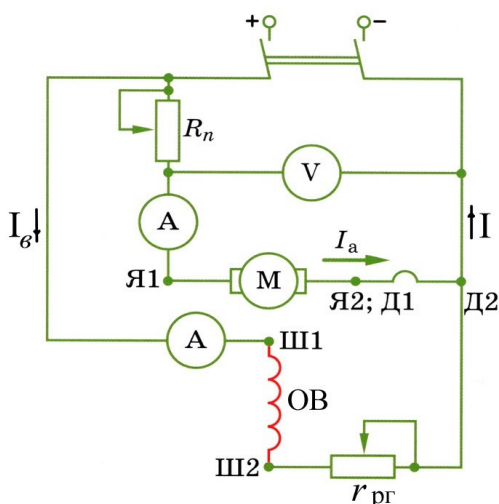


Двигатель последовательного возбуждения



В этом двигателе обмотка возбуждения включена последовательно в цепь якоря, поэтому магнитный поток Φ зависит от тока нагрузки $I = I_a = I_{\phi}$.

При небольших нагрузках магнитная система машины ненасыщенна и зависимость магнитного потока от тока нагрузки прямо пропорциональна, т.е. $\Phi = k_{\phi} I_a$, где k_{ϕ} – коэффициент пропорциональности. При этом электромагнитный момент: $M = C_m k_{\phi} I_a^2$.

Формула частоты вращения принимает вид:

$$n = \frac{U - I_a \cdot R_a}{C_e \cdot k_{\phi} \cdot I_a}$$

Таким образом, вращающий момент двигателя при ненасыщенной магнитной системе пропорционален квадрату тока, а частота вращения обратно пропорциональна току нагрузки.

Рабочие характеристики

1) Скоростная характеристика $n=f(I)$

При ненасыщенной магнитной системе (при малых нагрузках) с увеличением нагрузки частота вращения резко убывает. Но затем наступает насыщение магнитной системы двигателя и магнитный поток при возрастании нагрузки практически не изменяется и скоростная характеристика приобретает почти прямолинейный характер. Такую характеристику принято называть **мягкой**.

При уменьшении нагрузки двигателя постоянного тока последовательного возбуждения частота вращения резко увеличивается и при нагрузке меньше 25% от номинальной может достигнуть опасных для двигателя значений (**«разнос»**). Поэтому работа двигателя последовательного возбуждения или его пуск при нагрузке на валу меньше 25% от номинальной недопустима.

Для более надежной работы вращающий момент с двигателя на рабочий механизм передают только с помощью зубчатых передач. Применение ременных и цепных передач недопустимо, так как при разрыве гибкой связи может произойти **«разнос»** двигателя.

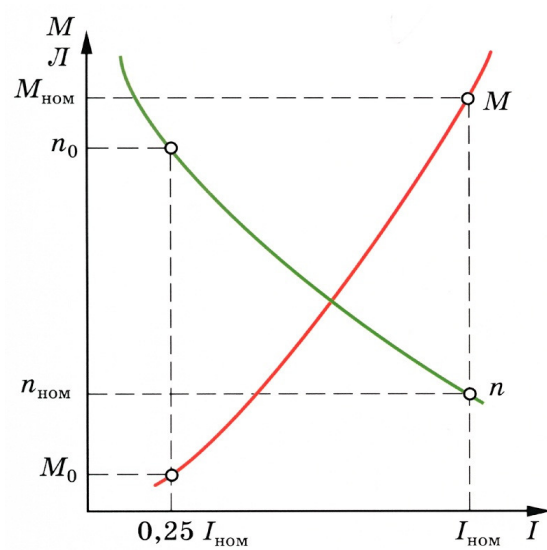
2) Зависимость электромагнитного момента M от тока нагрузки $M=f(I)$

Электромагнитный момент M при увеличении нагрузки резко возрастает, так как он пропорционален квадрату тока нагрузки.

