



## Лекция №3. Регулирование скорости вращения электроприводов с асинхронным двигателем.

1. Основные показатели, характеризующие различные способы регулирования.
2. Регулирование скорости вращения АД введением сопротивления в цепь ротора.
3. Регулирование скорости вращения АД изменением числа полюсов.
4. Регулирование скорости вращения АД изменением частоты.
5. Регулирование скорости вращения АД изменением подводимого напряжения.

## Основные показатели, характеризующие различные способы регулирования.

*Регулированием скорости* называется принудительное изменение скорости электропривода в зависимости от требований технологического процесса.

Регулирование скорости осуществляется дополнительным воздействием на приводной двигатель или систему передач.

## Основные показатели, характеризующие различные способы регулирования.

Регулирование угловой скорости электропривода возможно *механическими* и *электрическими* способами.

*Механические способы регулирования* заключаются в изменении угловой скорости исполнительных органов за счет изменения передаточного числа устройства механической передачи (редуктора).

## Основные показатели, характеризующие различные способы регулирования.

*Электрические способы* регулирования угловой скорости электропривода заключаются в изменении угловой скорости вращения электродвигателя посредством управляемого преобразователя.

Электрические способы более предпочтительны, так как позволяют:

- снизить металлоемкость;
- выполнить их более компактными и надежными;
- повысить уровень и гибкость автоматизации.

## Основные показатели, характеризующие различные способы регулирования.

Основными показателями характеризующими различные способы регулирования электроприводов являются:

- диапазон или пределы регулирования;
- плавность;
- стабильность работы на заданной скорости;
- направление регулирования;
- допустимая нагрузка;
- эффективность регулирования.

## Основные показатели, характеризующие различные способы регулирования.

*Диапазон* или *пределы регулирования* скорости определяются отношением максимальной скорости вращения к минимальной, которые могут быть получены при работе привода:

$$D = \omega_{\text{макс}} : \omega_{\text{мин}}.$$

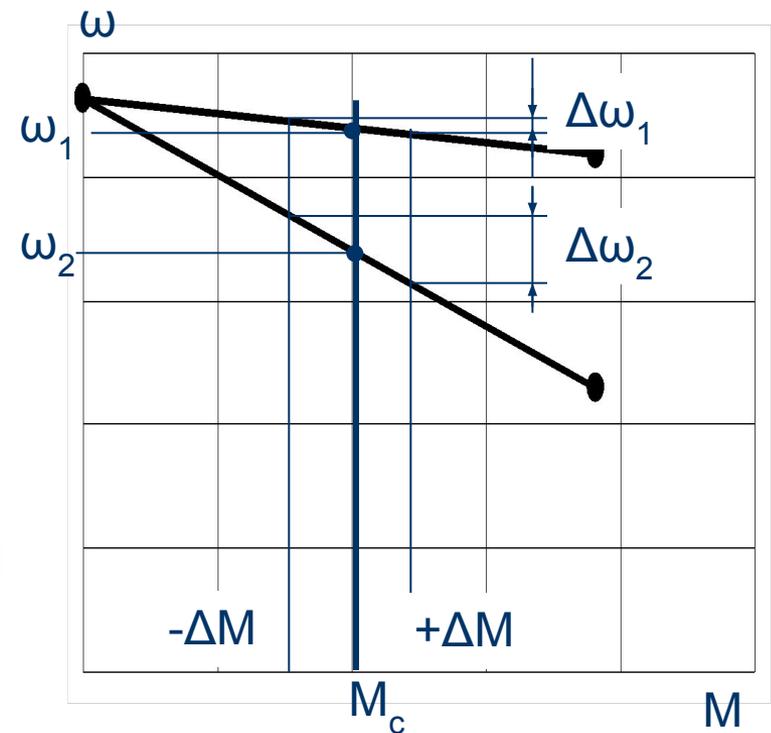
## Основные показатели, характеризующие различные способы регулирования.

