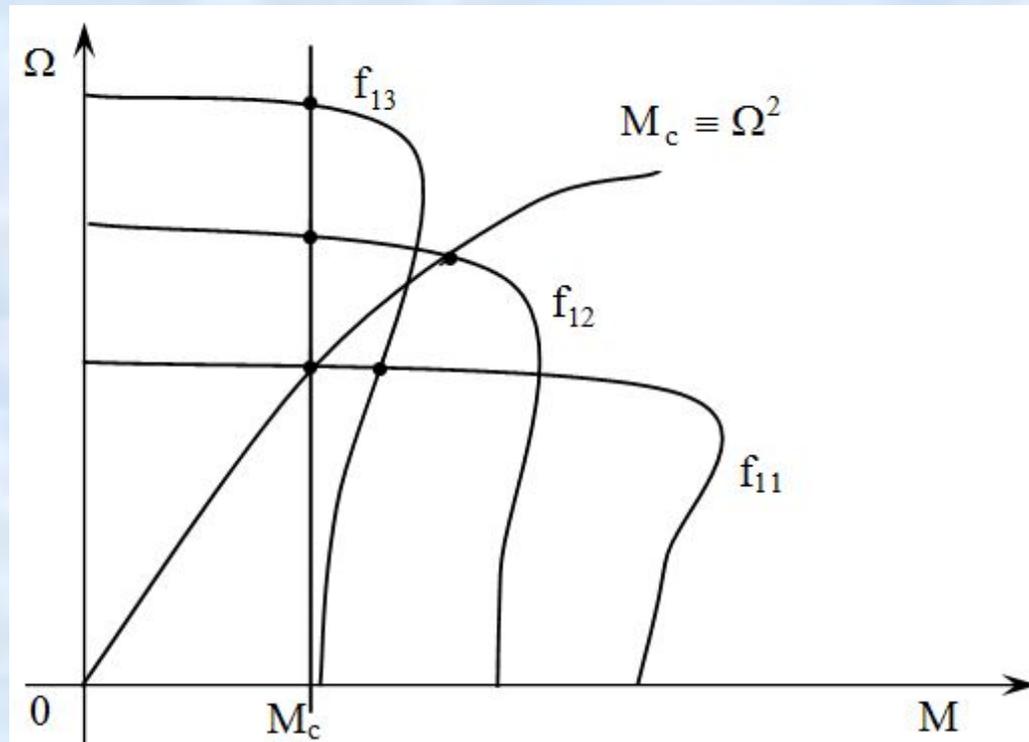


Рис. 3 Механические характеристики АД при $f_1 = \text{var}$ $f_{11} < f_{12} <$

Перегрузочная способность $k_M = \frac{M_K}{M_c}$ будет неизменной,
 если отношение $\frac{M_{ki}}{M_{ci}} = \frac{M_{KH}}{M_{CH}} = \text{const}$

во всех режимах $\frac{M_{ki}}{M_{KH}} = \frac{M_{ci}}{M_{CH}}$ (3)

$$\frac{M_{ki}}{M_{KH}} = \frac{M_{ci}}{M_{CH}} = \frac{U_{1i}^2}{f_{1i}^2} \cdot \frac{U_{1H}^2}{f_{1H}^2} = \left(\frac{U_{1i}}{U_{1H}} \right)^2 \cdot \left(\frac{f_{1H}}{f_{1i}} \right)^2 ,$$

где, $M_K \equiv \frac{U_1^2}{f_i f_1}$ (пренебрегаем R_1 , т.к. $x_K \gg R_1$),

откуда $\frac{U_{1i}}{U_{1H}} = \frac{f_{1i}}{f_{1H}} \sqrt{\frac{M_{ci}}{M_{CH}}}$, (4)

где: M_{ci} , M_{CH} - статические моменты при скоростях,
 соответствующих частотам f_{1i} и f_{1H} ;

U_{1i} , U_{1H} - напряжения при тех же частотах.

Рассмотрим характер регулирования напряжения для наиболее распространённых законов изменения нагрузки.

1. $M_c = \text{const}$, тогда из (4)

$$U_{1i} = \frac{U_{1H}}{f_{1H}} f_{1i} = K_1 f_{1i}$$

или $\frac{U_{1H}}{f_{1i}} = \text{const}$, т. е. подводимое к двигателю напряжение

должно изменяться пропорционально изменению частоты.

