

Лантёва Мария Вариант 85
ИУ2-42

По заданным характеристикам двигателя постоянного (ДПТ) тока, заданным в таблице 1 требуется:

1. Нарисовать электрическую схему включения ДПТ с параллельным возбуждением. Определить номинальный электромагнитный момент двигателя, номинальный ток якоря и ток в обмотке возбуждения.
2. Рассчитать и построить естественные механическую $n = f(M)$ и электромеханическую $n = f(I_a)$ характеристики. Определить пусковой момент, пусковой ток и скорость холостого хода двигателя, а также рассчитать скорость вращения n_D при моменте сопротивления $M_D = M_n k$ на валу двигателя.
3. Рассчитать и построить механические характеристики ДПТ при:
 - 3.1 Якорном управлении ($U' = U q1$);
 - 3.2 Реостатном регулировании ($R_{я.доб.} = R_{я} q2$);
 - 3.3 Полюсным управлением ($\Phi' = \Phi q1$).
4. Рассчитать и построить естественные и искусственные механические характеристики ДПТ при:
 - 4.1 Генераторном торможении ($n_T = n_n h1$);
 - 4.2 Динамическом торможении ($n_T = n_D$);
 - 4.3 Противовключении ($n_T = n_D$),При этом момент сопротивления на валу (тормозящий момент) $M_T = -M_n k$.
5. Сделать выводы.

Дано

$P_n = 680 \text{ Вт}$ - номинальная мощность двигателя

$U_n = 220 \text{ В}$ - номинальное напряжение двигателя

$n_n = 1500 \text{ об/мин}$ - номинальная частота вращения ротора

$\eta_n = 0,65$ - КПД при номинальной нагрузке

$R_a = 3,5 \text{ Ом}$ - сопротивление обмотки якоря

$R_{доб.п} = 3,4 \text{ Ом}$ -

$R_{возб} = 330 \text{ Ом}$ - сопротивление обмотки возбуждения

$k = 0,7$

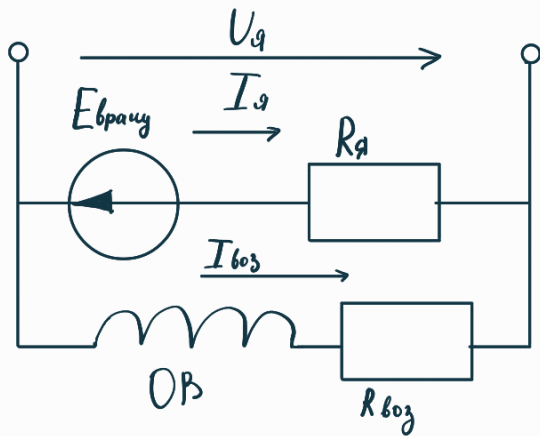
$q_1 = 0,9$

$q_2 = 4$

$h_1 = 1,1$

$h_2 = 0,55$

1. Нарисуем электрическую схему включения ДПТ с параллельным возбуждением.



Используя номинальные данные $P_{2н} = P_n$ и P_n , можно вычислить номинальный вращающий момент двигателя

$$M_n = 9,55 \cdot \frac{P_{2н}}{P_n}, \text{ где } P_{2н} - \text{номинальная полезная мощность}$$

$$M_n = 9,55 \cdot \frac{P_n}{P_n} = 9,55 \cdot \frac{680}{1500} = 4,329 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$\text{Номинальный ток возбуждения } I_{боз} = \frac{U_{боз}}{R_{боз}}$$

$$\text{Причем } U_{боз} = U_d = U_n$$

$$I_{боз} = \frac{U_{боз}}{R_{боз}} = \frac{U_n}{R_{боз}} = \frac{220}{330} = 0,667 \text{ А}$$

Номинальная электрическая мощность, потребляемая из сети двигателем

$$P_{1н} = \frac{P_{2н}}{\eta_n} = U_d \cdot I_{a-н} + U_{боз} \cdot I_{боз} \Rightarrow I_{a-н} = \frac{P_{1н}}{U_n} - I_{боз}$$

$$P_{1н} = \frac{P_{2н}}{\eta_n} = \frac{680}{0,65} = 1046,154 \text{ Вт}$$

$$I_{a-н} = \frac{P_{1н}}{U_d} - I_{боз} = \frac{1046,154}{220} - 0,667 = 4,088 \text{ А}$$

2. Уравнение электрического состояния силовой цепи двигателя можно записать в виде:

$$U = E + I_a \cdot (R_a + R_{дон\text{ non}}), \text{ где } E = C_E \cdot \Phi \cdot n$$

$$E_n = U_n - I_a \cdot (R_a + R_{дон\text{ non}}) = 220 - 4,088(3,5 + 3,4) = 191,793 \text{ В}$$

Уравнение электрохимической характеристики $n = f(I_a)$ имеет вид:

$$n = \frac{U_a}{C_E \cdot \Phi} - \frac{I_a (R_a + R_{ген.ном})}{C_E \cdot \Phi} = n_0 - \Delta n$$

Учитывая, что $M = C_M \cdot \Phi \cdot I_a$, где C_M - коэффициент, определяемый конструктивными параметрами двигателя, получаем уравнение механической характеристики $n = f(M)$

$$n = \frac{U_a}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M (R_a + R_{ген.ном})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = n_0 - \Delta n$$

Постоянные коэффициенты $k_E = C_E \cdot \Phi$ и $k_M = C_M \cdot \Phi$ можно определить по формулам:

$$C_E \cdot \Phi = \frac{E_H}{n_H} \quad \text{и} \quad C_M \cdot \Phi = \frac{M_H}{I_{a-H}}$$

$$k_E = C_E \cdot \Phi = \frac{191,793}{1500} = 0,128 \text{ В} \cdot \text{мин} / \text{А}$$

$$k_M = C_M \cdot \Phi = \frac{M_H}{I_{a-H}} = \frac{4,329}{4,088} = 1,059 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{А}$$