*Плавность регулирования* характеризуется числом устойчивых скоростей, получаемых в данном диапазоне регулирования. Коэффициент плавности может быть определен отношением двух соседних значений скоростей при регулировании:

$$k_{пл} = \frac{\omega_i}{\omega_{i-1}}.$$

# Основные показатели, характеризующие различные способы регулирования.

*Стабильность работы* на заданной скорости характеризуется изменением скорости при заданном отклонении момента нагрузки и зависит от жесткости механической характеристики и размаха колебания нагрузки.



## Основные показатели, характеризующие различные способы регулирования.



*Направление регулирования* скорости электропривода, то есть увеличение или уменьшение ее по отношению к номинальной зависит от принятого способа регулирования (например, регулирование изменением потока возбуждения у ДПТ НВ – вверх от основной, а введение добавочного сопротивления в цепь якоря – вниз от основной).

## Основные показатели, характеризующие различные способы регулирования.

*Допустимая нагрузка* двигателя также зависит от принятого способа регулирования и ограничивается степенью его нагрева. Степень нагрева зависит от потерь энергии в двигателе, которые в свою очередь определяются величиной тока потребляемого двигателем. Допустимая нагрузка при работе на регулировочных характеристиках определяется величиной номинального тока.

## Основные показатели, характеризующие различные способы регулирования.

*Эффективность регулирования* угловой скорости численно оценивается экономическим эффектом  $\mathcal{E}$ , получаемым от использования предлагаемого регулируемого электропривода.

$$\mathcal{E} = Z_0 - Z_1,$$

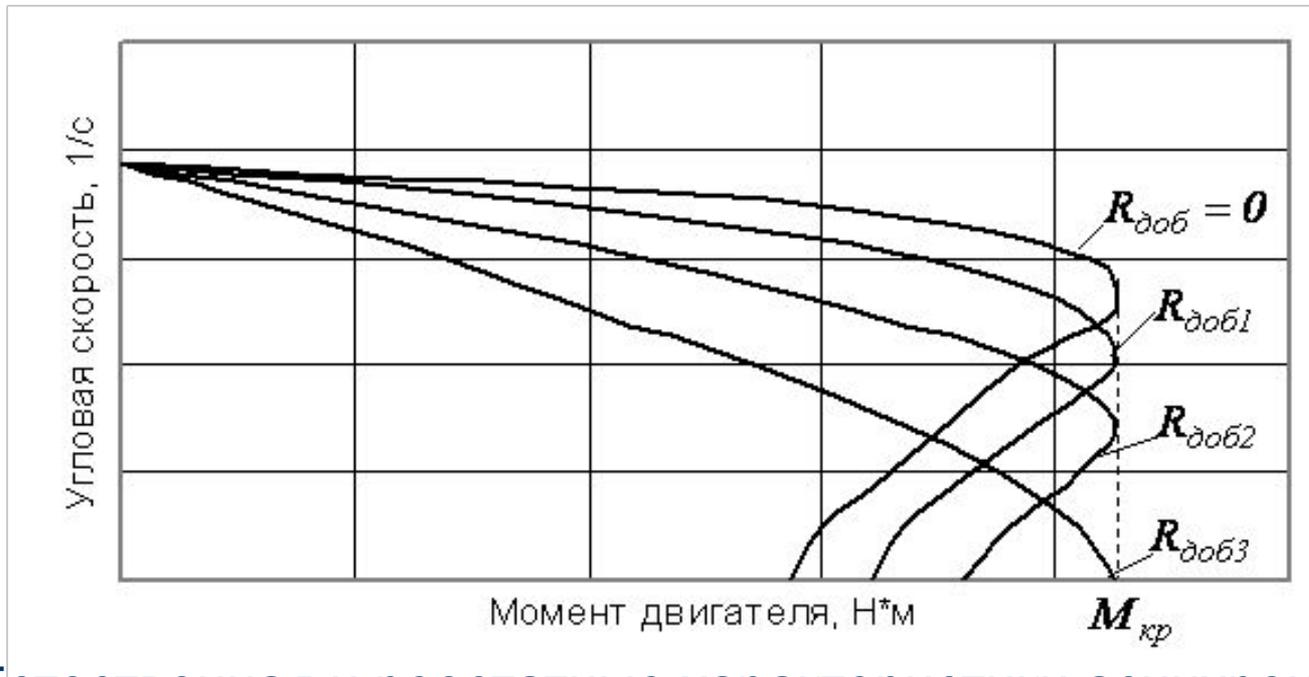
где  $Z_0$ ,  $Z_1$  – приведенные затраты на электропривод соответственно в исходном и проектируемом вариантах.

