

Асинхронные машины

1. Регулирование частоты вращения АД
2. Однофазный АД
3. Конденсаторный АД
4. Работа АД при обрыве фазы
5. Работа 3-х фазного АД от однофазной сети

РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ АД

Из формулы для скольжения можно определить, от чего зависит частота вращения ротора n_2 в АД:

$$n_2 = n_1(1-S) = (60 f_1 / p) (1-S)$$

отсюда видно, что регулировать n_2 можно изменением: 1.

скольжения S

2. частоты f_1

3. числа пар полюсов p

Каждый способ регулирования оценивают:

- 1. По возможному диапазону (широкий или узкий).**
- 2. По плавности регулирования.**
- 3. По изменению КПД**

Регулировать можно как со стороны статора:

- 1. изменением напряжения подаваемого на статор U_1 ,**
- 2. изменением частоты питающей сети f_1 ,**
- 3. изменением числа полюсов $2p$,**

так и со стороны ротора:

- 4. изменением активного сопротивления в цепи ротора, r'_2**
- 5. каскад двигателей,**
- 6. модулирование вращающегося поля (похож на способ изменения числа пар полюсов).**

1. Регулирование n_2 путём изменения U_1 ($U_1 = \text{var}$).

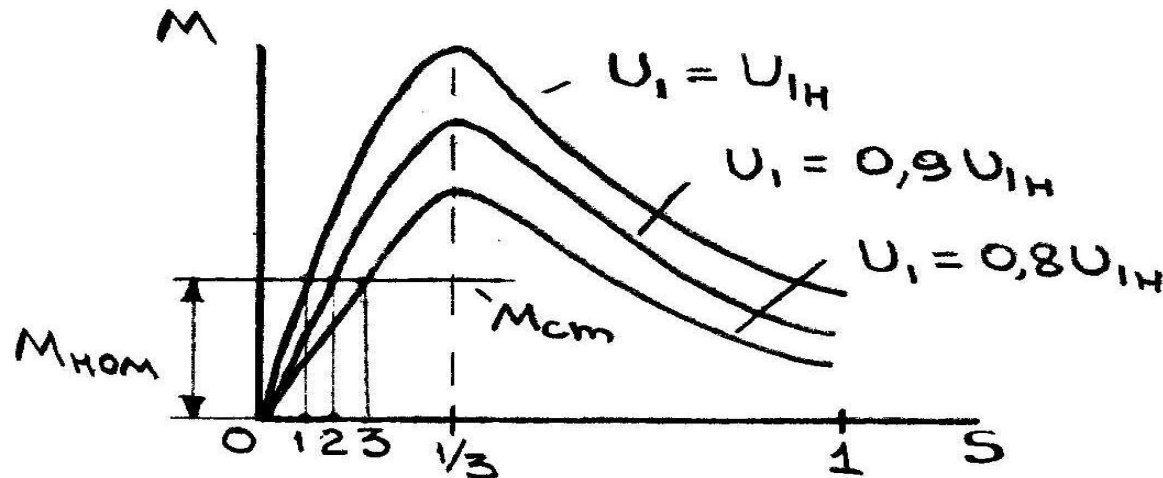


Рис.1
Механическая характеристика при $U_1 = \text{var}$.

Выводы.

- регулирование идёт в сторону уменьшения n_2 и увеличения скольжения S ;
- узкий диапазон регулирования;
- уменьшается КПД.
- при уменьшении U_1 увеличивается склонность к колебаниям нагрузки (а, следовательно, к колебаниям скорости).
- уменьшается коэффициент перегрузки

$$k_{\text{перегрузки}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{ном}}}$$

Напряжение изменяют автотрансформатором или управляемым дросселем насыщения

2. Регулирование частоты вращения изменением частоты тока в статоре ($f_1 = \text{var}$)

Этот способ регулирования (частотное регулирование) основан на изменении синхронной частоты вращения

$n_1 = f_1 60 / p$. Здесь требуется источник питания двигателя переменным током с регулируемой частотой f_1 . В качестве таких источников применяют электромашинные, ионные или полупроводниковые преобразователи частоты (ПЧ).

Чтобы регулировать частоту вращения, достаточно изменить частоту тока f_1 . Но с изменением частоты

$f_1 = \omega_1 p / (2\pi)$ изменяется и максимальный момент M_{max} .

Чтобы сохранить неизменными перегрузочную способность, коэффициент мощности и КПД двигателя на требуемом уровне необходимо одновременно с изменением частоты f_1 изменять и напряжение питания U_1 . Это определяется уравнением:

$$U'_1 / U_1 = (f'_1 / f_1) \sqrt{M' / M}$$

M_{\max} должен оставаться неизменным:

$$M_{\max} = \frac{m_1 U_1^2 p}{\omega_1 (x_1 + x_2)}, \quad M_{\max} \approx k_1 \frac{U_1^2}{f_1^2}$$

где K_1 -постоянная величина: $K_1 = \frac{m_1 p}{2\pi(x_1 + x_2)}$

Отношение моментов M_{\max} при двух значениях частоты f_1 будет равно:

$$\frac{M_{\max(1)}}{M_{\max(2)}} = \left(\frac{U_{1(1)} f_{1(2)}}{U_{1(2)} f_{1(1)}} \right)^2,$$

Откуда общий закон изменения U_1 при изменении f_1 .

$$\frac{U_{1(2)}}{U_{1(1)}} = \frac{f_{1(2)}}{f_{1(1)}} \sqrt{\frac{M_{\max(2)}}{M_{\max(1)}}}$$

Здесь возможны два варианта регулирования n_2 .