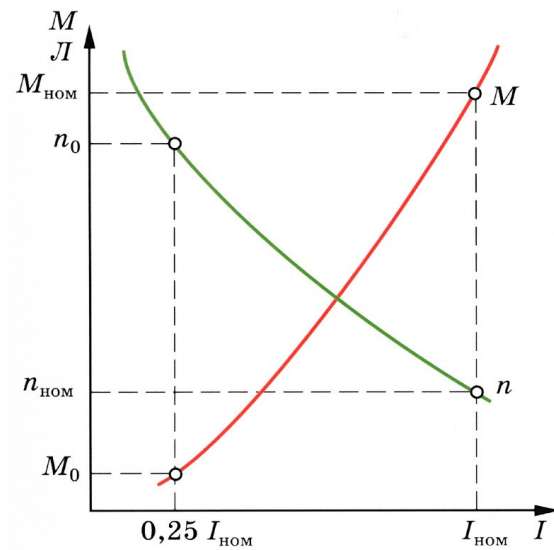
3) Механическая характеристика $n=f(M)$

Резко падающая кривая механической характеристики обеспечивает двигателю постоянного тока последовательного возбуждения устойчивую работу при любой нагрузке большей 25% от номинальной.

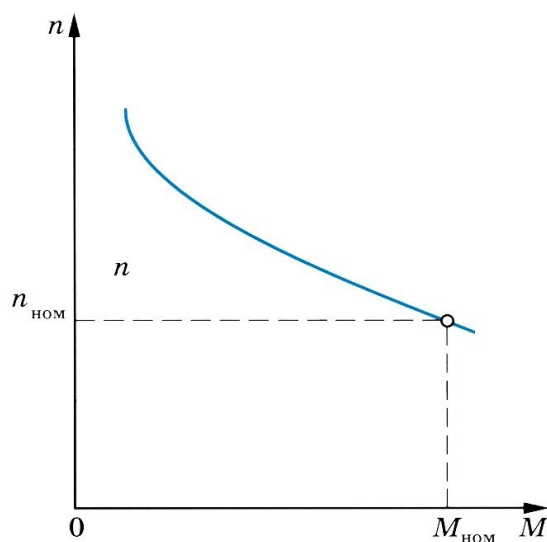
Графики этих характеристик представлены в таблице:



Скоростная характеристика $n=f(I)$



Зависимость электромагнитного момента M от тока нагрузки $M=f(I)$



Механическая характеристика двигателя последовательного возбуждения

Регулирование частоты вращения двигателя последовательного возбуждения.

Это можно делать двумя способами:

изменением напряжения U

изменением величины магнитного потока Φ .

а) Изменение напряжения U подаваемого на двигатель

Для этого в цепь якоря включают регулировочный реостат $R_{\text{пр}}$.

С увеличением сопротивления реостата уменьшается напряжение на входе двигателя и частота его вращения ($\uparrow R_{\text{пр}} \Rightarrow \downarrow U \Rightarrow \downarrow n$). Этот метод применяют для двигателей небольшой мощности. В случае значительной мощности этот способ неэкономичен из-за больших потерь мощности в регулируемом реостате.

При **ПАРАЛЛЕЛЬНОМ** включении двух двигателей каждый из них оказывается под полным напряжением сети, а при **ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОМ** включении двух двигателей на каждый двигатель приходится половина напряжения сети

При одновременной работе большего числа двигателей возможно большее количество вариантов включения. Этот способ регулирования частоты вращения применяют на электровозах. Изменение подводимого к двигателю напряжения возможно также при питании его от источника постоянного тока с регулируемым напряжением.

б) Изменение основного магнитного потока

Изменять величину магнитного потока можно тремя способами.

1) Шунтирование обмотки возбуждения

Параллельно к обмотке возбуждения подключают реостат $r_{\text{пр}}$. Уменьшение сопротивления этого реостата ведет к снижению тока возбуждения $I_{\text{в}} = I_{\text{а}} - I_{\text{пр}}$, а следовательно, к увеличению частоты вращения ($\downarrow r_{\text{пр}} \Rightarrow \uparrow I_{\text{пр}} \Rightarrow \downarrow I_{\text{в}} \Rightarrow \downarrow \Phi \Rightarrow \uparrow n$)

Этот способ экономичен и часто применяется, например, для регулирования частоты вращения тяговых двигателей тепловозов.

