



**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.

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

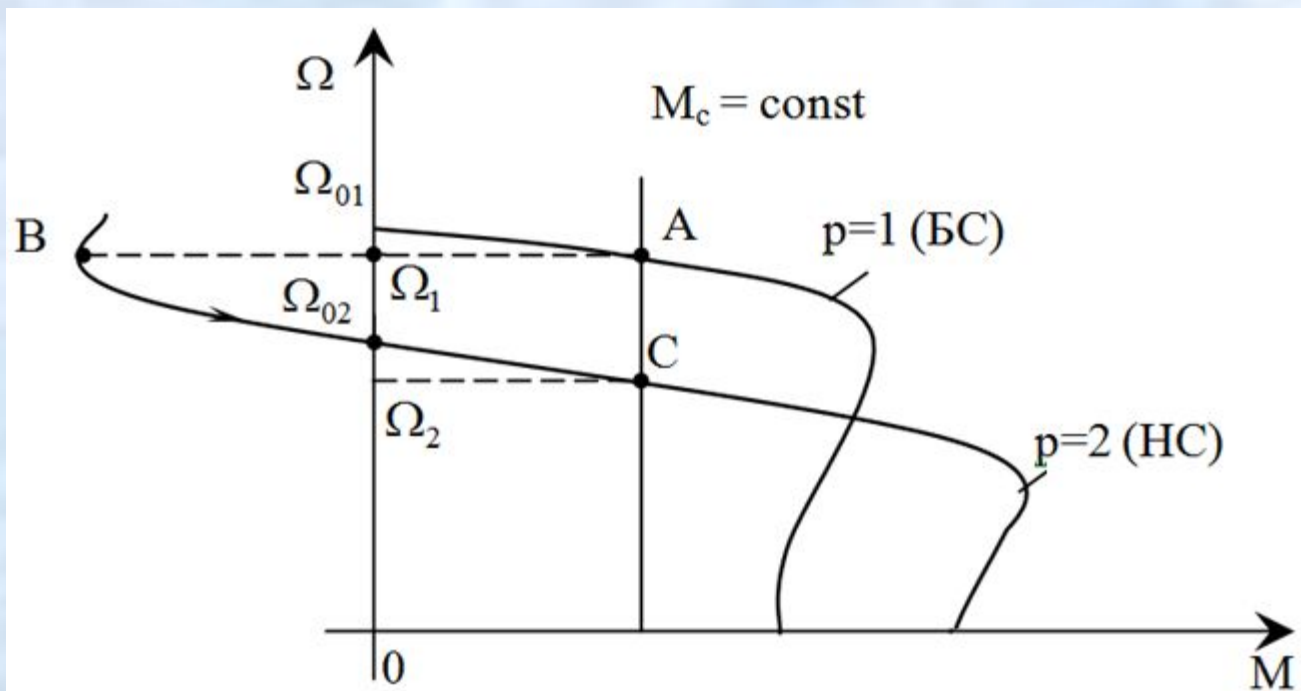


Рисунок 1

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  $\Omega$ .

### **Показатели регулирования:**

- 1) Диапазон регулирования достигает (6:1)...(8:1) и даже до 12:1
- 2) Плавность регулирования – низкая (ступенчатое регулирование скорости  $\Omega$ ).
- 3) Направление регулирования скорости  $\Omega$  – 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.