Для построения естественной механической $n = f(M)$ и электрохимической $n = f(I_a)$

характеристик необходимо знать координаты 2-х точек:

1) $n = n_0$ при $M = 0$ и $I_a = 0$ (режим холостого хода, Х.Х.)

$$n_0 = \frac{U_a}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M (R_a + R_{ген.ном})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = \frac{220}{0,128} - \frac{0 (3,5 + 3,4)}{0,128 \cdot 1,059} = 1718,75 \text{ об/мин}$$

2) $n = n_H$ при $M = M_H$ и $I_a = I_{a-H}$ (номинальный режим)

$$n_H = \frac{U_a}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M_H (R_a + R_{ген.ном})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = \frac{220}{0,128} - \frac{4,329 (3,5 + 3,4)}{0,128 \cdot 1,059} = 1562,05 \text{ об/мин}$$

Пусковой момент $M_{пуск}$ и пусковой ток $I_{пуск}$ при $n = 0$:

$$0 = \frac{U_a}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M_{пуск} (R_a + R_{ген.ном})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} \Rightarrow M_{пуск} = \frac{U_a \cdot C_M \cdot \Phi}{R_a + R_{ген.ном}} = \frac{U_H \cdot C_M \cdot \Phi}{R_a + R_{ген.ном}} = \frac{220 \cdot 1,059}{3,5 + 3,4} = 33,765 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$I_{пуск} = \frac{U_a}{R_a + R_{ген.ном}} = \frac{220}{3,5 + 3,4} = 31,884 \text{ А}$$

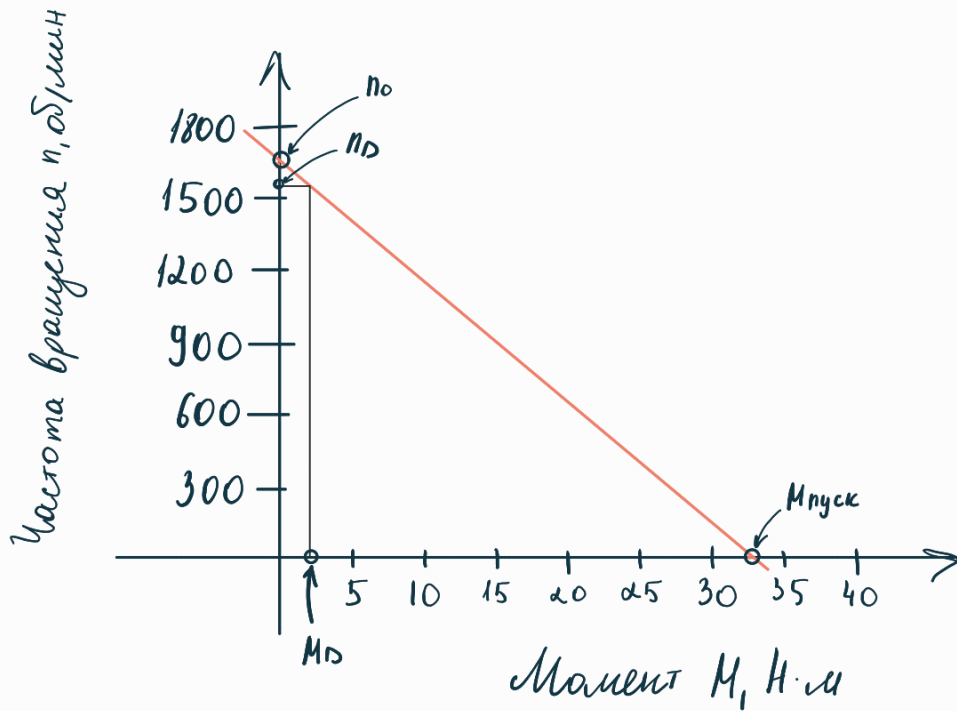
Определим частоту вращения, ток и момент, соответствующие моменту нагрузки на валу:

$$M_D = M_H \cdot k = 4,329 \cdot 0,7 = 3,03 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

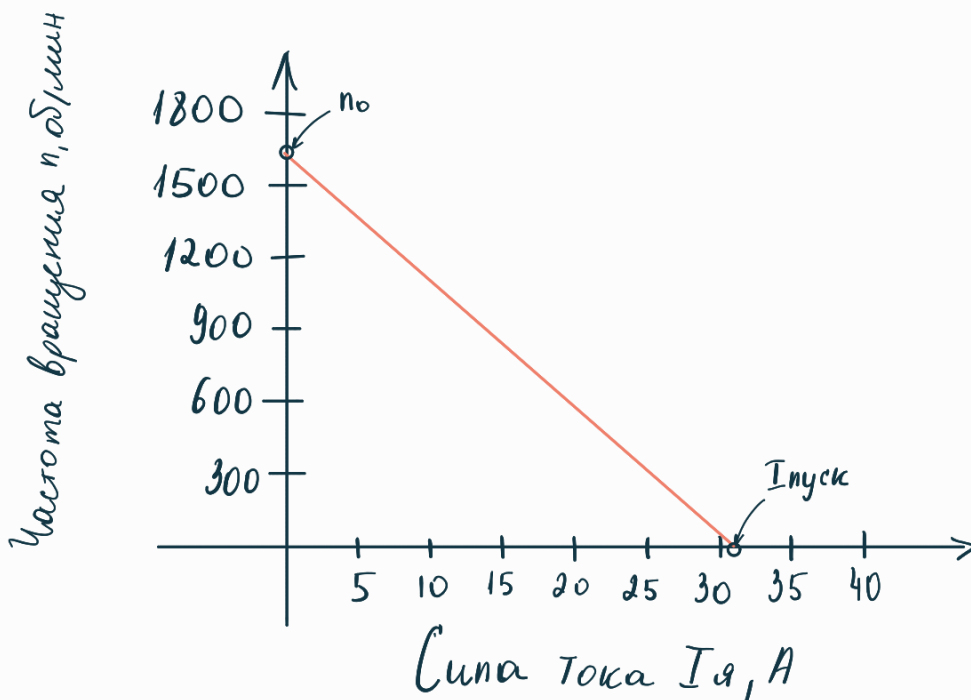
$$n_D = \frac{U_a}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M_D (R_a + R_{ген.ном})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = \frac{220}{0,128} - \frac{3,03 \cdot (3,5 + 3,4)}{0,128 \cdot 1,059} = 1564,514 \text{ об/мин}$$