1) При $M = \text{const}$

2) При $P = \text{const}$

$$\frac{U_{1(2)}}{U_{1(1)}} = \frac{f_{1(2)}}{f_{1(1)}}$$

$$\frac{U_{1(2)}}{U_{1(1)}} = \sqrt{\frac{f_{1(2)}}{f_{1(1)}}}$$

Момент изменяется в этом случае обратно пропорционально n_2 , а, следовательно, и f_1

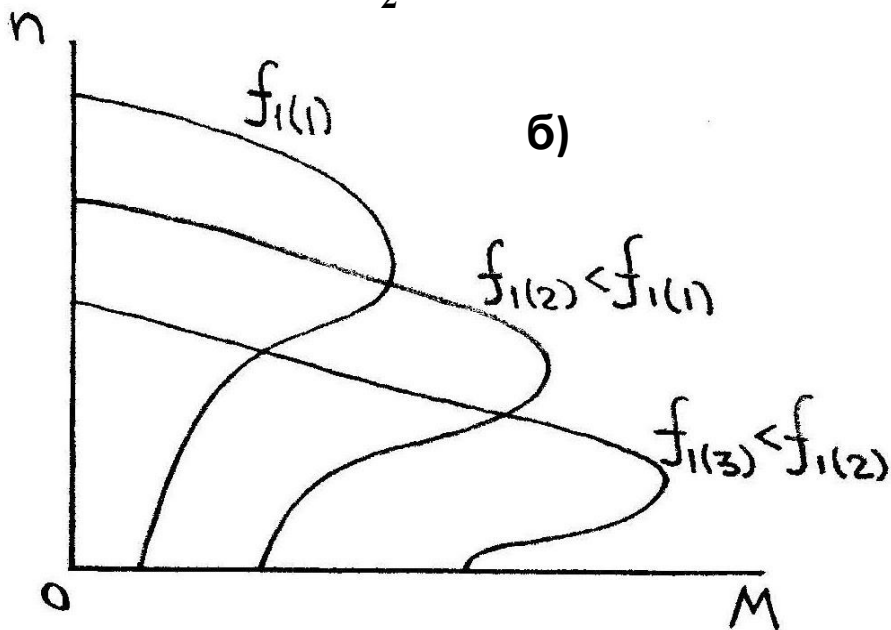
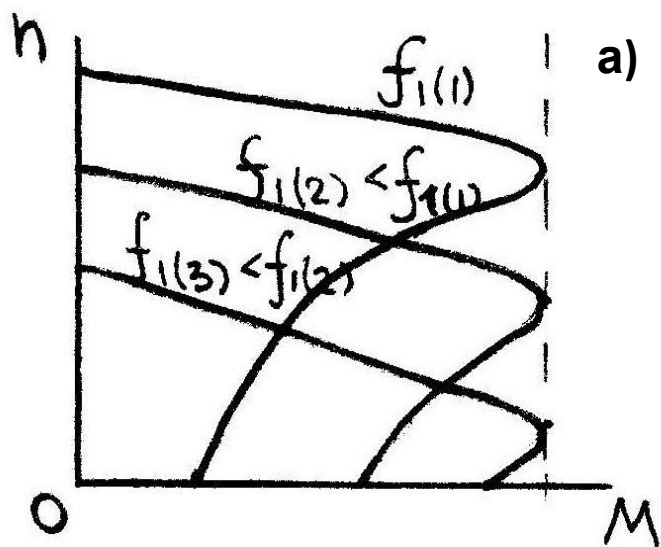


Рис.2. Механические характеристики АД при разных значениях f_1 : а) при $M = \text{const}$, б) при $P_2 = \text{const}$

3. Регулирование n_2 путём изменения числа полюсов (или пар полюсов $p = \text{var}$).

Этот способ регулирования частоты вращения дает ступенчатую регулировку. Так, при $f_1 = 50$ Гц и $p = 1 \div 5$ пар полюсов можно получить следующие синхронные частоты вращения: 3000, 1500, 1000, 750, 600 об/мин.

Изменять число полюсов в обмотке статора можно:

1. укладкой на статоре двух обмоток с разным числом полюсов,
2. укладкой на статоре одной обмотки, конструкция которой позволяет путем переключения катушечных групп получать различное число полюсов.

Последний способ получил наибольшее применение (рис.3).