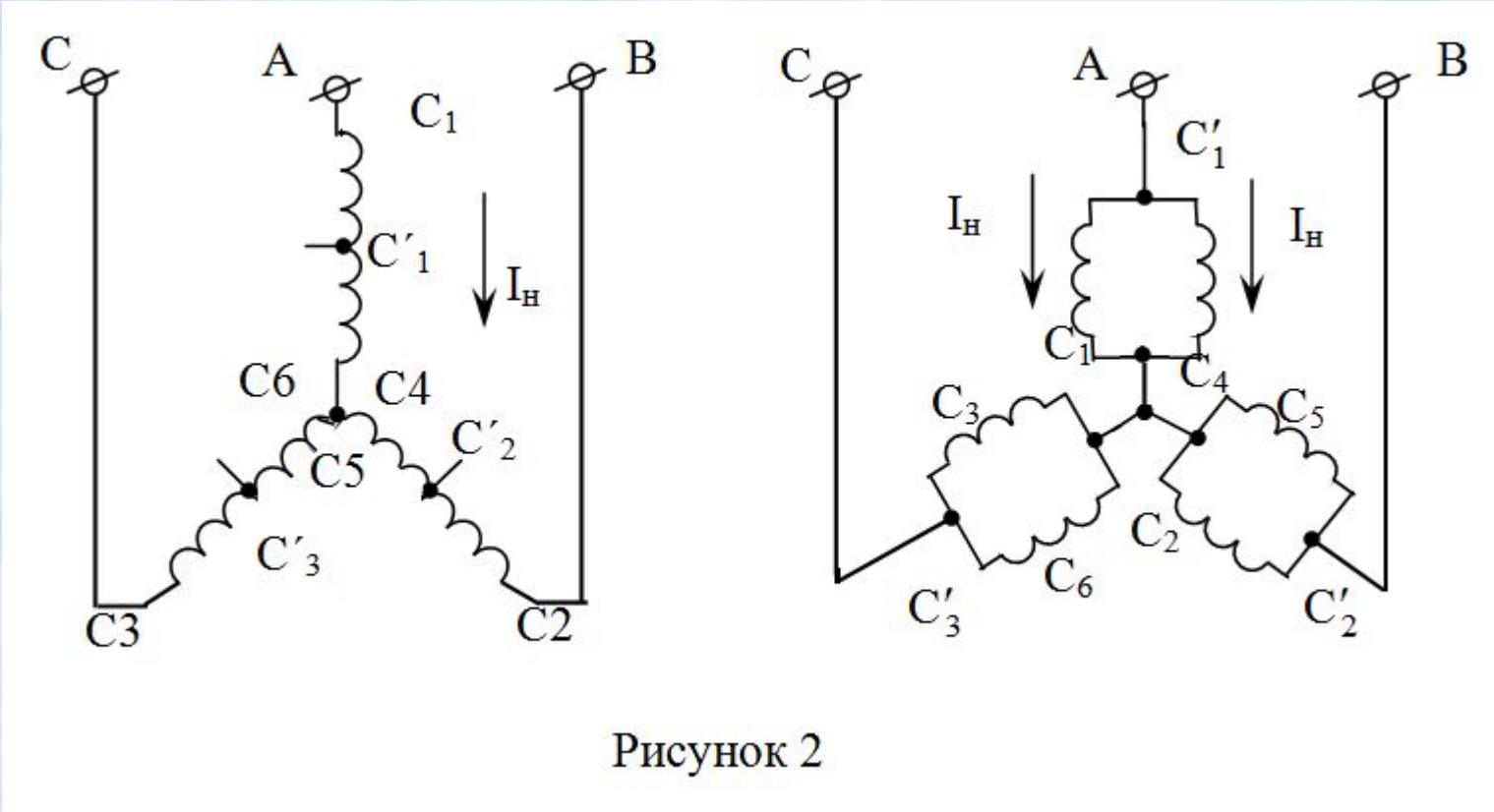


Рисунок 2

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.

