



Лекция №6. 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:

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

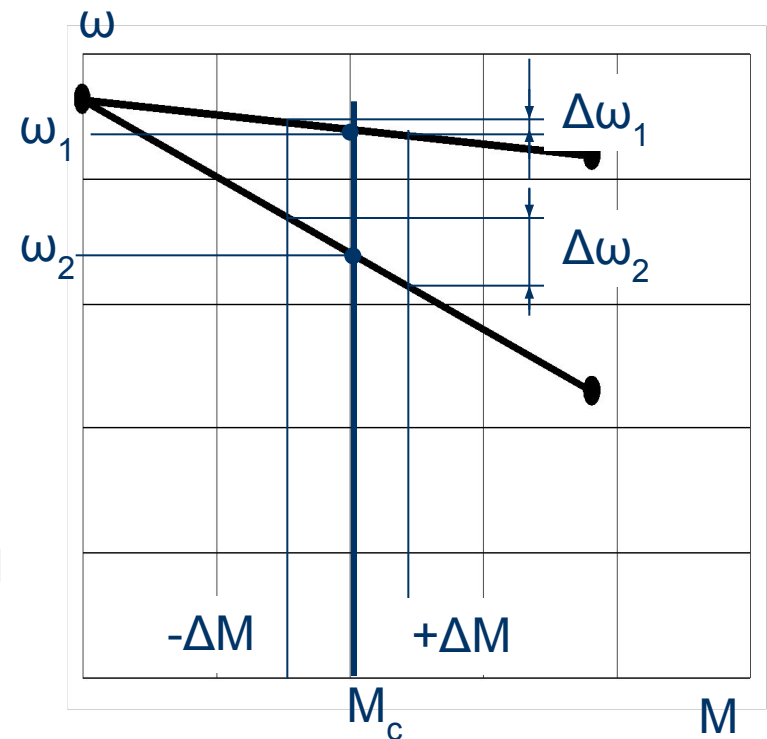
Основные показатели, характеризующие различные способы регулирования.

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.

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

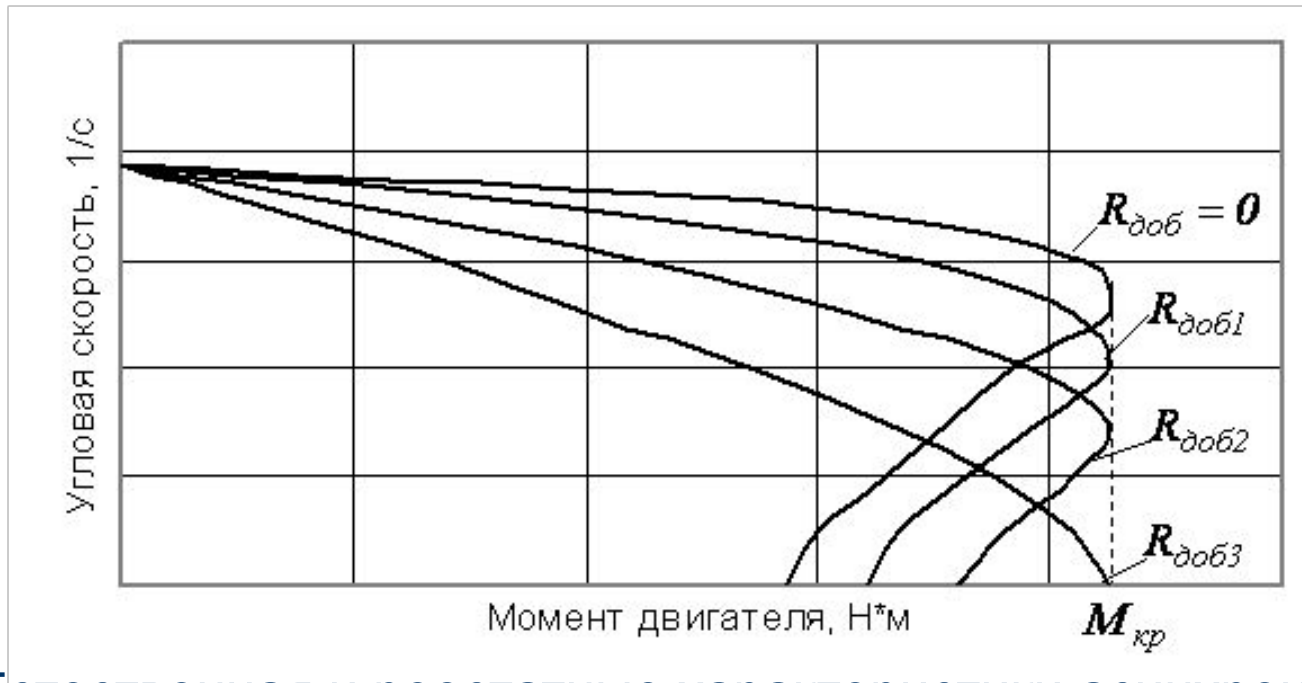
где Z_0 , Z_1 – приведенные затраты на электропривод соответственно в исходном и проектируемом вариантах.