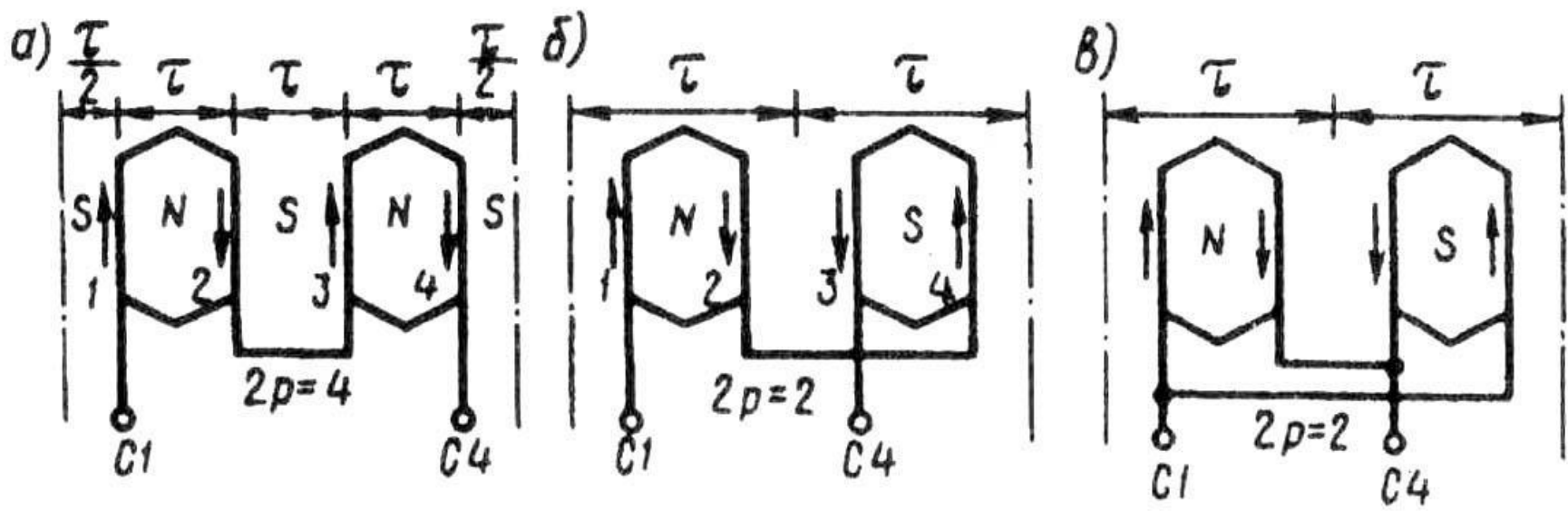


Рис 3. Схемы включения обмотки статора на разное число полюсов:

- а) последовательно-согласное,**
- б) последовательно-встречное;**
- в) параллельное**

Изменяя ток в одной из катушек можно изменить число пар полюсов. Такие АД называются многоскоростными, чаще 2-х скоростные, реже 3 – х и 4 – х скоростные.

4 – х скоростные имеют две обмотки на статоре. Обычно такое переключение делают в АД с короткозамкнутым ротором. В двигателях с фазным ротором подобные переключения необходимо выполнять и на роторе, а это сложно и дорого.

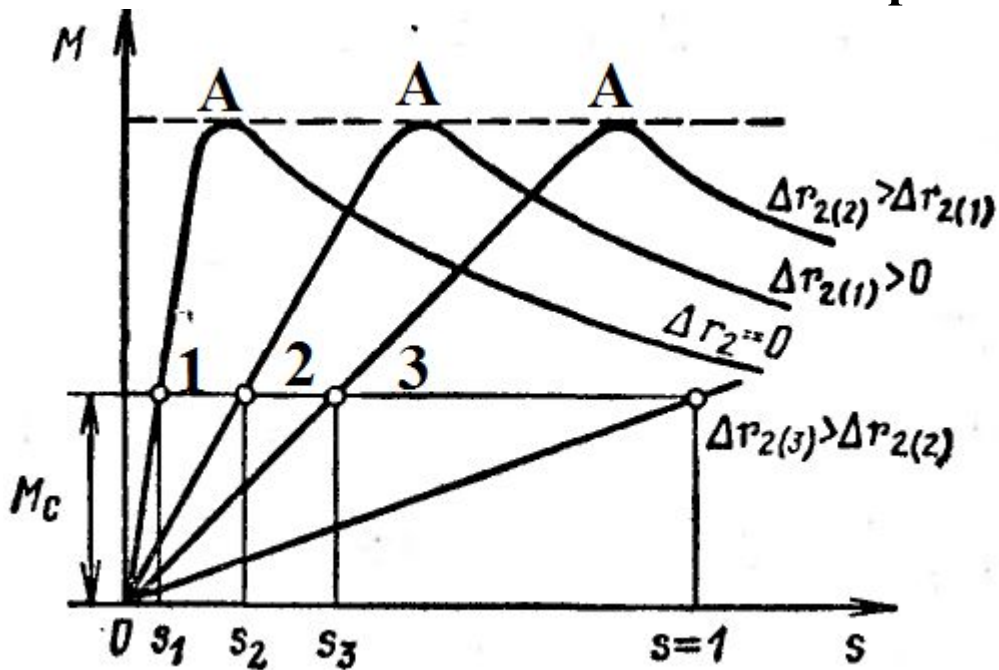
Недостатки этого способа:

- 1. Резко выраженная ступенчатость.**
- 2. Худшее использование активных материалов.**
- 3. Чувствительность к высшим гармоникам (высокая чувствительность).**

4. Регулирование n_2 путём изменения сопротивления в цепи ротора ($r_2 = \text{var}$).

Такое возможно только для двигателей с фазным ротором

Рис.4. Характеристика $M = f(S)$ при $r'_2 = \text{var}$



Регулирование частоты вращения возможно лишь в нагруженном двигателе, т.е. в сторону уменьшения скорости до $n_2 = 70\% n_{\text{ном}}$.
Недостатки этого способа.

- Большие потери в цепи ротора
 - $P_{\text{э2}} \uparrow \uparrow$. КПД уменьшается $\eta \downarrow \downarrow$
 - ($P_{\text{э2}} = S \cdot P_{\text{эм}}$). Ухудшаются условия охлаждения.
- Пологий участок устойчивой работы $0A$ при колебаниях нагрузки сильно влияет на n_2 (чувствительность к колебаниям нагрузки большая).