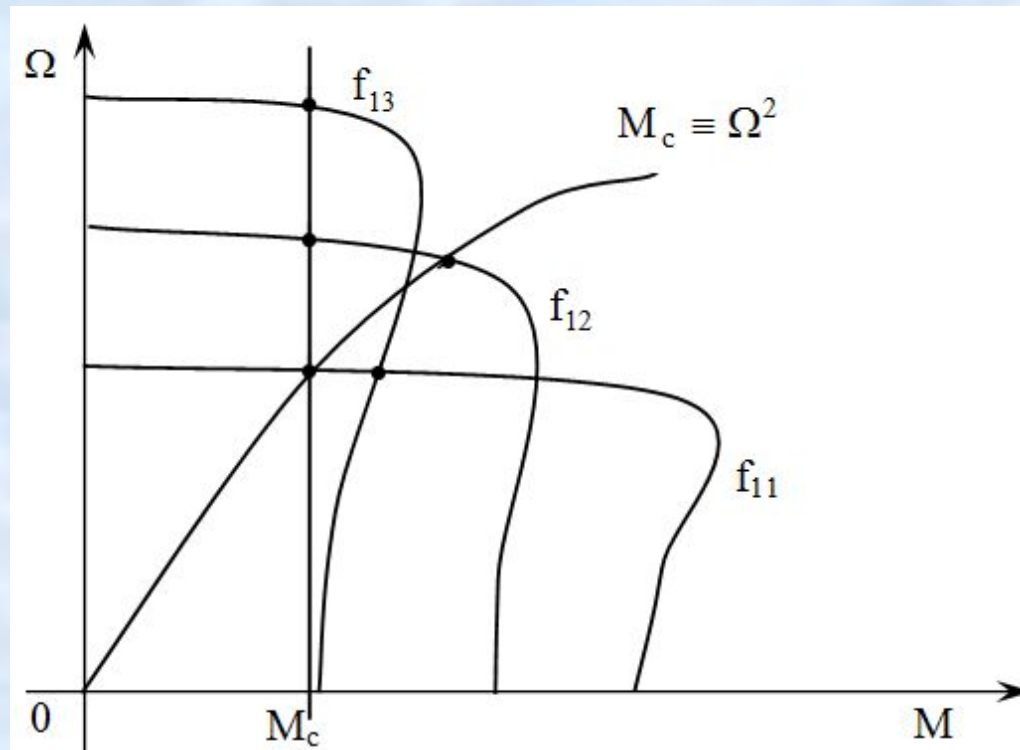


Рис. 3 Механические характеристики АД при  $f_1 = \text{var}$   $f_{11} < f_{12} <$



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)

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

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

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

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

$U_{li}$ ,  $U_{1H}$  - 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)  $f_{11} < f_{12} < f_{13}$ .