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.

Показатели реостатного регулирования скорости асинхронных двигателей.

1. Регулирование однозонное - вниз от основной скорости.
2. Диапазон регулирования (2-3):1, причем лучшее использование двигателя достигается при регулировании с постоянным моментом.
3. Стабильность скорости низкая.

Регулирование скорости вращения АД введением сопротивления в цепь ротора.

4. Регулирование ступенчатое.
5. С энергетической точки зрения реостатное регулирование в асинхронном электроприводе неэффективно.
6. Капитальные затраты, как и в электроприводе постоянного тока, сравнительно невелики.



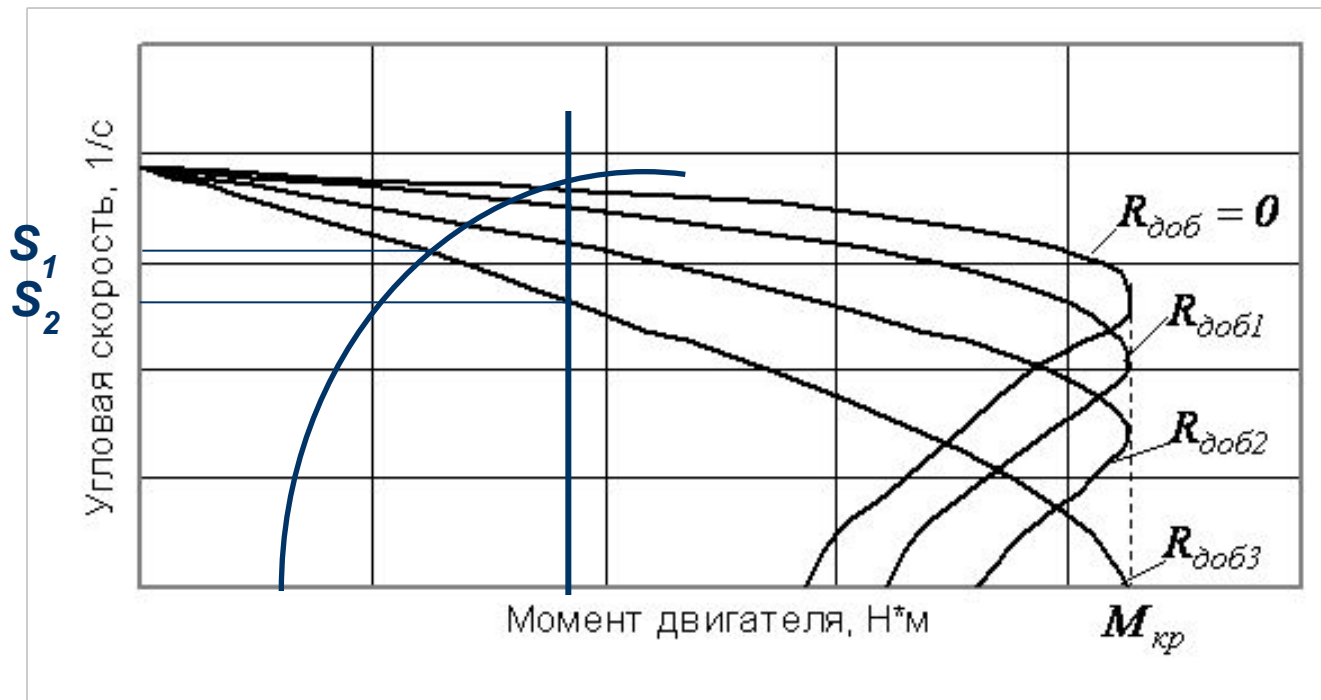
Регулирование скорости вращения АД введением сопротивления в цепь ротора.