## Основные показатели, характеризующие различные способы регулирования.

В общем случае для работы регулируемого электропривода с разными угловыми скоростями средневзвешенные значения КПД,  $\cos\varphi$  определяются по соотношениям

$$\eta_p = \frac{\sum_{i=1}^m P_{2i} \cdot t_i}{\sum_{i=1}^m (P_{2i} + \Delta P_i) \cdot t_i}, \quad \cos\varphi_p = \frac{\sum_{i=1}^m P_{1i} \cdot t_i}{\sum_{i=1}^m (P_{1i}^2 + Q_{1i}^2) \cdot t_i}.$$

# Регулирование скорости вращения АД введением сопротивления в цепь ротора.



Естественная и реостатные характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором

## Регулирование скорости вращения АД введением сопротивления в цепь ротора.

Способ регулирования	Реостатное регулирование
Направление регулирования	Однозонное (вниз от основной характеристики)
Диапазон регулирования	(2-3):1
Стабильность	Низкая
Плавность	Регулирование ступенчатое
Эффективность	С энергетической точки зрения неэффективное. Затраты на реализацию - низкие

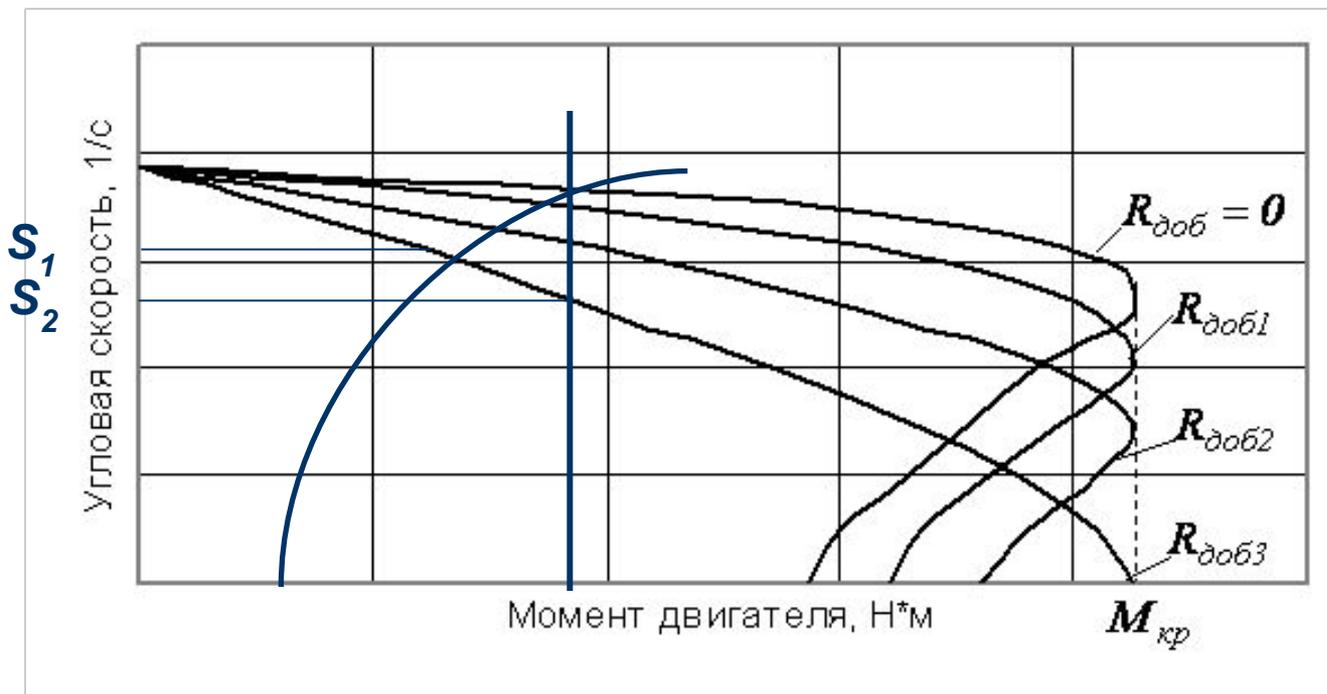
## Регулирование скорости вращения АД введением сопротивления в цепь ротора.