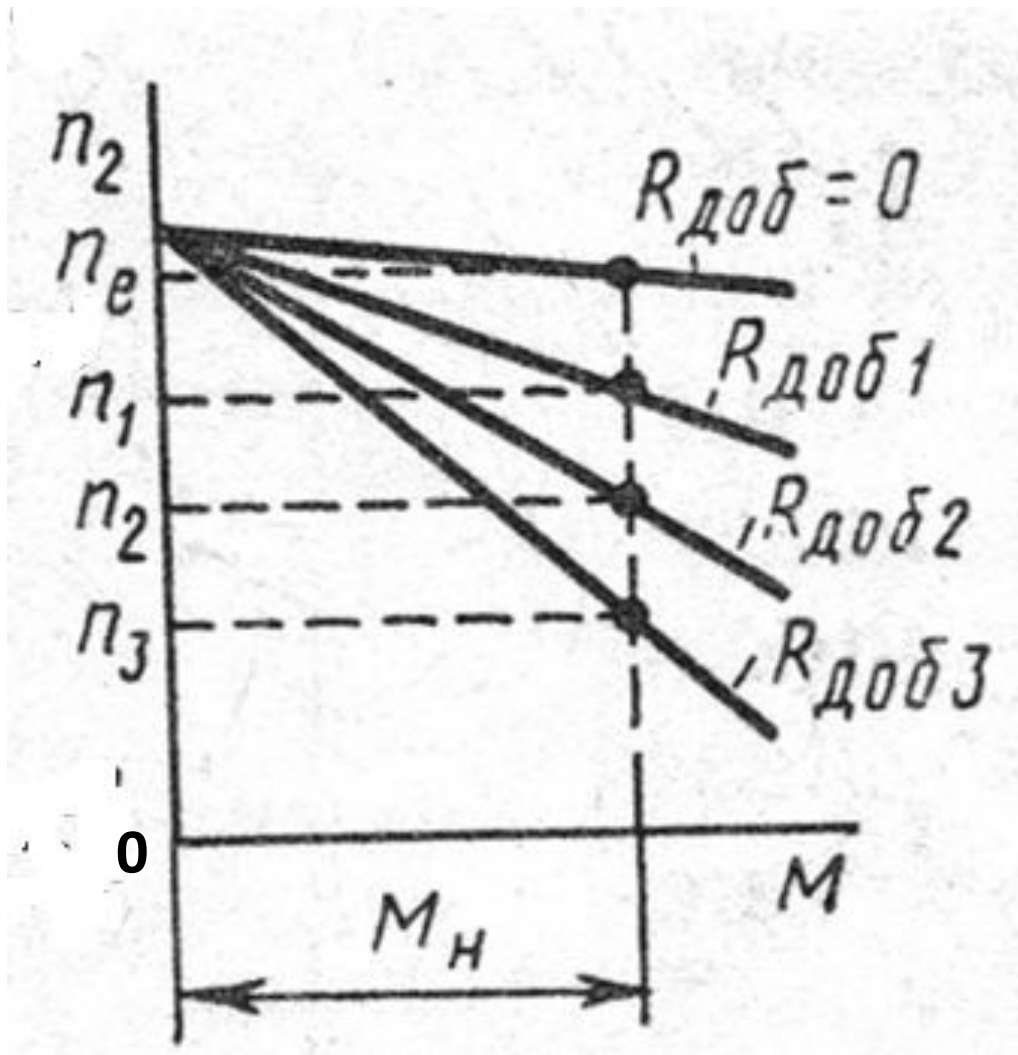


Рис.5 Механические характеристики при регулировании частоты вращения с помощью реостата в цепи ротора

Механические характеристики, построенные для разных r_2 показывают, что с увеличением r_2 возрастет скольжение (рис.4), соответствующее данному моменту $M_{ном}$, т.е. уменьшается частота вращения ротора n_2 (рис.5)

5. Введение в цепь ротора добавочной ЭДС (каскад АД).

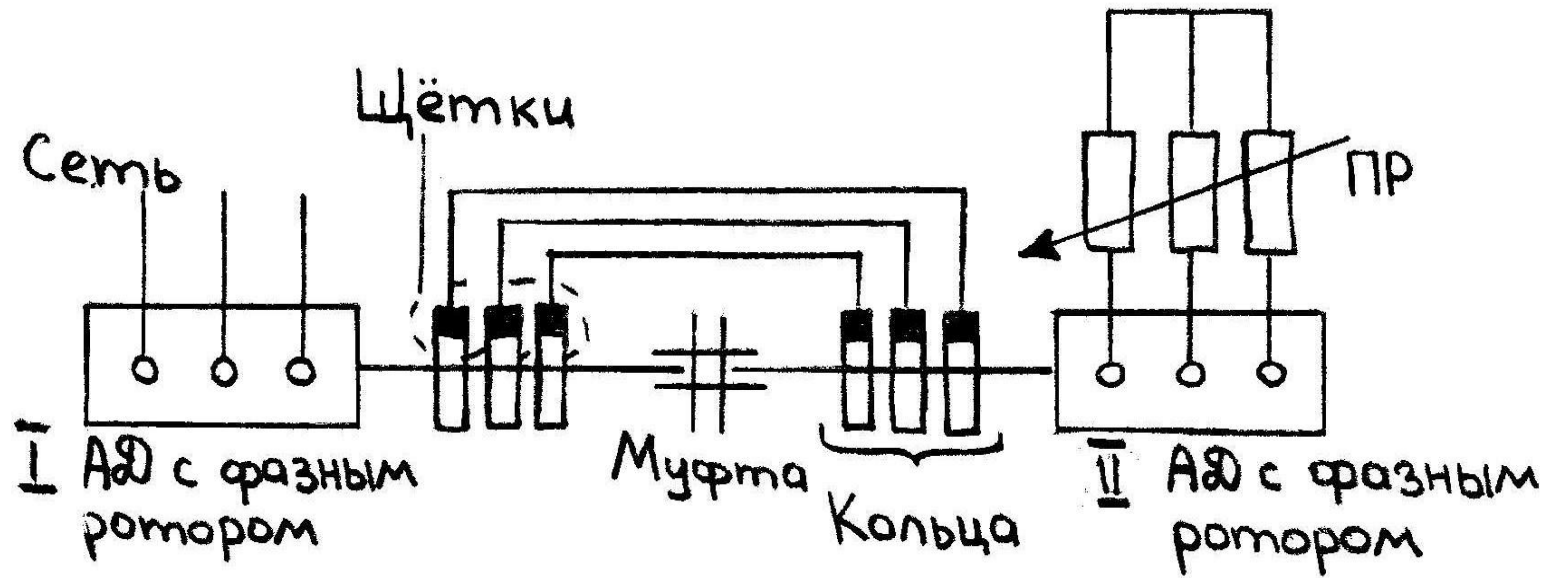


Рис.6 .Каскад АД

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p_1}$$

$$n_2 = \frac{60 f_1}{p_2}$$

$$n_{\text{каскада}} = \frac{60 f_1}{(p_1 + p_2)}$$

На рис.6.получаем три частоты вращения: n_1 , n_2 и $n_{\text{каскада}}$.