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.

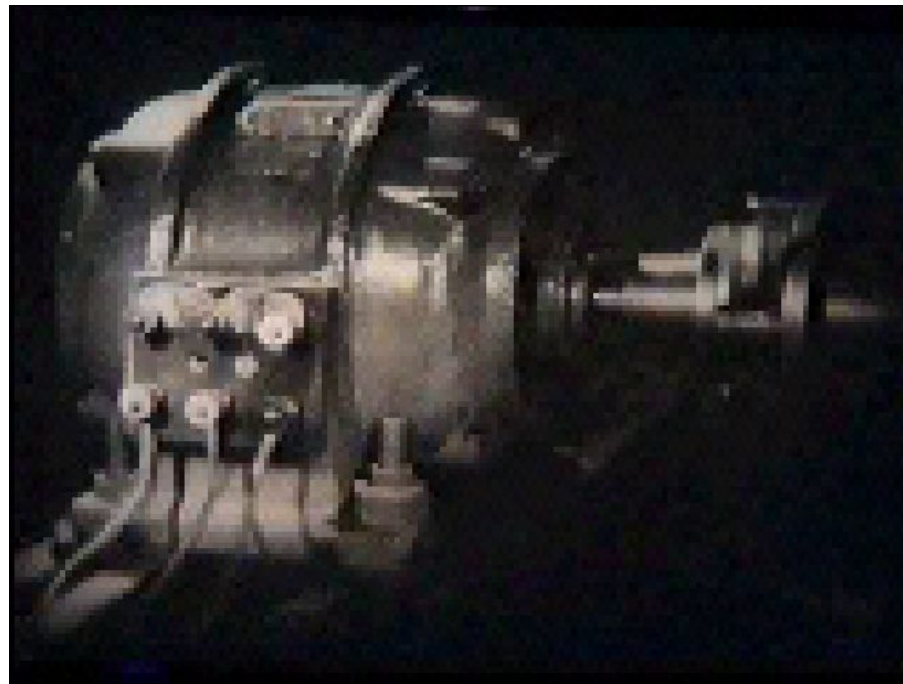


Синхронная угловая скорость асинхронного двигателя зависит от частоты питающего напряжения f_1 и от числа пар полюсов p

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

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

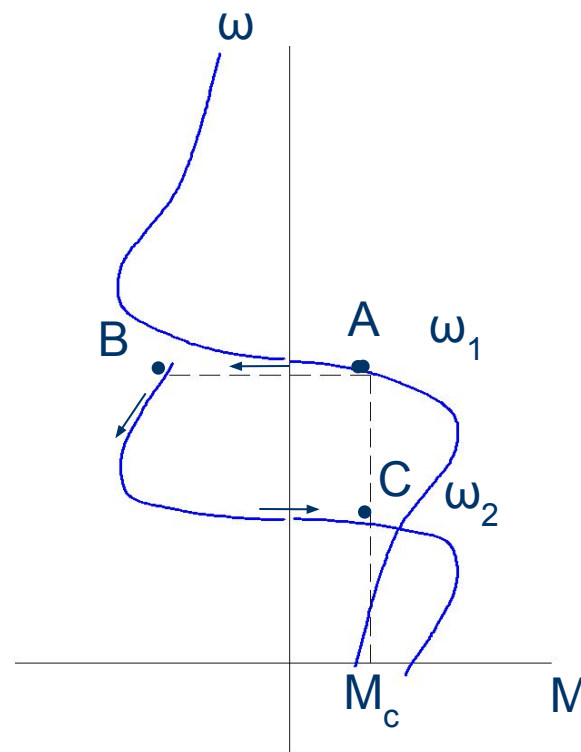
Регулирование скорости вращения АД изменением числа полюсов.