Потери в цепи ротора пропорциональны скольжению

$$\Delta P_2 = P_1 \cdot S$$

Вследствие больших потерь реостатное регулирование скорости вращения асинхронного двигателя при постоянном моменте нагрузки и длительной работе нецелесообразно.

# Регулирование скорости вращения АД введением сопротивления в цепь ротора.



$$\omega_2 > \omega_1$$

## Регулирование скорости вращения АД изменением числа полюсов.



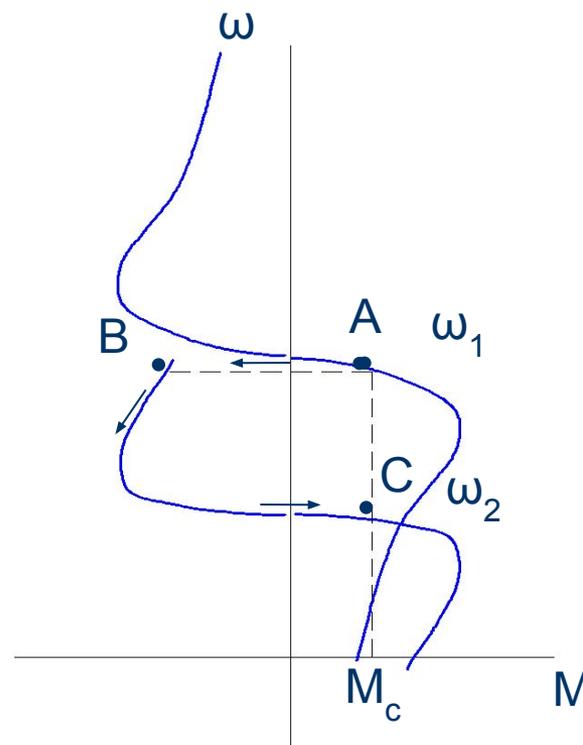
Синхронная угловая скорость асинхронного двигателя зависит от частоты питающего напряжения  $f_1$  и от числа пар полюсов  $p$

$$\omega_1 = \frac{2\pi f_1}{p}.$$

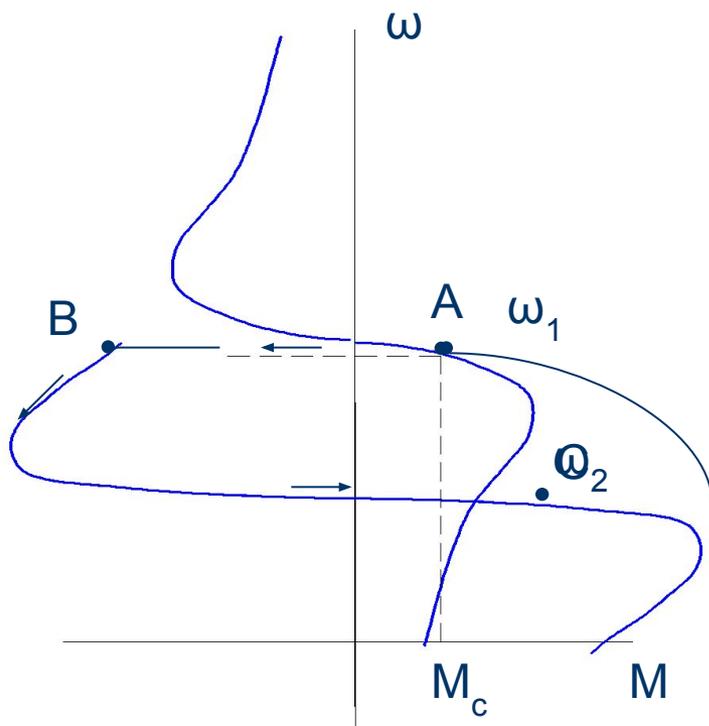
У двигателей с переключением числа полюсов обмотка каждой фазы состоит из двух одинаковых частей, в одной из которых изменяется направление тока.