$$I_D = \frac{M_D}{C_m \cdot \Phi} = \frac{3,03}{1,059} = 2,861 \text{ A}$$

Естественная механическая характеристика $n = f(M)$



Естественная электромеханическая система $n = f(I_a)$



3. Выражения для электрохимической характеристики $n = f(I_a)$ и механической характеристики $n = f(M)$ имеют вид:

$$n = \frac{U_a}{C_E \cdot \Phi} - \frac{I_a (R_a + R_{\text{гон.пол}})}{C_E \cdot \Phi} = n_0 - \Delta n$$

$$n = \frac{U_a}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M (R_a + R_{\text{гон.пол}})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = n_0 - \Delta n$$

3.1. Якорное управление ($U' = U_{q1}$)

Как следует из приведенных выражений, при уменьшении напряжения на якорной обмотке U_a и неизменной магнитной потокс ($\Phi = \text{const}$) по уменьшается пропорционально U_a , а Δn остается неизменным при одинаковых значениях момента M . Значит наклон характеристики $n = f(M)$ не меняется

Для построения искусственной характеристики $n' = f(M)$ в силу её линейности достаточно рассчитать координаты точки для режима холостого хода: $M=0$

$$n'_0 = \frac{U'}{C_E \cdot \Phi} = \frac{U_a \cdot q_1}{C_E \cdot \Phi} = n_0 \cdot q_1$$

Искусственная характеристика будет проходить параллельно естественной

$$n'_0 = n_0 \cdot q_1 = 1718,75 \cdot 0,9 = 1546,875 \text{ об/мин}$$

Коэффициент рекупирования K_D при заданном M_D

Вычисляем коэффициент рекупирования K_D частоты вращения n при изменении

напряжения источника питания $U' = U \cdot q_1$ и при моменте нагрузки $M_D = M_n \cdot K$:

$$n'_D = n'_0 - \frac{M_D (R_a + R_{\text{гон.пол}})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = 1546,875 - \frac{3,03 \cdot (3,4 + 3,5)}{0,128 \cdot 1,059} = 1392,639 \text{ об/мин}$$

$$K_D = \frac{n'_D}{n_D} = \frac{1392,639}{1564,514} = 0,89$$

n_D - частота вращения, соответствующая моменту M_D , при работе ДПТ на естественной характеристике $n(M)$.

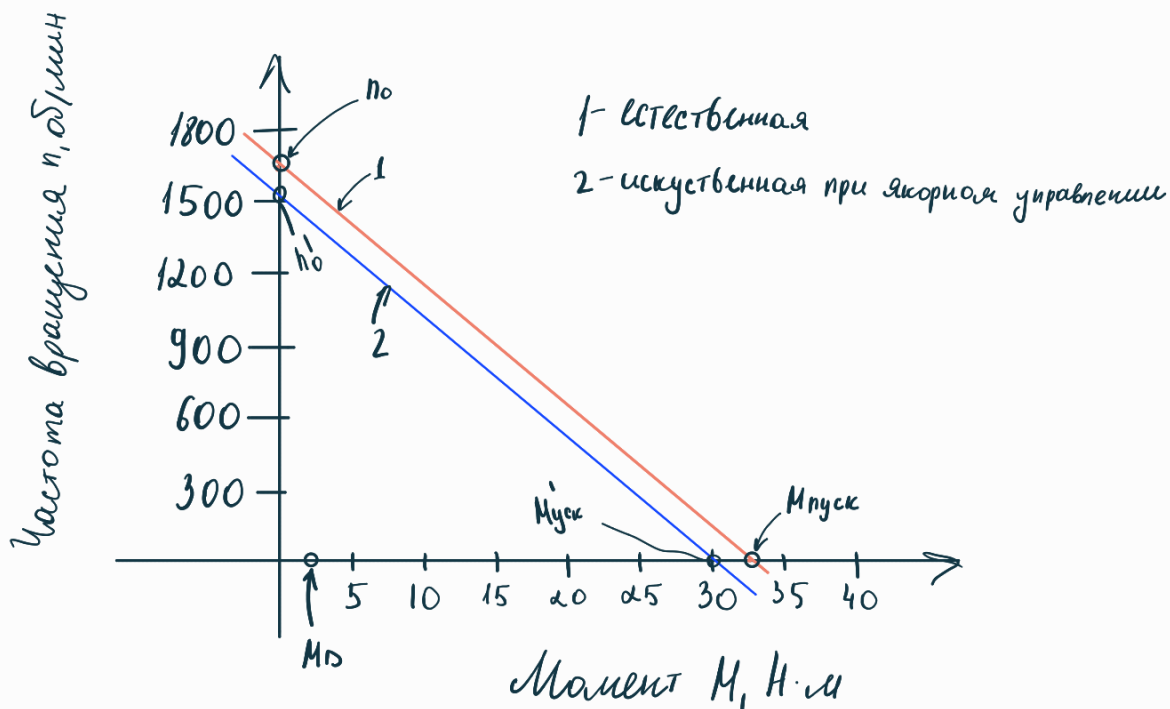
n_0' - частота вращения, соответствующая моменту M_0 , при работе ДПТ на искусственной характеристике $n'(M)$ при том же моменте нагрузки M_0 и при понижении напряжения $V_1' = V_1 \cdot \alpha_1$

Этот способ регулирования следует признать основным для ДПТ.