Достоинства.

Малый пусковой ток и большой вращающий момент

Недостатки.

- **Большой ток ХХ.**
- **Меньший $\cos\varphi$.**
- **Меньший КПД.**

Меньшая перегрузочная способность

Однофазный АД.

Однофазными на практике принято называть двигатели, питающиеся от однофазной сети переменного тока.

Как правило, по своему устройству эти двигатели являются двухфазными – на их статоре располагают не одну, а две сдвинутые в пространстве обмотки (фазы) переменного тока (одна занимает 2/3 пазов статора, другая – 1/3 пазов).

Уравнение вращающегося поля: $F_{(t,a)} = F_m \sin(t \pm a)$

Уравнение пульсирующего поля: $F_{(t,a)} = F_m \sin t \cos a$

Пульсирующее поле можно представить в виде двух бегущих в противоположные стороны полей:

$$F_{(t,a)} = F_m \sin t \cos a = \frac{F_m}{2} \sin(t + a) + \frac{F_m}{2} \sin(t - a)$$

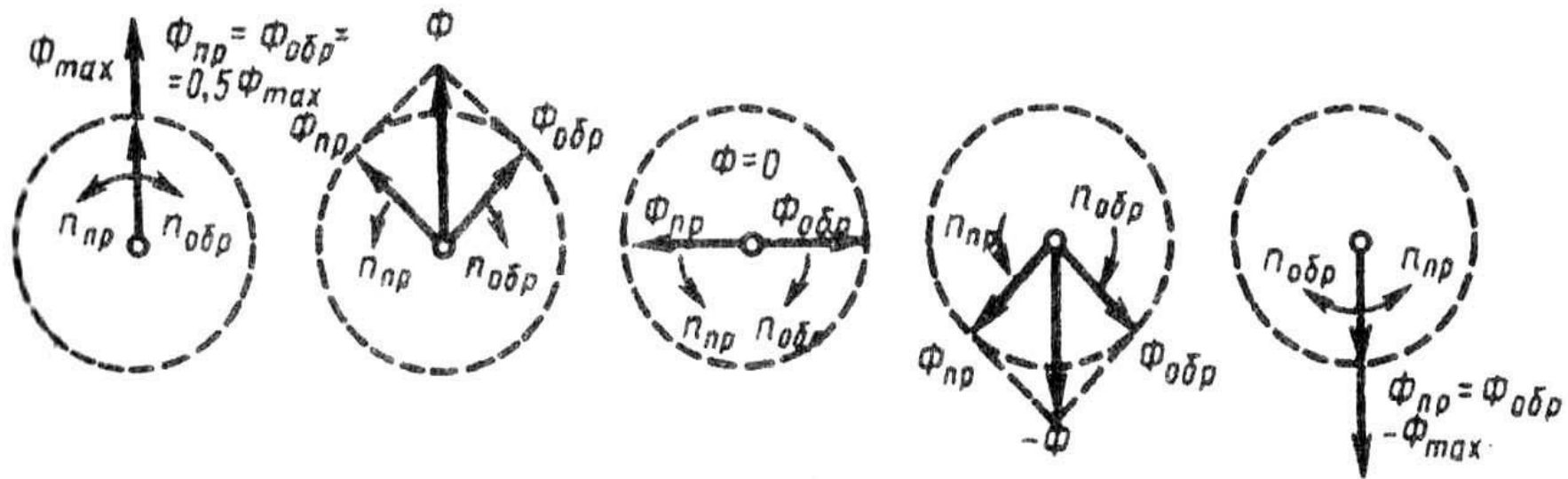


Рис. 7. Разложение пульсирующего магнитного потока на два вращающихся

Однофазный АД без специальных условий не имеет пускового момента. Предположим, что этот двигатель мы раскрутим в одну из сторон, тогда скольжение ротора относительно прямого поля выражается так:

$$S_{(1)} = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

а скольжение ротора относительно обратного поля так:

$$S_{(2)} = \frac{n_1 - (-n_2)}{n_1} = 2 - S_{(1)}$$

Соответственно , частоты:

$$f_{2(1)} = f_1 \cdot S_{(1)} \quad f_{2(2)} = f_1(2 - S_{(1)})$$

И момент:

$$M_{\text{пуск}} = M_{(1)} - M_{(2)}$$

При $s_{\text{пр}} = s_{\text{обр}} = 1$ моменты $M_{\text{пр}}$ и $M_{\text{обр}}$ равны, а поэтому пусковой момент однофазного двигателя равен нулю. Следовательно, однофазный асинхронный двигатель не может самостоятельно прийти во вращение при подключении его к сети, а нуждается в первоначальном толчке, так как лишь при $s \neq 1$ на ротор двигателя действует вращающий момент $M = M_{\text{пр}} - M_{\text{обр}}$.