Критический момент при этом в соответствии с уравнением (3) будет равен $M_{ki} = M_{кн}$, т.е. остаётся неизменным, что обеспечивает постоянство перегрузочной способности двигателя (рис. 4) $f_{11} < f_{12} < f_{13}$.

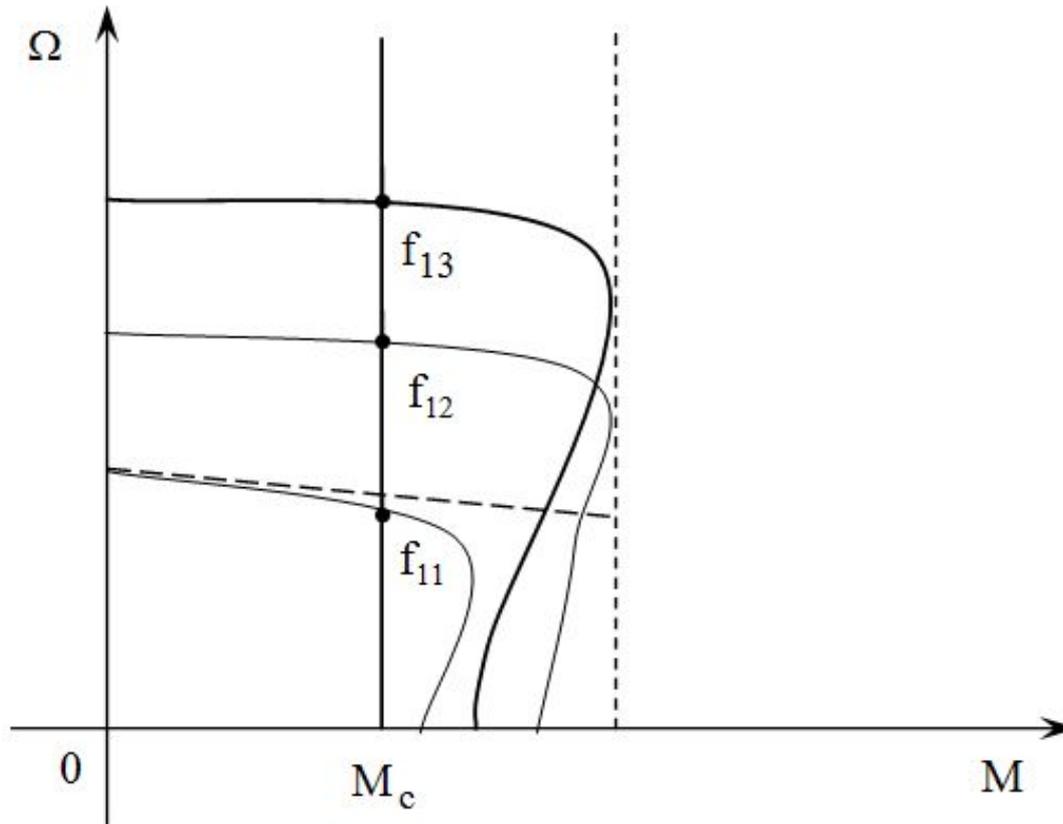


Рисунок 4

Если пренебречь падением напряжения ΔU_1 в обмотке статора двигателя, то можно считать $U_1 \approx E_1 = c \cdot \Phi \cdot f_1 \downarrow$, откуда $\frac{U_1}{f_1} \equiv \Phi = \text{const}$

Если нарушить это условие, т.е. при $U_1 = \text{const}$ изменить только f_1 , то с $\downarrow f_1 \rightarrow \Phi \uparrow$, что вызовет увеличение потерь от намагничивающего тока.

С $\uparrow f_1 \rightarrow \Phi \downarrow$, что при $M_c = \text{const}$ вызовет увеличение тока ротора I'_2 ($M = k \cdot \Phi \cdot I'_2 \cdot \cos \psi_2$). Таким образом, в обоих случаях двигатель будет перегреваться при моменте на валу, даже меньшем номинального значения.

На рис. 4 при f_{11} (малой) значение $M_k \downarrow$.

Это связано с тем, что при низких значениях f_1 x_k уменьшается до таких значений, что становится соизмеримым с независимым от частоты активным сопротивлением статора R_1 . Падение напряжения на сопротивлении R_1 теперь существенно снижает значение Φ и вызывает $\downarrow M_k$.