## Регулирование скорости вращения АД изменением числа полюсов.

Регулирование скорости асинхронного двигателя можно производить при постоянном моменте



# Регулирование скорости вращения АД изменением числа полюсов.



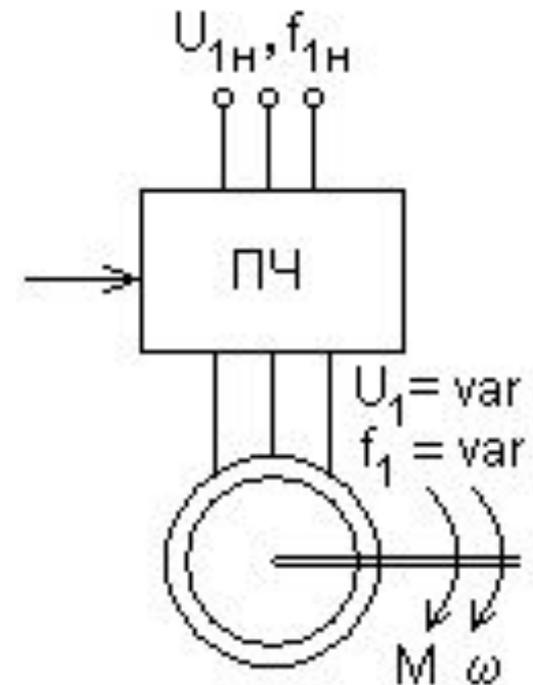
и постоянной мощности

## Регулирование скорости вращения АД изменением числа полюсов.

Способ регулирования	Регулирование изменением числа полюсов
Направление регулирования	Однозонное (вниз от основной характеристики)
Диапазон регулирования	(6-8):1
Стабильность	Высокая
Плавность	Регулирование ступенчатое
Эффективность	Не приводит к увеличению энергозатрат. Затраты на реализацию - низкие

## Регулирование скорости вращения АД изменением частоты.

Для получения регулируемой частоты применяются специальные генераторы или преобразователи частоты: электромашинные (синхронные и асинхронные), и полупроводниковые.



## Регулирование скорости вращения АД изменением частоты.

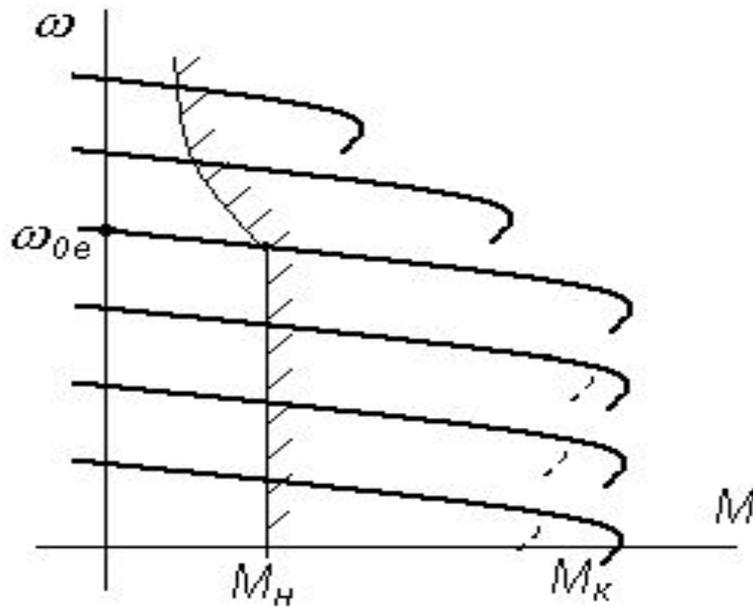
Для асинхронного двигателя можно приближенно принять