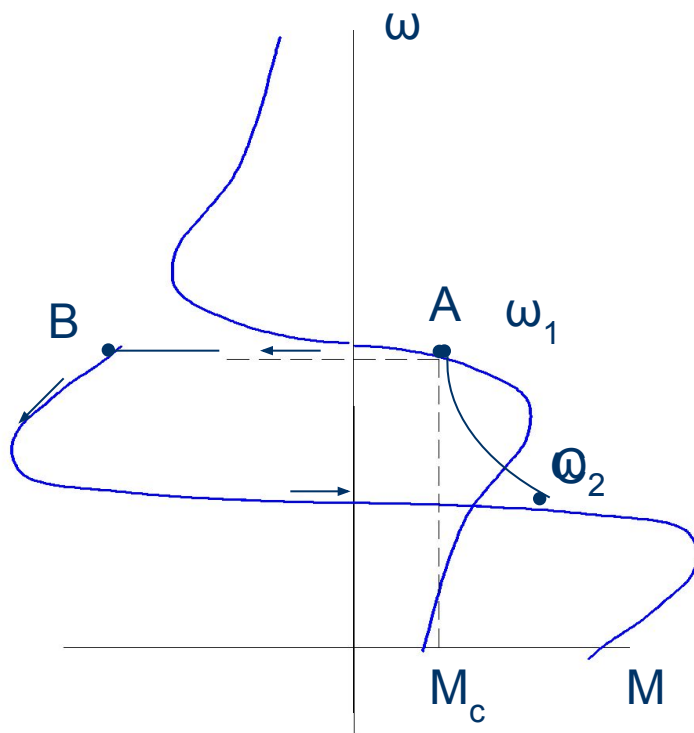
Переключение пар полюсов

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.

1. Диапазон регулирования достигает (6:1)-(8:1).
Увеличивать этот диапазон нецелесообразно, так как при синхронной скорости ниже $n_1=375$ об/мин значительно увеличиваются габариты двигателя.
2. Регулирование ступенчатое (на практике используются двух-, трех- и четырехскоростные двигатели).

Регулирование скорости вращения АД изменением числа полюсов.

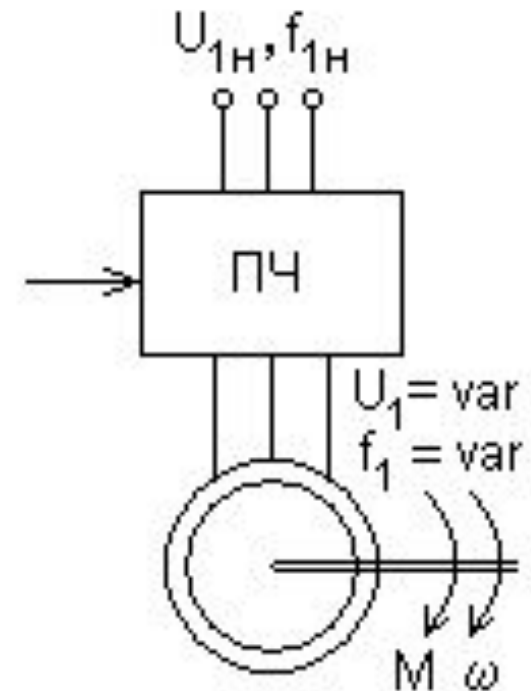
3. Регулирование скорости изменением числа полюсов является весьма экономичным.
4. Механические характеристики обладают большой жесткостью, а следовательно и высокой стабильностью работы.

Регулирование скорости вращения АД изменением числа полюсов.

Благодаря своим преимуществам двигатели с переключением полюсов находят широкое применение там, где не требуется плавного регулирования скорости, например в некоторых металлорежущих станках (в целях уменьшения количества передач), для привода вентиляторов, насосов и т.д.

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.

При регулировании частоты необходимо стремиться к тому. Чтобы характеристики во всем диапазоне отличались высокой жесткостью, а двигатель обладал достаточной перегрузочной способностью. Этого можно добиться сохраняя постоянным магнитный поток.

Регулирование скорости вращения АД изменением частоты.

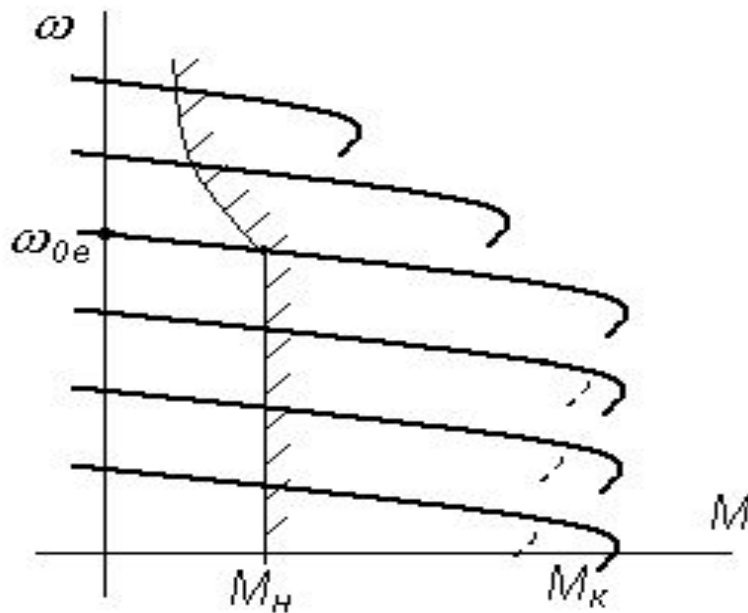
Для асинхронного двигателя можно приближенно принять