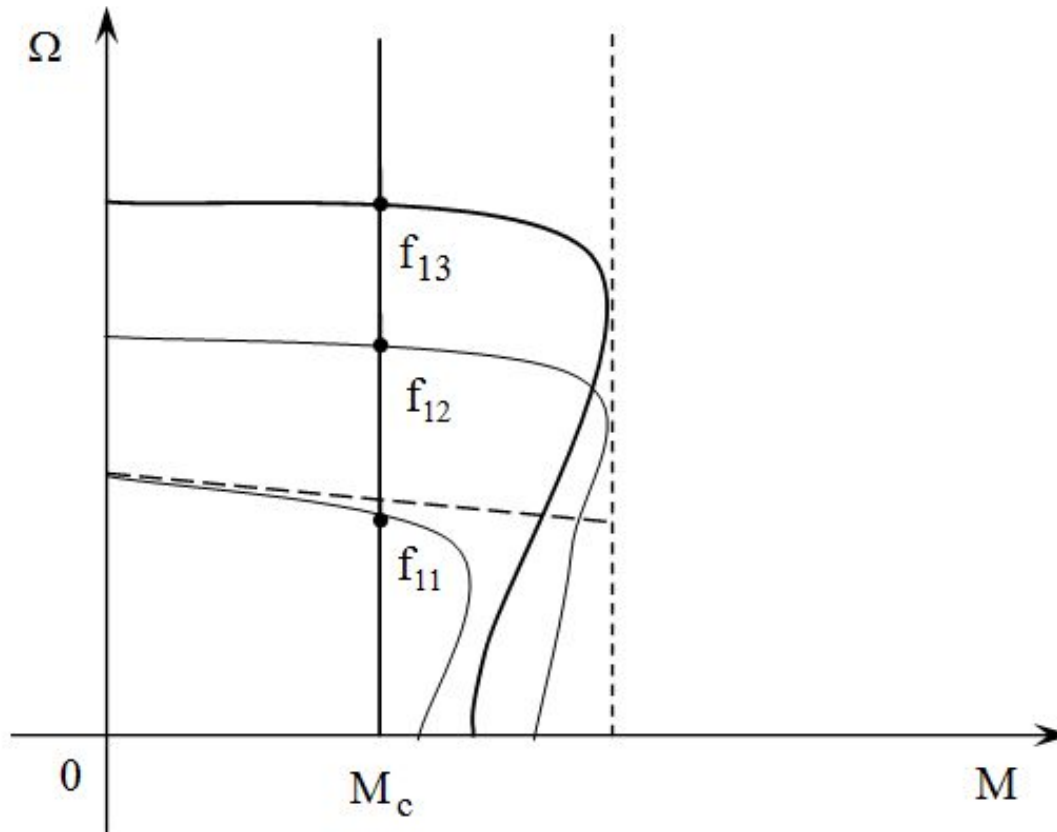


Рисунок 4

Если пренебречь падением напряжения  $\Delta U_1$  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  $\Phi$  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  $M_k \uparrow$ .