Поэтому для поддержания $M_k = \text{const}$ при малых f_1 напряжение следует уменьшить в меньшей степени с $\downarrow f_1$, чтобы поддержать $\Phi \uparrow$ и $M_k \uparrow$.

$$2. \quad M_c = c\Omega^2 = c'f_1^2 \quad \text{тогда из (4),} \quad U_{1i} = \frac{U_{1H}}{f_{1H}^2} f_{1i}^2 \quad (6),$$

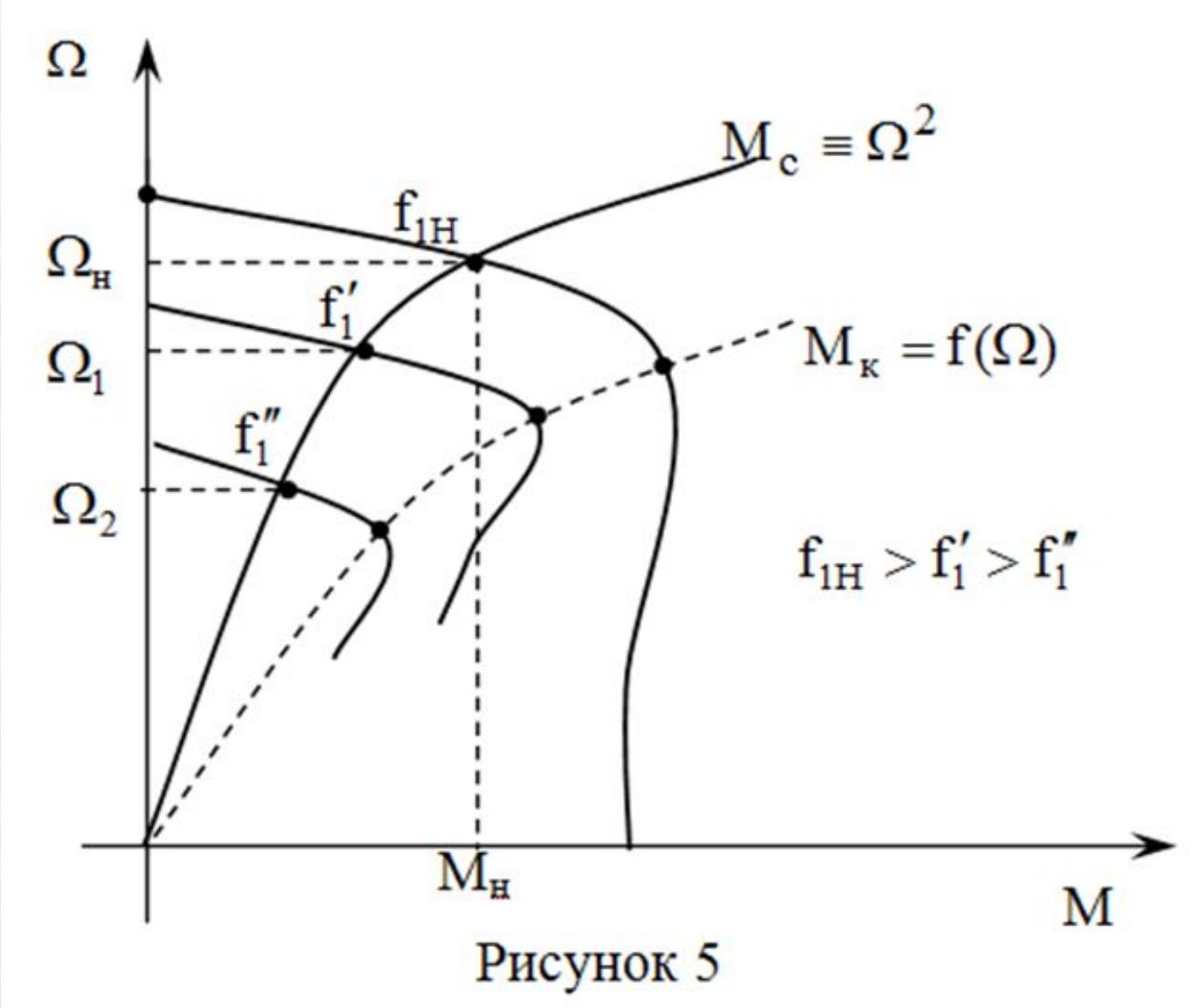
откуда следует, что подводимое напряжение в этом случае надо изменять пропорционально квадрату частоты.