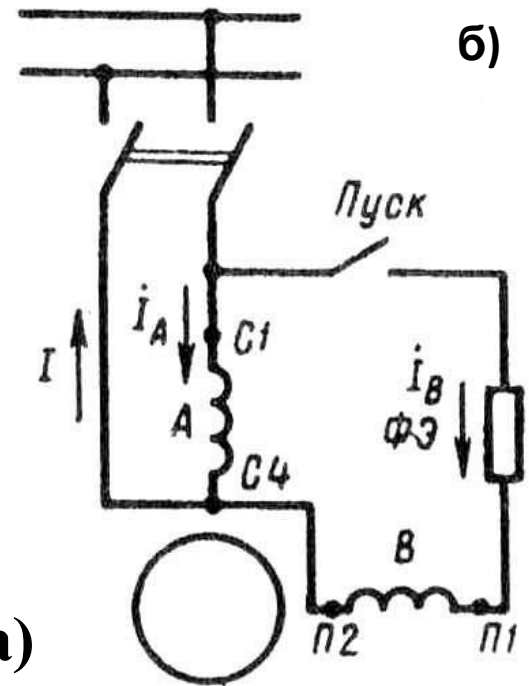
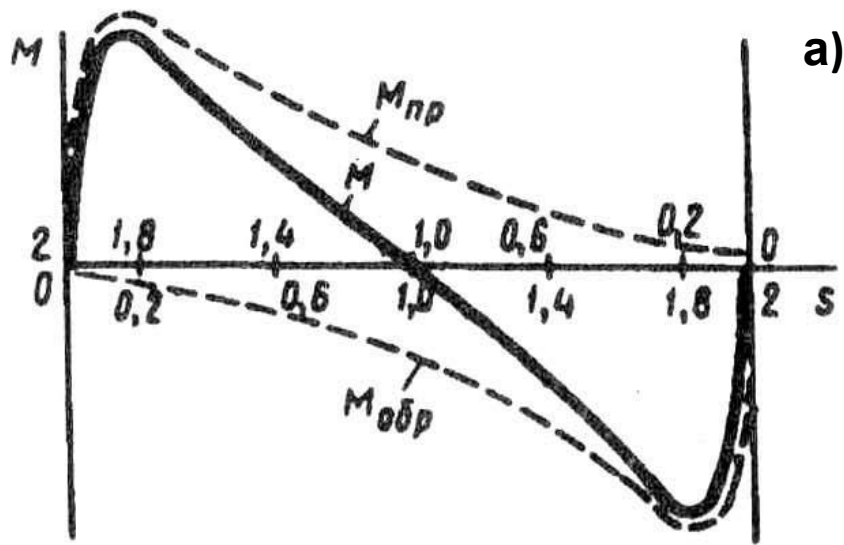


Рис.8. Механическая характеристика а) и схема б) однофазного АД

Объяснить появление вращающего момента при скольжении не равном 1 можно следующим образом.

Пример.

$S_{\text{ном}} = 0,02$, тогда $f_{2(1)} = f_1 \cdot 0,02 = 1$ Гц – частота тока в роторе от прямого поля,

$f_{2(2)} = f_1(2 - S) = 50(2 - 0,02) = 99$ Гц - частота тока от обратного поля.

Индуктивное сопротивление цепи ротора току от обратного поля ($I_{2(2)}$) очень велико. Поэтому этот ток носит индуктивный характер и сказывается его размагничивающее действие на обратном вращающемся моменте.

($M_{(2)}$ уменьшается).

Условия пуска однофазного АД.

- 1. Намагничивающие силы рабочей и пусковой обмоток должны быть равны и сдвинуты в пространстве на 90° .**
- 2. Токи в рабочей и пусковой обмотке должны быть сдвинуты по фазе на 90° (в качестве фазосмещающих элементов (ФЭ) используют активные R, индуктивные L или ёмкостные C сопротивления).**

Если ротор раскрутить в одну из сторон, то появится результирующий момент и в какое то время наступит равновесие с моментом сопротивления - двигатель будет работать при скорости n_2 . Однако в действительности двигатель никто не раскручивает - он раскручивается сам, благодаря установке фазосмещающего элемента в пусковую обмотку. В случае установки активного или индуктивного ФЭ поле будет эллиптическим, при ёмкостном ФЭ – поле будет круговым (это лучший вариант).

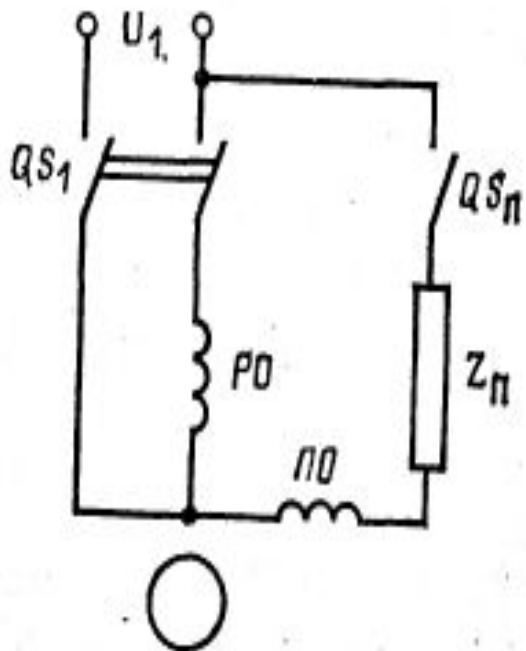


Рис.9 Схема пуска однофазного двигателя

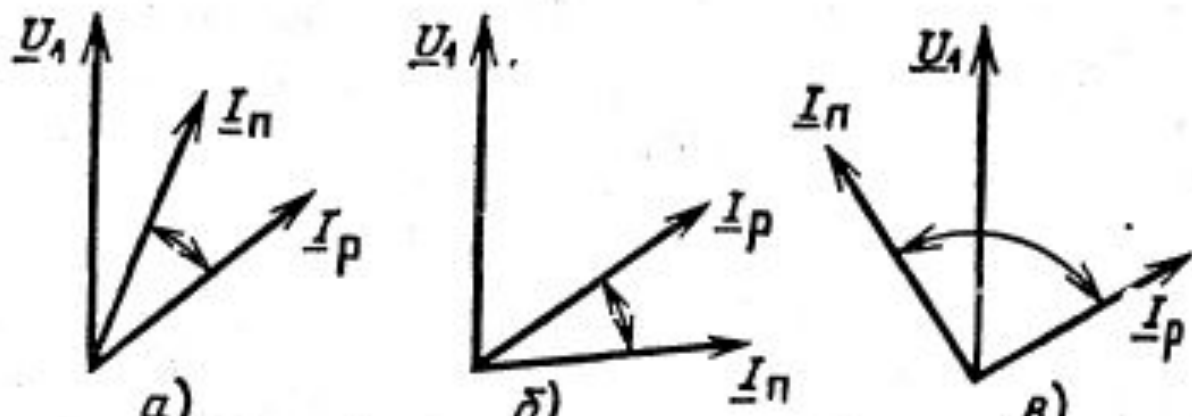


Рис. 10 Векторные диаграммы пусковых токов однофазного двигателя при различных сопротивлениях $Z_{п}$:

а — активное сопротивление; *б* — индуктивное сопротивление; *в* — емкостное сопротивление

Выводы:

Для того чтобы получить круговое вращающееся поле, необходимо выполнить следующие условия:

- 1) пусковая и рабочая обмотки должны быть смещены в пространстве на электрический угол, равный 90° .
- 2) МДС этих обмоток должны быть равны;
- 3) токи в обмотках должны иметь временной сдвиг на 90° .

Конденсаторный двигатель

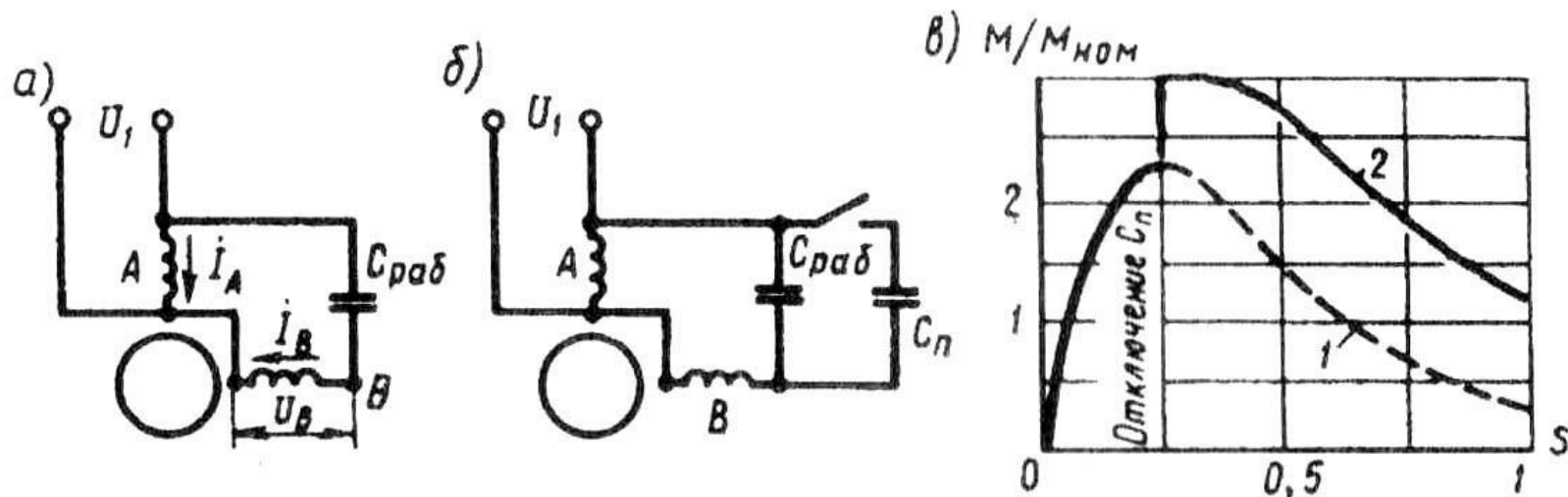


Рис. 11. Конденсаторный двигатель:
а — с рабочей емкостью, б — с рабочей и пусковой емкостями, в — механические характеристики;
1 — при рабочей емкости, 2 — при рабочей и пусковой емкостях

В отличие от рассмотренного ранее однофазного АД в конденсаторном двигателе вспомогательную обмотку после пуска не отключают (Рис.11,б), а оставляют включенной в течение всего периода работы, при этом емкость $C_{\text{раб}}$ создает фазовый сдвиг между токами

$$I_A \text{ и } I_B$$

Таким образом, если однофазный асинхронный двигатель по окончании процесса пуска работает с пульсирующей МДС статора, то конденсаторный двигатель - с вращающейся. Поэтому конденсаторные двигатели по своим свойствам приближаются к трехфазным двигателям.

При сравнительно высоком КПД и коэффициенте мощности ($\cos \varphi_1 = 0,80 \div 0,95$), конденсаторные двигатели имеют неудовлетворительные пусковые свойства, так как емкость $C_{\text{раб}}$ обеспечивает круговое поле лишь при расчетной нагрузке, а при пуске двигателя поле статора эллиптическое.

При этом пусковой момент обычно не превышает $0,5M_{\text{НОМ}}$.

Для повышения пускового момента параллельно емкости $C_{\text{раб}}$ включают емкость $C_{\text{пуск}}$, называемую пусковой (рис.11, б).

Величину $C_{\text{пуск}}$ выбирают, исходя из условия получения кругового поля статора при пуске двигателя, т. е. получения наибольшего пускового момента. По окончании пуска емкость $C_{\text{пуск}}$ следует отключать, так как при небольших скольжениях в цепи обмотки статора, содержащей емкость C и индуктивность L , возможен резонанс напряжений, из-за чего напряжение на обмотке и на конденсаторе может в два-три раза превысить напряжение сети.

Что будет с трёхфазным АД, если оборвалась одна фаза?