$$U = f_1 \Phi.$$

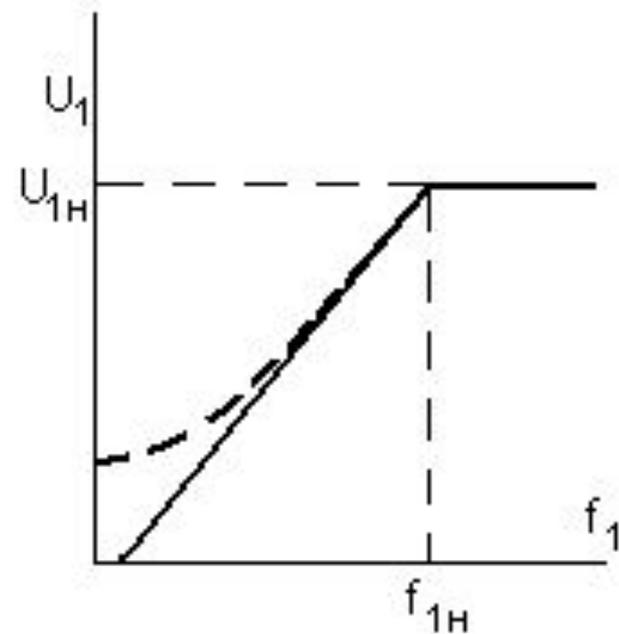
Поэтому для сохранения постоянства магнитного потока необходимо производить регулирование с неизменным соотношением

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_{1'}}{f_{1'}} = \text{const}$$

# Регулирование скорости вращения АД изменением частоты.



Механические характеристики



Зависимость напряжения от частоты

Электропривод. Ч.1

## Регулирование скорости вращения АД изменением частоты.

Способ регулирования	Регулирование изменением частоты питающей сети
Направление регулирования	Двухзонное (вниз и вверх от основной характеристики)
Диапазон регулирования	(8-10):1
Стабильность	Высокая
Плавность	Регулирование плавное
Эффективность	Способ экономичен в эксплуатации. Затраты на реализацию - низкие

# Регулирование скорости вращения АД изменением подводимого напряжения.

Регулирование проводится при изменении  $U_1$  и при  $f_1 = f_{1H} = const$ .