Он позволяет осуществлять регулирование скорости в широких пределах при сохранении постоянного наклона ("жесткости") характеристик.

Способ экономичен: уменьшение механической мощности на валу $P_2 = M \cdot \Omega$ за счет снижения скорости достигается уменьшением потребляемой от сети электрической мощности $P_1 = V \cdot I$ вследствие уменьшения напряжения, причем при заданном и низком моменте, низким остается и ток цепи якоря.

Механизм поддержания постоянного значения тока при снижении напряжения питания сводится здесь к одновременному уменьшению скорости вращения и ЭДС, ток при этом может оставаться неизменным



3.2 Реостатное регулирование ($R_{я.доб} = R_{я} q_2$)

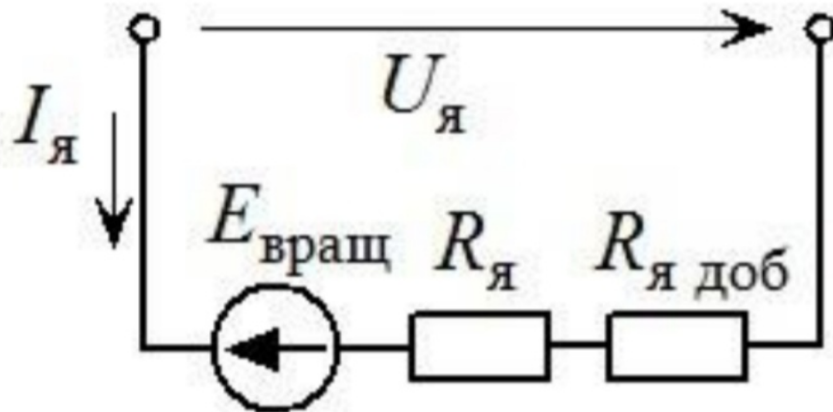


Схема замещения ДПТ при реостатном управлении

Уравнение механической характеристики $n' = f(M)$ при использовании реостатного регулирования выглядит следующим образом:

$$n = \frac{U_я}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M \cdot (R_я + R_{я.доб} + R_{сст.пол})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = n_0 - \Delta n$$

При введении $R_{я.доб} = R_{я} \cdot q_2$ возрастает Δn и увеличивается наклон характеристики $n = f(M)$.

При этом $n_0 = \frac{U}{C_E \cdot \Phi}$ не меняется, значит естественная и реостатная характеристики выходят из одной точки n_0 (режим холостого хода, $M=0$)

Для построения реостатной характеристики $n' = f(M)$ необходимо знать координаты одной точки: работа при номинальном режиме с дополнительным сопротивлением:

Первая точка - режим холостого хода

$$n_0 = \frac{U}{C_E \cdot \Phi} \quad \text{при } M=0$$

$$n'_0 = \frac{U_{\alpha}}{C_E \cdot \Phi} = \frac{V_H}{C_E \cdot \Phi} = \frac{220}{0,128} = 1718,75 \text{ об/мин}$$

Вторая точка - номинальный режим при $M = M_H$

$$R_{\alpha \text{ дод}} = R_{\alpha} \cdot q_2 = 3,5 \cdot 4 = 14 \text{ Ом}$$

$$n'_H = \frac{U_{\alpha}}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M_H (R_{\alpha} + R_{\alpha \text{ дод}} + R_{\text{ген.пол}})}{C_E \cdot C_H \cdot \Phi^2} = \frac{220}{0,128} - \frac{4,329(3,5 + 3,4 + 14)}{0,128 \cdot 1,059} = 1051,286 \text{ об/мин}$$

$$M_{\text{пуск}} = \frac{U \cdot C_H \cdot \Phi}{R_{\alpha} + R_{\alpha \text{ дод}} + R_{\text{ген.пол}}} = 11,147 \text{ Н·м}$$

Коэффициент регулирования КД при заданном M_D .

Определим изменение частоты вращения ДПТ при регулировании n с помощью

$R_{\alpha \text{ дод}}$ при моменте нагрузки $M_D = M_H \cdot k$

Вычислим частоту вращения n'_D при работе ДПТ на искусственной реостатной

характеристики с добавочным сопротивлением в цепи якоря $R_{\alpha \text{ дод}} = 3,5 \cdot 4 = 14 \text{ Ом}$