- Если фаза оборвана до начала пуска, то двигатель не запустится (при $S=1$ пусковой момент $M_{\text{п}} = 0$) (Рис.12).
- Если обрыв фазы произошёл во время работы, то двигатель будет работать, но с худшими технико – экономическими показателями (точка А при скольжении $S_{(1)}$)

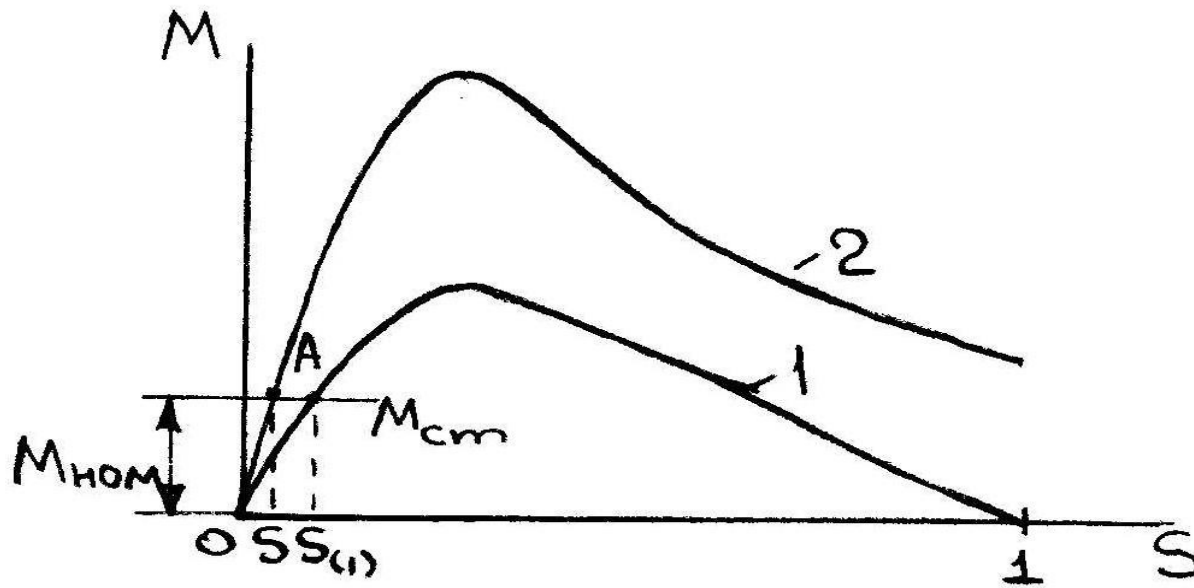
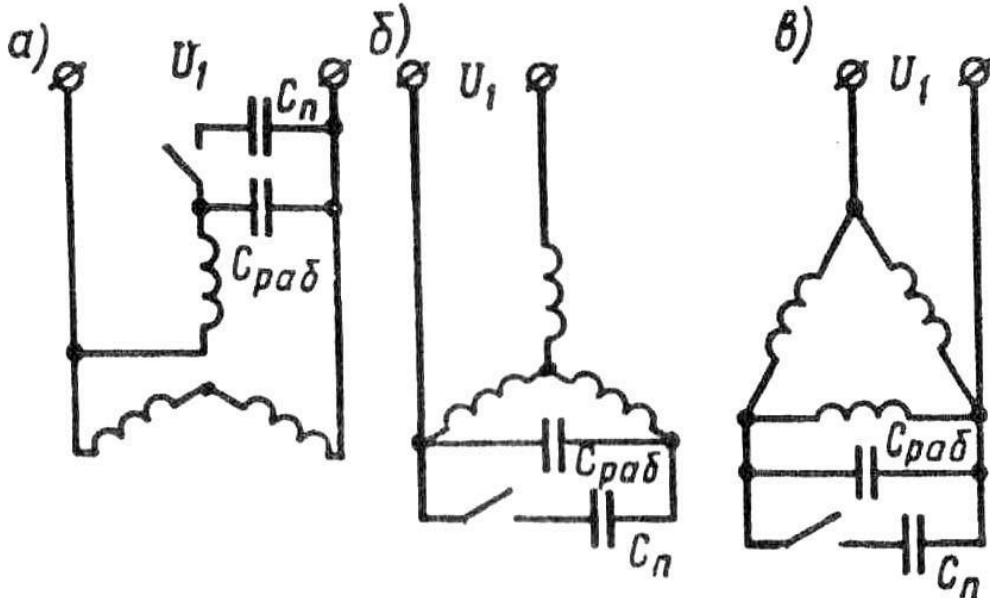


Рис.12

- 1 – характеристика однофазного АД.
- 2 – характеристика трёхфазного АД

•

Работа 3-х фазного асинхронного двигателя от однофазной сети



Ёмкость $C_{раб}$ подбирают по эмпирическим формулам:

$$C_{раб} \approx 2700 I_1 / U_c \quad C_{раб} \approx 2800 I_1 / U_c \quad C_{раб} \approx 4800 I_1 / U_c$$

Рис 13. Схемы соединения обмотки статора 3-х фазного АД при включении его в однофазную сеть и расчёт рабочей ёмкости для каждого варианта

При подборе рабочей емкости необходимо следить за тем, чтобы ток в фазных обмотках статора при установившемся режиме работы не превышал номинального значения.

Если пуск двигателя происходит при значительной нагрузке на валу, то параллельно рабочей емкости $C_{\text{раб}}$ следует включить пусковую емкость

$$C_{\text{п}} = (2,5 \div 3,0) C_{\text{раб}}$$

В этом случае пусковой момент становится равным номинальному. При необходимости дальнейшего увеличения пускового момента следует принять еще большее значение пусковой емкости ($C_{\text{п}} \leq 8C_{\text{раб}}$).

Большое значение для надежной работы АД в качестве конденсаторного имеет правильный выбор конденсатора по напряжению.

Следует иметь в виду, что габариты и стоимость конденсаторов определяются не только их емкостью, но и рабочим напряжением.

Поэтому выбор конденсатора с большим “запасом” по напряжению ведет к неоправданному увеличению габаритов и стоимости установки, а включение конденсаторов на напряжение, превышающее допустимое рабочее напряжение, приводит к преждевременному выходу из строя конденсаторов, а, следовательно, и всей установки