$$U = f_1 \Phi.$$

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

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_1'}{f_1'} = \text{const}$$

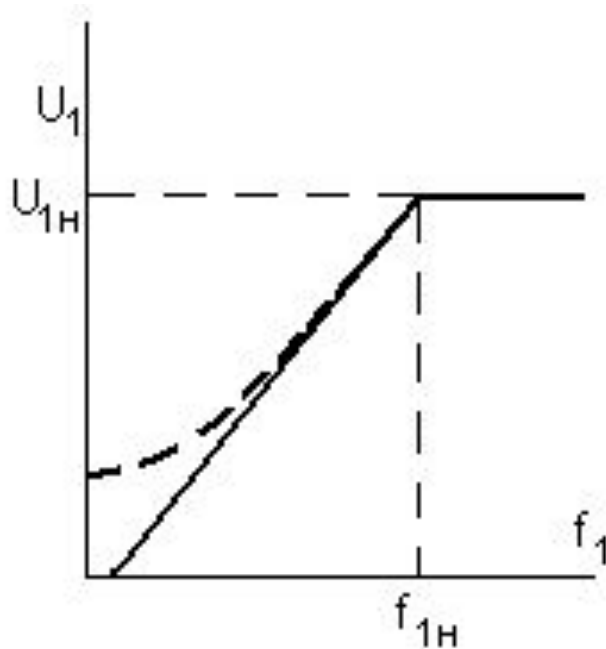
Регулирование скорости вращения АД изменением частоты.



Жесткость механических характеристик в рабочей зоне при этом способе регулирования сохраняется значительно высокой и величина критического момента в зоне больших частот сравнительно мало изменяется.

Механические характеристики

Регулирование скорости вращения АД изменением частоты.



Сопротивление цепи статора оказывает влияние на характеристики особенно малых машин. Для компенсации этого влияния обычно несколько увеличивают напряжение при низких частотах.

Зависимость напряжения от частоты

Регулирование скорости вращения АД изменением частоты.

Оценку частотного регулирования.

1. Регулирование двухзонное - вниз ($U_1/f_1 \approx \text{const}$) и вверх ($U_1 = U_{1H}$, $f_1 > f_{1H}$) от основной скорости.
2. Диапазон регулирования в разомкнутой структуре (8-10):1.
3. Стабильность скорости - высокая.
4. Регулирование плавное.

Регулирование скорости вращения АД изменением частоты.

5. Допустимая нагрузка - $M=M_n$ при регулировании вниз от основной скорости ($\Phi \approx const$), $P = P_n$ при регулировании вверх ($\Phi < \Phi_n$).
6. Способ экономичен в эксплуатации - нет дополнительных элементов, рассеивающих энергию, малы потери в переходных процессах.
7. Несомненное достоинство - гибкость управления координатами.

Регулирование скорости вращения АД изменением частоты.

8. Способ требует использования преобразователя частоты (ПЧ) - устройства, управляющего частотой и амплитудой выходного напряжения. Такие устройства - совершенные и доступные - появились в последнее десятилетие, однако они ещё сравнительно дороги - около 100 \$/кВт.

Регулирование скорости вращения АД изменением подводимого напряжения.