При моменте нагрузки $M_D = M_H \cdot k$ определяем

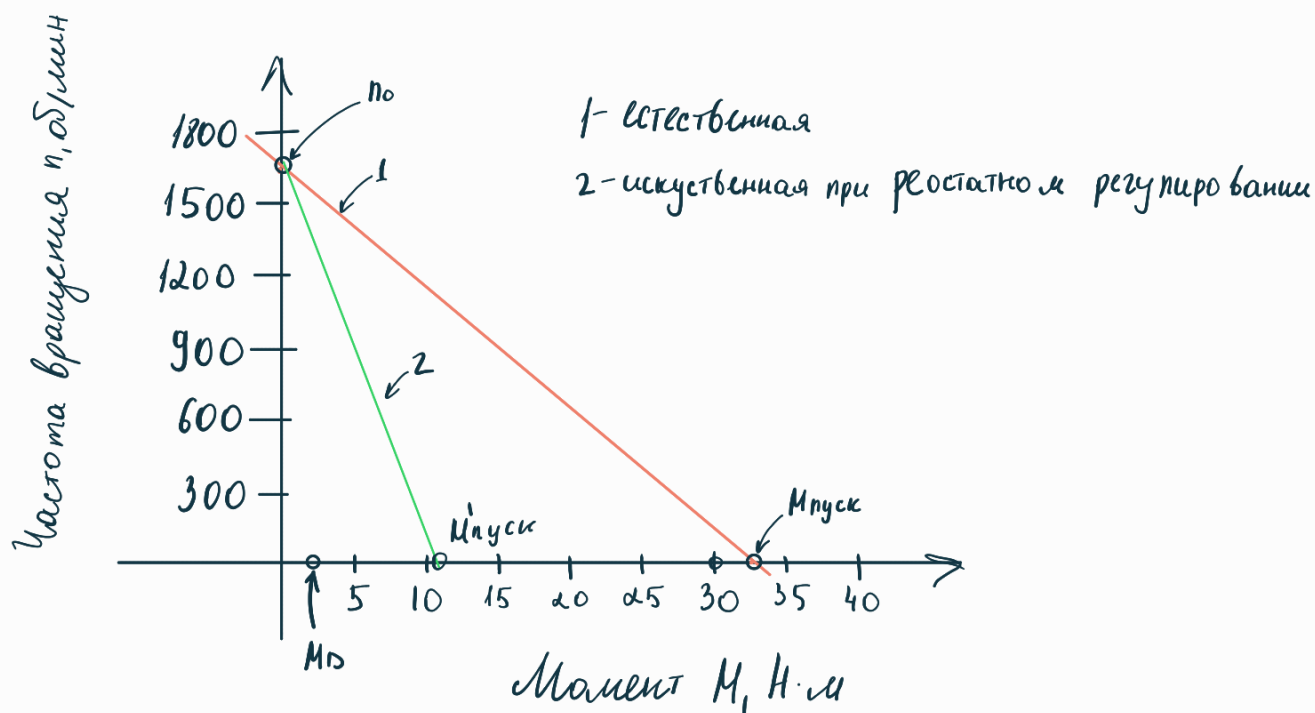
$$n'_D = \frac{U}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M_D (R_{\alpha} + R_{\text{ген.пол}} + R_{\alpha \text{ дод}})}{C_E \cdot C_H \cdot \Phi^2} = \frac{220}{0,128} - \frac{3,03 \cdot (3,4 + 3,5 + 14)}{0,128 \cdot 1,059} = 1251,571 \text{ об/мин}$$

Коэффициент регулирования частоты вращения КД составляет

$$K_D = \frac{n'_D}{n_D} = \frac{1251,571}{1564,514} = 0,8$$

Таким образом, ослабление потока при неизменном моменте нагрузки ведет к увеличению тока якоря. Если момент близок к номинальному, то существенное уменьшение потока приведет к перегрузке цепи якоря током и недопустимому её нагреву. Если же момент нагрузки близок к нулю, то при существенно ослабленном потоке ток будет иметь, конечно, вполне допустимое значение, но произойдет резкое увеличение скорости вращения по сравнению с номинальной, что также опасно для двигателя. Эти обстоятельства также заставляют ограничивать уменьшение потока до 0,7 - 0,8 Φ_H

Рассмотренный способ регулирования не позволяет изменять скорость вращения в широких пределах, и поэтому его следует рассматривать как вспомогательный



3.3 Полюсное управление ($\Phi' = \Phi_{q1}$)

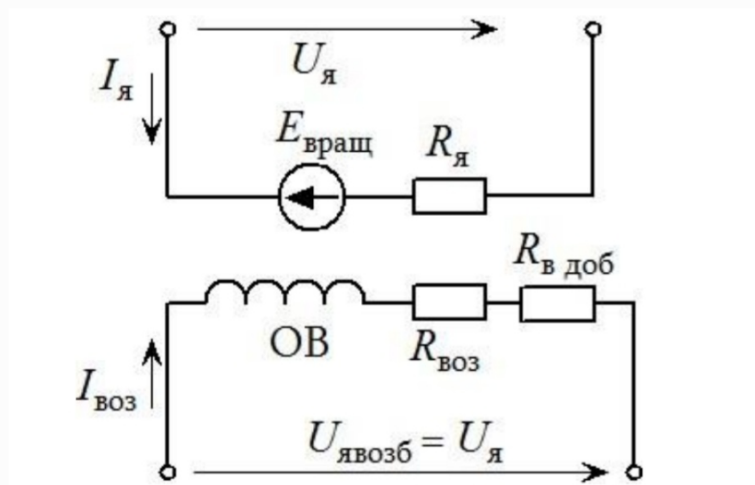


Схема замещения ДПТ при полюсном управлении

При введении добавочного сопротивления в цепь обмотки возбуждения $R_{вд}$ уменьшается ток возбуждения I_b , уменьшается магнитный поток ($\Phi' < \Phi$), создаваемый обмоткой возбуждения

В соответствии с уравнением механической характеристики

$$n' = \frac{U}{C_E \cdot \Phi'} - \frac{M \cdot (R_a + R_{доб.п})}{C_E \cdot C_M \cdot (\Phi')^2} = n'_0 - \Delta n'$$