2) Шунтирование обмотки якоря

При шунтировании обмотки якоря реостатом $r_{\text{ш}}$ увеличивается ток возбуждения $I_{\text{в}} = I_{\text{а}} + I_{\text{ш}}$, что вызывает уменьшение частоты вращения ($\downarrow r_{\text{ш}} \Rightarrow \uparrow I_{\text{ш}} \Rightarrow \uparrow I_{\text{в}} \Rightarrow \uparrow \Phi \Rightarrow \downarrow n$).

Этот способ неэкономичен и применяется редко.

3) Секционирование обмотки возбуждения

В этом случае обмотка возбуждения имеет конструкцию, позволяющую включать в работу разное число витков $w_{\text{в}}$, при этом изменяется МДС обмотки возбуждения ($F_{\text{в}} = w_{\text{в}} \cdot I_{\text{в}}$), следовательно, меняется основной магнитный поток Φ и частота вращения. Например, $\downarrow w_{\text{в}} \Rightarrow \downarrow F_{\text{в}} \Rightarrow \downarrow \Phi \Rightarrow \uparrow n$ и наоборот.

Применение двигателей последовательного возбуждения.

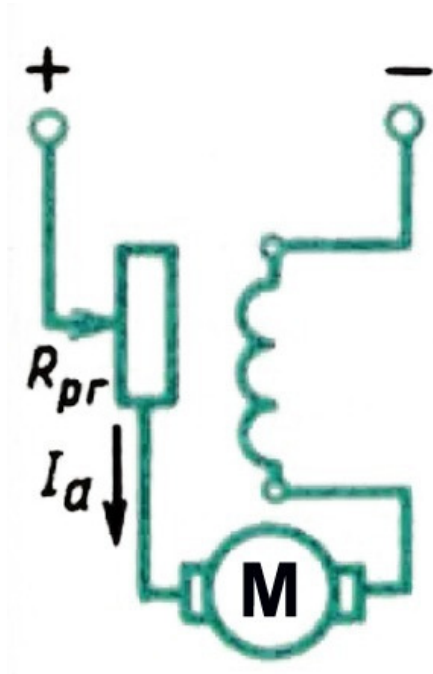
Таким образом, двигатели последовательного возбуждения обладают следующими свойствами:

- 1) развивают большой вращающий момент пропорциональный квадрату тока, что важно в тяжелых условиях пуска и при перегрузках;
- 2) при постепенном увеличении нагрузки мощность на входе двигателя растет медленнее, чем вращающий момент, так как момент пропорционален квадрату тока, а потребляемая мощность - току в первой степени ($P_1 = U \cdot I$)

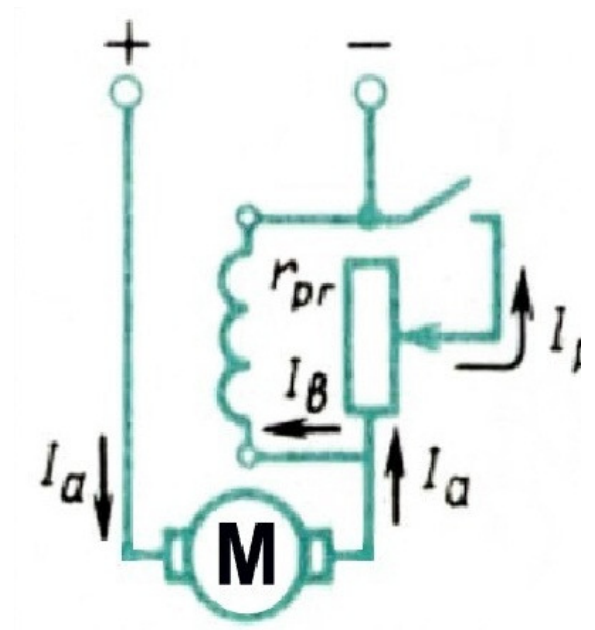
3) двигатели могут устойчиво работать на малых оборотах;

4) устойчиво работают при любой нагрузке большей 25% от номинальной.

Поэтому эти двигатели широко применяют в качестве тяговых на транспорте, в качестве крановых в подъёмных установках, т.е. во всех случаях электропривода с тяжелыми условиями пуска и сочетания значительных нагрузок на вал двигателя с малой частотой вращения.



Регулирование частоты вращения якоря
изменением напряжения, подаваемого
на двигатель последовательного возбуждения



Шунтирование обмотки возбуждения
двигателя последовательного возбуждения