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

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

При этом  $k_M = \frac{M_K}{M_c} = \text{const}$ , поскольку критический момент

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

$$1) \quad M_{ki} = M_{KH} \frac{M_{ci}}{M_{cH}}$$

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

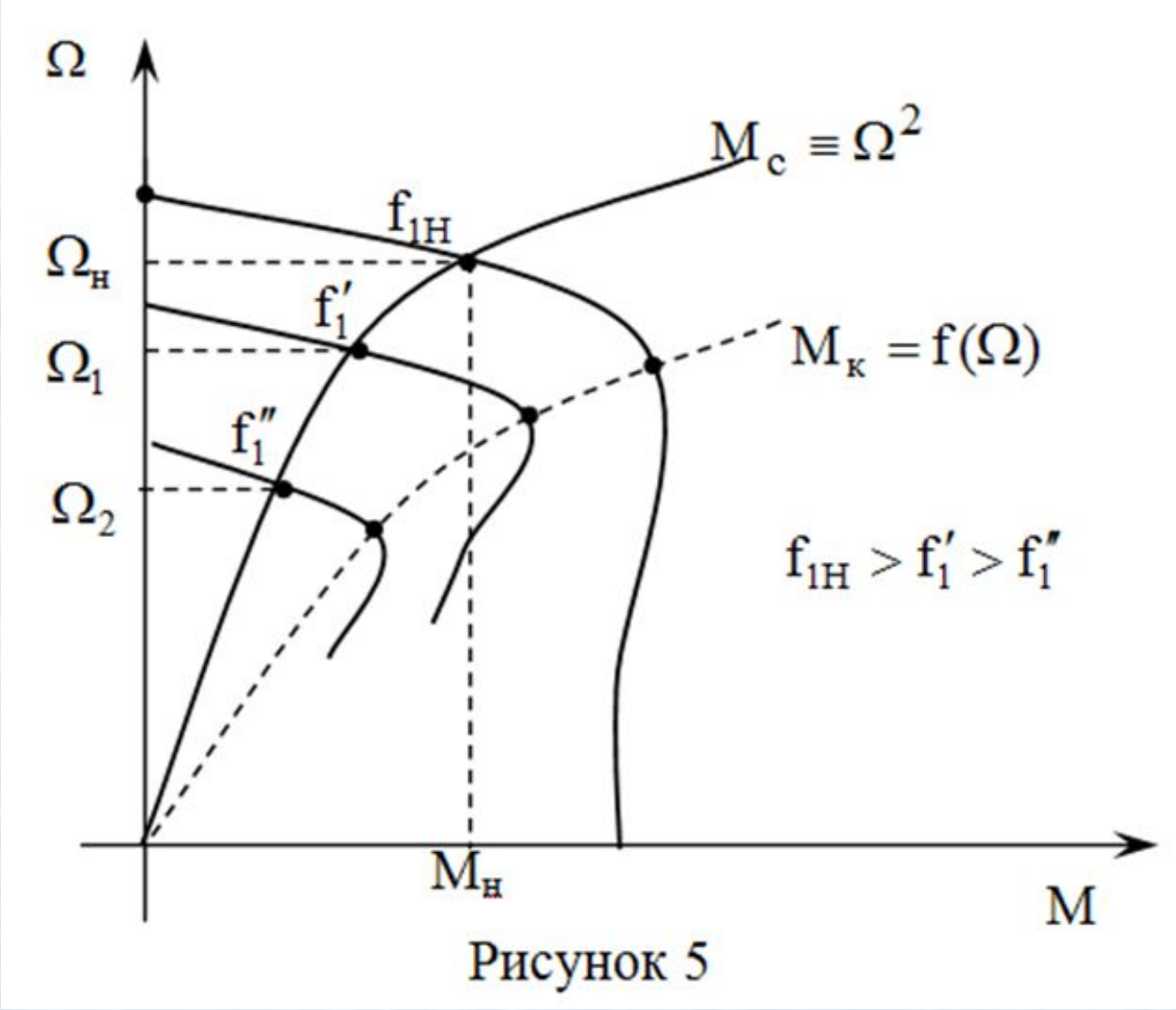


Рисунок 5

### 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  $s_k$

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

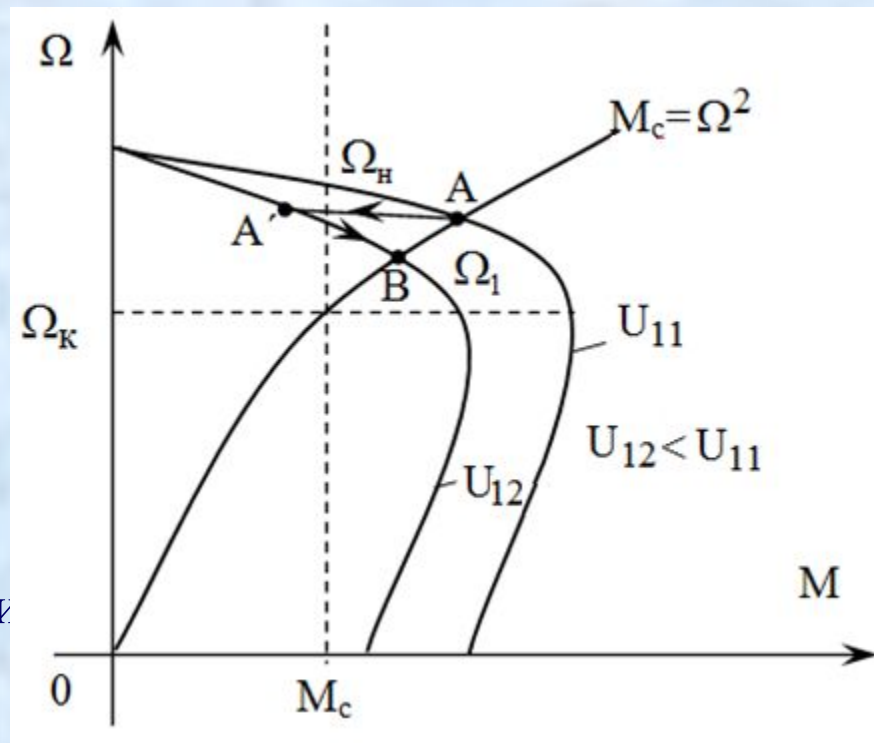


Рис.6. Механические характеристики АД при регулировании напряжения на статоре.

## 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

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