При этом , поскольку критический момент

согласно уравнению (3), как и статический, будет изменяться пропорционально квадрату частоты (рис. 5)

$$1) \quad M_{ki} = M_{кн} \frac{M_{ci}}{M_{сн}}$$

$$2) \quad M_{ki} = \frac{M_{кн}}{f_{1H}^2} f_{1i}^2 = k_2 f_{1i}^2 \quad (7)$$



3. Регулирование скорости вращения АД изменением напряжения.

Если регулировать напряжение, подводимое к фазам статора АД, то можно изменять $M_k \equiv U_1^2$, не изменяя скольжение s_k

$$s_k = \frac{R'_2}{(8) \sqrt{R_1^2 + (x_1 + x'_2)^2}}$$

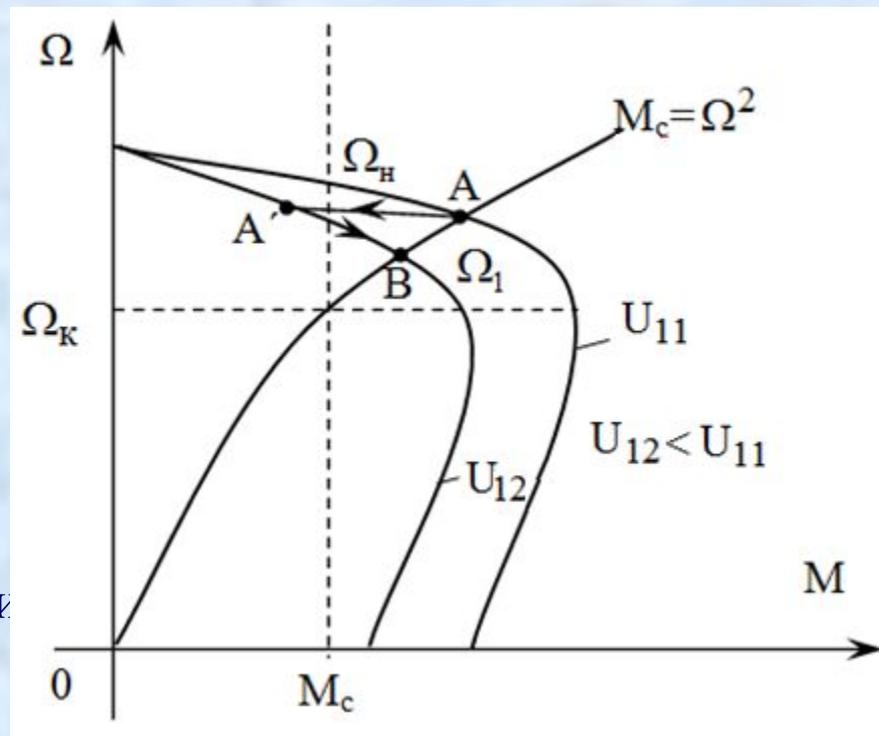


Рис.6. Механические характеристики АД при регулировании напряжения на статоре.

Показатели регулирования:

1. Диапазон регулирования скорости зависит от характера момента сопротивления и для $M_c \equiv \Omega^2$ невелик.

Для расширения диапазона регулирования обычно применяются АД с повышенным скольжением, т.е. имеющие большие значения сопротивления обмотки ротора R'_2 $R'_2 \uparrow \rightarrow s_k \uparrow$ (из выражения для s_k).

2. Плавность регулирования скорости может быть достаточно высокой и определяется плавностью изменения напряжения.

3. Направление регулирования скорости, возможно только вниз от номинального значения.

4. Стабильность работы на заданной скорости низкая.

5. Экономичность регулирования низкая.

Потребляемая из сети мощность: $P_1 \approx M \cdot \Omega_0$.

Полезная мощность на валу: $P_2 = M \cdot \Omega = M \cdot \Omega_0 (1 - s)$.

Тогда КПД двигателя будет

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \approx \frac{M\Omega_0(1-s)}{M\Omega_0} = 1-s \rightarrow \eta \downarrow \quad \text{как следствие } \uparrow s.$$