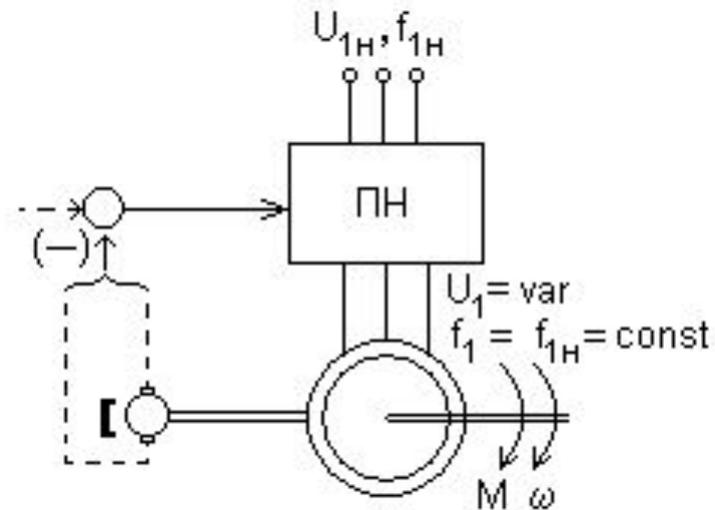
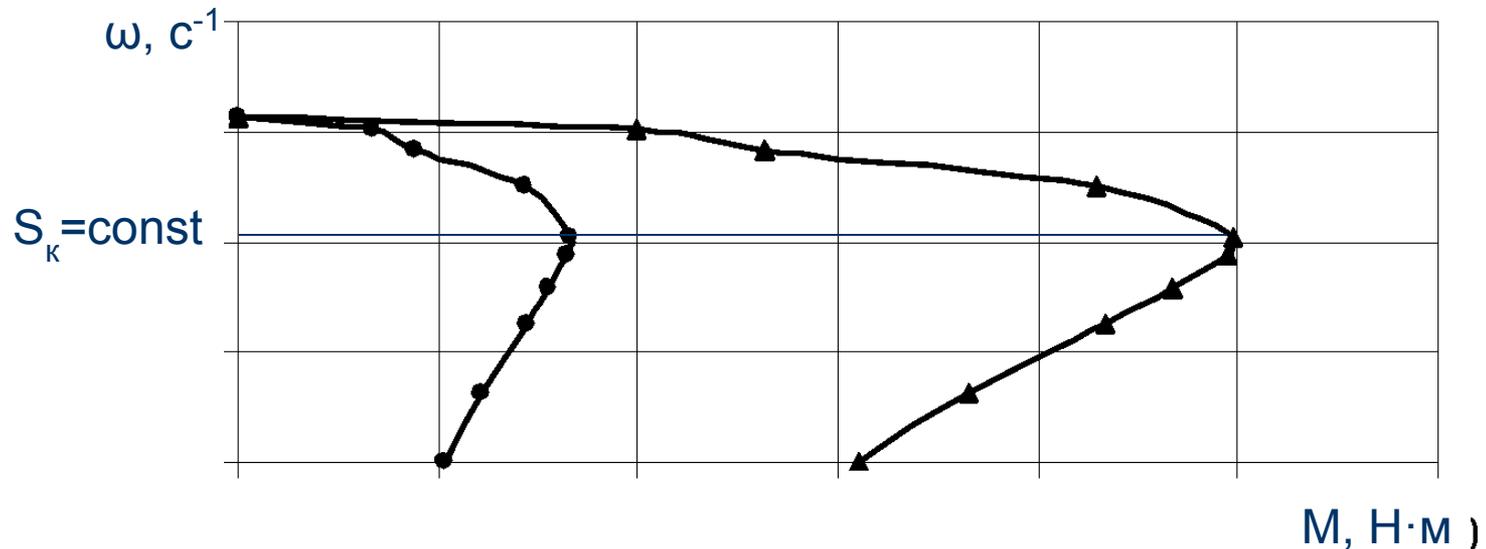


Схема асинхронного электропривода с параметрическим регулированием

# Регулирование скорости вращения АД изменением подводимого напряжения.



$$s_k = \pm \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2}} ; \quad M_k = \frac{3U^2}{2\omega_0 \left[ R_1 \pm \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X'_2)^2} \right]}$$

Электропривод. Ч.1

## Регулирование скорости вращения АД изменением подводимого напряжения.

Способ регулирования	Регулирование изменением частоты питающей сети
Направление регулирования	Однозонное (вниз от основной характеристики)
Диапазон регулирования	(3-4):1
Стабильность	Удовлетворительная
Плавность	Регулирование плавное
Эффективность	Способ экономичен в эксплуатации. Затраты на реализацию - низкие

## Регулирование скорости вращения АД изменением подводимого напряжения.

Допустимыми в продолжительном режиме потерями можно считать номинальные

$$\Delta P_{2H} = M_H \omega_0 s_H$$

Допустимые потери при регулировании определяются как

$$\Delta P_{доп} = M_{доп} \omega_0 s$$

Приравняв выражения для потерь, получим

$$M_{доп} = \frac{M_H s_H}{s}$$

Снижение скорости всего на 20% ( $s = 0,2$ ) потребует снижения момента в 3 раза .