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

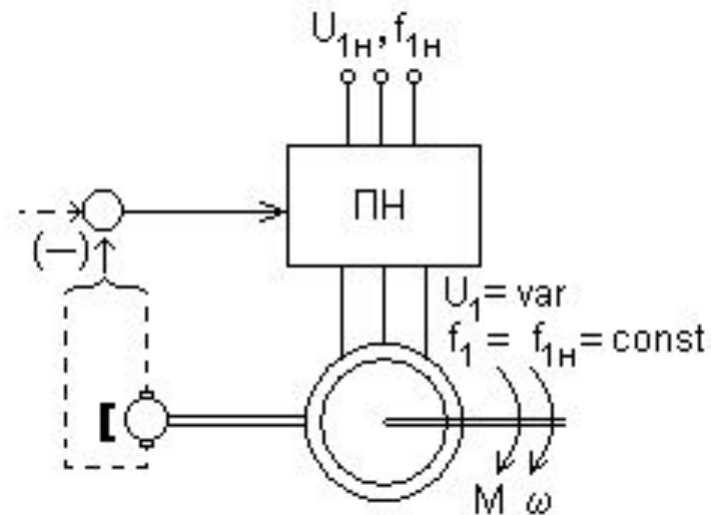
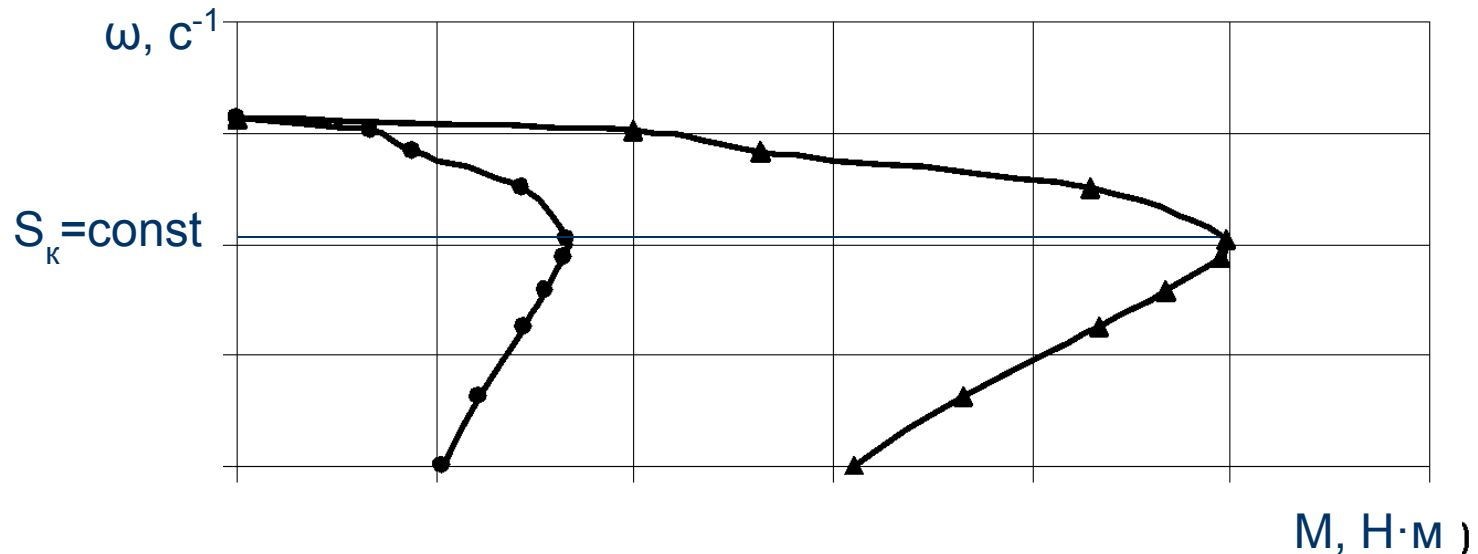


Схема асинхронного электропривода с параметрическим регулированием

Регулирование скорости вращения АД изменением подводимого напряжения.



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

Регулирование скорости вращения АД изменением подводимого напряжения.

1. Регулирование однозонное - вниз от основной скорости
2. Диапазон регулирования в замкнутой структуре (3-4):1; стабильность скорости удовлетворительная.
3. Плавность высокая.
4. Допустимая нагрузка резко снижается с уменьшением скорости, поскольку магнитный поток $\Phi \equiv U1$ при $f1 = const$.

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 .

Регулирование скорости вращения АД изменением подводимого напряжения.

5. Таким образом, рассмотренный способ регулирования очевидно неэффективен для использования в продолжительном режиме.
6. Преобразователь напряжения ПН - простое устройство в 3-4 более дешевое, чем преобразователь частоты.