с уменьшением магнитного потока Φ частота вращения n двигателя на рабочем участке характеристики $n(M)$ возрастает. При этом по сравнению с естественной характеристикой у искусственной меняются n_0 и Δn

Для построения искусственной характеристики $n'(M)$ при $\Phi' = \Phi \cdot q_1$ необходимо определить координаты 2-х точек:

1) режим Х.Х.: $n'_0 = \frac{U}{C_E \cdot \Phi'} = \frac{U}{C_E \cdot \Phi} \cdot \frac{1}{q_1} = \frac{n_0}{q_1} = \frac{1718,75}{0,9} = 1909,72 \text{ об/мин}$

2) при номинальной нагрузке: $M = M_n$

$$n' = \frac{U}{C_E \cdot \Phi'} - \frac{M_n (R_a + R_{доб.п})}{C_E \cdot C_M \cdot (\Phi')^2} = n'_0 - \Delta n'$$

$$n' = n'_0 - \frac{M_n (R_a + R_{доб.п})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2 \cdot q_1^2} = 1909,72 - \frac{4,329 \cdot (3,4 + 3,5)}{0,128 \cdot 1,059 \cdot 0,9^2} = 1637,672 \text{ об/мин}$$

Коэффициент регулирования K_D при заданном M_D

Определим изменение частоты вращения ДПТ при регулировании n уменьшением потока возбуждения ($\Phi' = \Phi \cdot q_1$)

Значение частоты вращения ротора ДПТ на естественной характеристике n_D при заданном моменте нагрузки $M_D = M_n \cdot k$ мы определяли ранее

Значение частоты вращения n_D ДПТ при работе на искусственной характеристике при уменьшении потока возбуждения ($\Phi' = \Phi \cdot a_1$) и моменте нагрузки $M_D = M_{н.к}$ определяется как

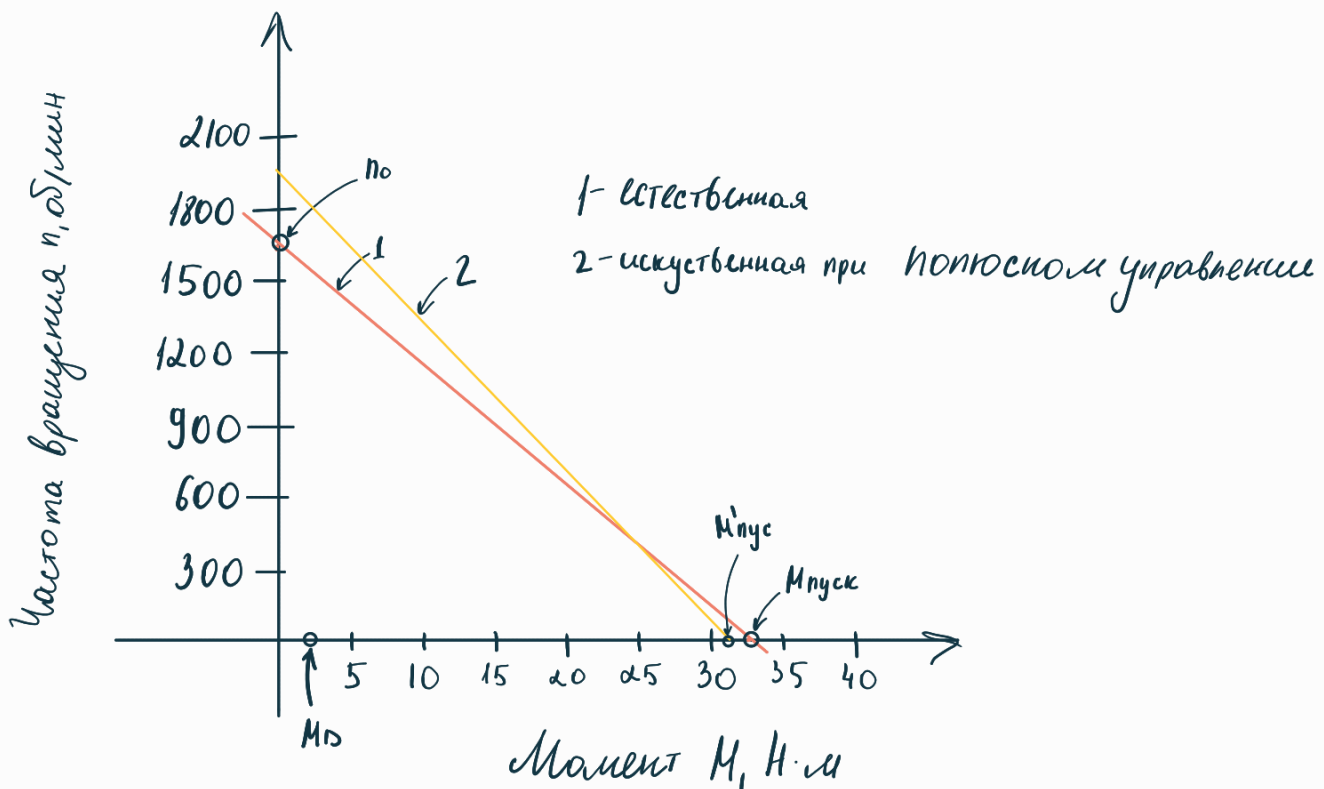
$$n_D' = \frac{U}{C_E \cdot \Phi'} - \frac{M_D (R_a + R_{гор.н})}{C_E \cdot C_M \cdot (\Phi')^2} = 1909,72 - \frac{3,03(3,4+3,5)}{0,128 \cdot 1,059 \cdot 0,9^2} = 1719,305 \text{ об/мин}$$

$$M_{пуск} = \frac{U \cdot C_M \cdot \Phi'}{R_a + R_{гор.н}} = \frac{220 \cdot 1,059 \cdot 0,9}{3,5+3,4} = 30,389$$

Коэффициент рекупирования частоты вращения n равен

$$K_D = \frac{n_D'}{n_D} = \frac{1719,305}{1564,514} = 1,099$$

Таким образом, введение все больше сопротивлений в цепь якоря при постоянном моменте нагрузки не изменяет потребляемую электрическую мощность $P_1 = UI$, но уменьшает полезную механическую мощность $P_2 = M \cdot \Omega$. Растущая разница между P_1 и P_2 рассеивается в виде тепла на увеличивающиеся сопротивления R_a . Рассмотренный способ рекупирования применяют таким образом для ручной рекупировки скорости в небольших пределах



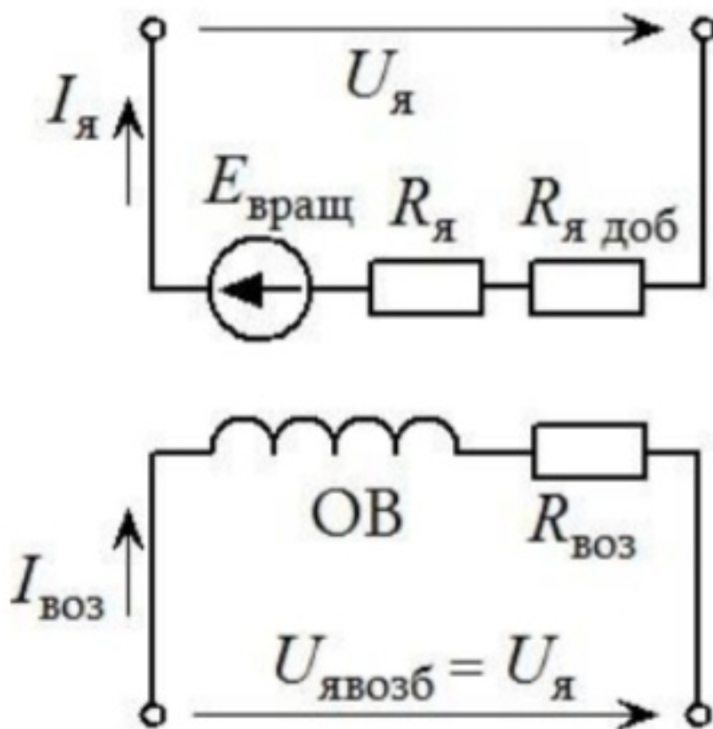
4. Расчет искусственных механических характеристик $n(M)$ при различных способах торможения ДПТ

Далее рассматриваются 3 основных способа электрического торможения ДПТ

- 1) генераторное торможение
- 2) динамическое торможение
- 3) торможение противовключением

4.1 Генераторное торможение ($n_T = n \text{ и } h_1$)

Условие перехода ДПТ в режим генераторного торможения



Уравнение механической характеристики $n(M)$

$$n = \frac{U}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M(R_{\text{я}} + R_{\text{доб}})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = n_0 - \Delta n$$

M - момент развиваемый двигателем

$I_{\text{я}} = \frac{U - E}{R_{\text{я}}}$ - ток в цепи якоря

$E = C_E \cdot \Phi \cdot n$ - ЭДС в обмотке якоря

Режим генераторного (рекуперативного) торможения наступает, когда частота вращения ротора n оказывается больше частоты вращения ротора в режиме холостого хода

При $n > n_0$ $E > U$ и ток якоря I_a становится отрицательным, т.е. меняет направление. Ток якоря и ЭДС оказываются направленными в одну сторону, машина постоянного тока работает в режиме инвертора, электрическая энергия отдается в сеть

Решаем задачу в 2 этапа

I. Определяем частоту вращения n_{TE} при работе ДПТ на естественной характеристике ($R_{ад} = 0$) и при заданном тормозном моменте $M_T = -M_{нк} = -3,03 \text{ Н} \cdot \text{м}$

$$n_{TE} = \frac{U}{C_E \cdot \Phi} + \frac{M_T (R_a + R_{гор} \cdot n)}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = \frac{220}{0,128} + \frac{3,03(3,4 + 3,5)}{0,128 \cdot 1,059} = 1872,986 \text{ об/мин}$$

II. Определяем величину добавочного сопротивления $R_{ад}$, вводимого в цепь якоря и обеспечивающего прохождение реостатной характеристики $n'(M)$ через точку с координатами M'_T и n_T ($M'_T = M_{нк}$, $n_T = n_H \cdot h_1$)

Для расчета $R_{ад}$ нужно воспользоваться выражением:

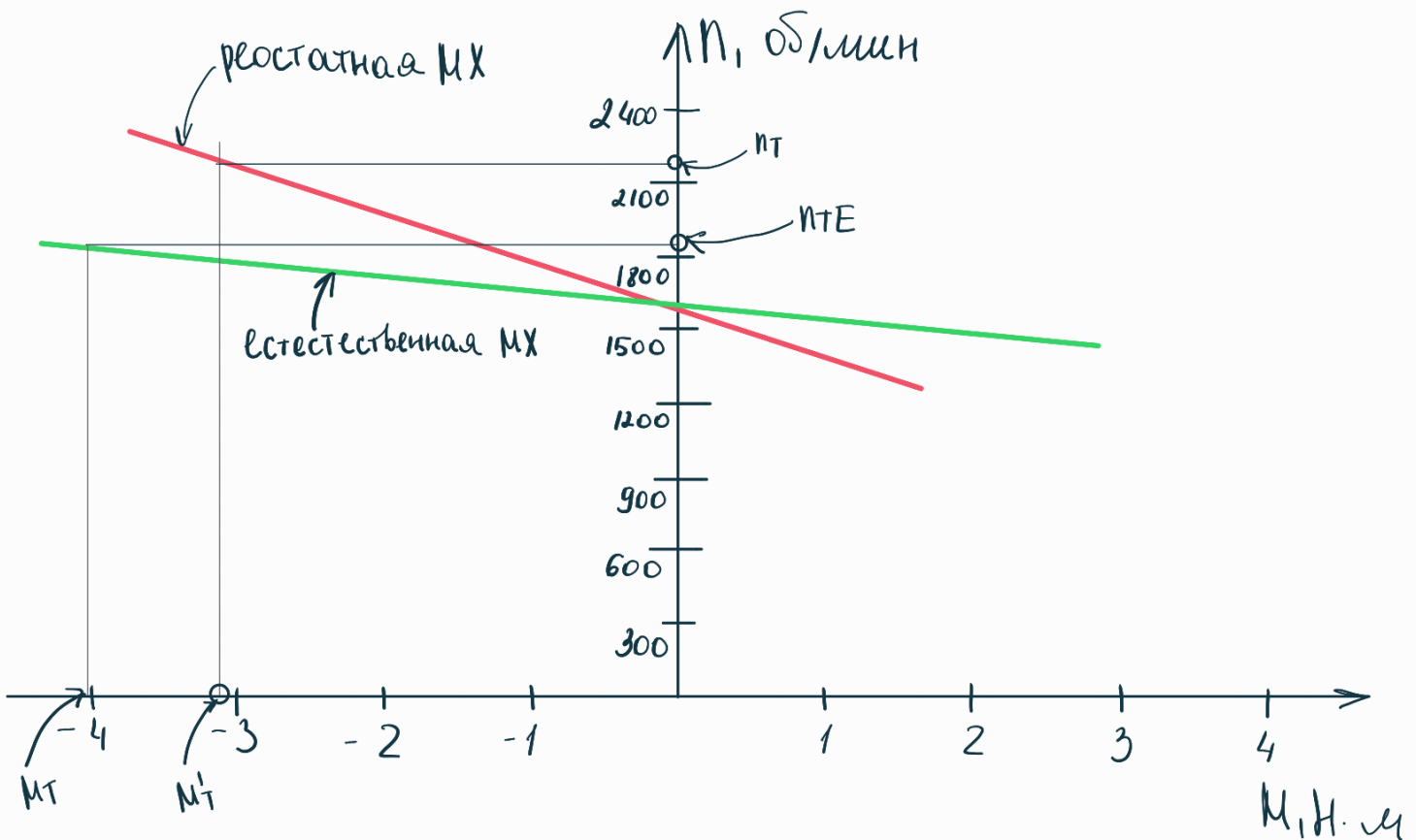
$$M'_T = M_{нк} = 4,329 \cdot 0,7 = 3,03 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$n_T = \frac{U}{C_E \cdot \Phi} + \frac{M'_T (R_a + R_{ад} + R_{гор} \cdot n)}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = \frac{220}{0,128} + \frac{3,03(3,4 + 3,5 + 3,5 \cdot 4)}{0,128 \cdot 1,059} = 2185,929 \text{ об/мин}$$

Преимуществом является эффективное использование энергии, а недостатком — увеличение износа двигателя.

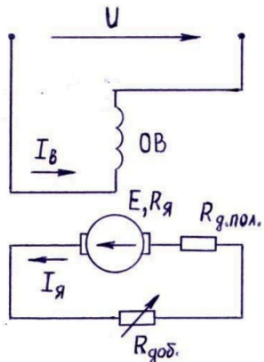
Двигатель с параллельным возбуждением переходит в режим рекуперативного торможения при увеличении скорости вращения и выше $n_0 = \frac{V}{C_E \cdot \Phi}$. В этом случае ЭДС машины становится больше напряжения сети и ток изменяет свое направление, т.е. двигатель переходит в генераторный режим. В этом режиме машина создает тормозной момент, а выработанная электрическая энергия отдается в сеть и может быть полезно использована.

В машине с параллельным возбуждением механические характеристики генераторного режима являются продолжением механических характеристик двигательного режима в область отрицательных моментов.



4.2 Динамическое торможение ($n_T = n_D$)

При выполнении динамического торможения ДПТ цепь якоря двигателя отключается от сети постоянного напряжения и замыкается на реостат с сопротивлением $R_{доб}$.



Ротор по инерции продолжает вращаться, в обмотке якоря (на роторе) наводится ЭДС. Так как напряжение внешнего источника на обмотке якоря отсутствует, ток в цепи определяется выражением $I_a = (-E) / (R_a + R_{доб} + R_{я}) < 0$. Ток I_a и момент $M = C_m \Phi I_a$ становятся отрицательными, момент действует против направления вращения ротора, т.е. становится тормозящим.

Чтобы представить вид характеристики $n(M)$ двигателя постоянного тока при динамическом торможении достаточно характеристику $n(M)$ при широторможении сдвинуть вниз на величину n_0 .

Расчет характеристики $n_T(M_T)$ при $R_{доб} = 0$

$$n_{TE} = \frac{M_T (R_a + R_{доб.н})}{C_E \cdot C_m \cdot \Phi^2} = \frac{3,03(3,4 + 3,5)}{0,128 \cdot 1,059} = 154,236 \text{ об/мин}$$

Расчет остаточной характеристики $n_T(M)$ при $R_{доб} \neq 0$

Чтобы избежать аварии ДПТ, в цепь якоря вводят ограничивающее сопротивление $R_{доб} \neq 0$. Получаем

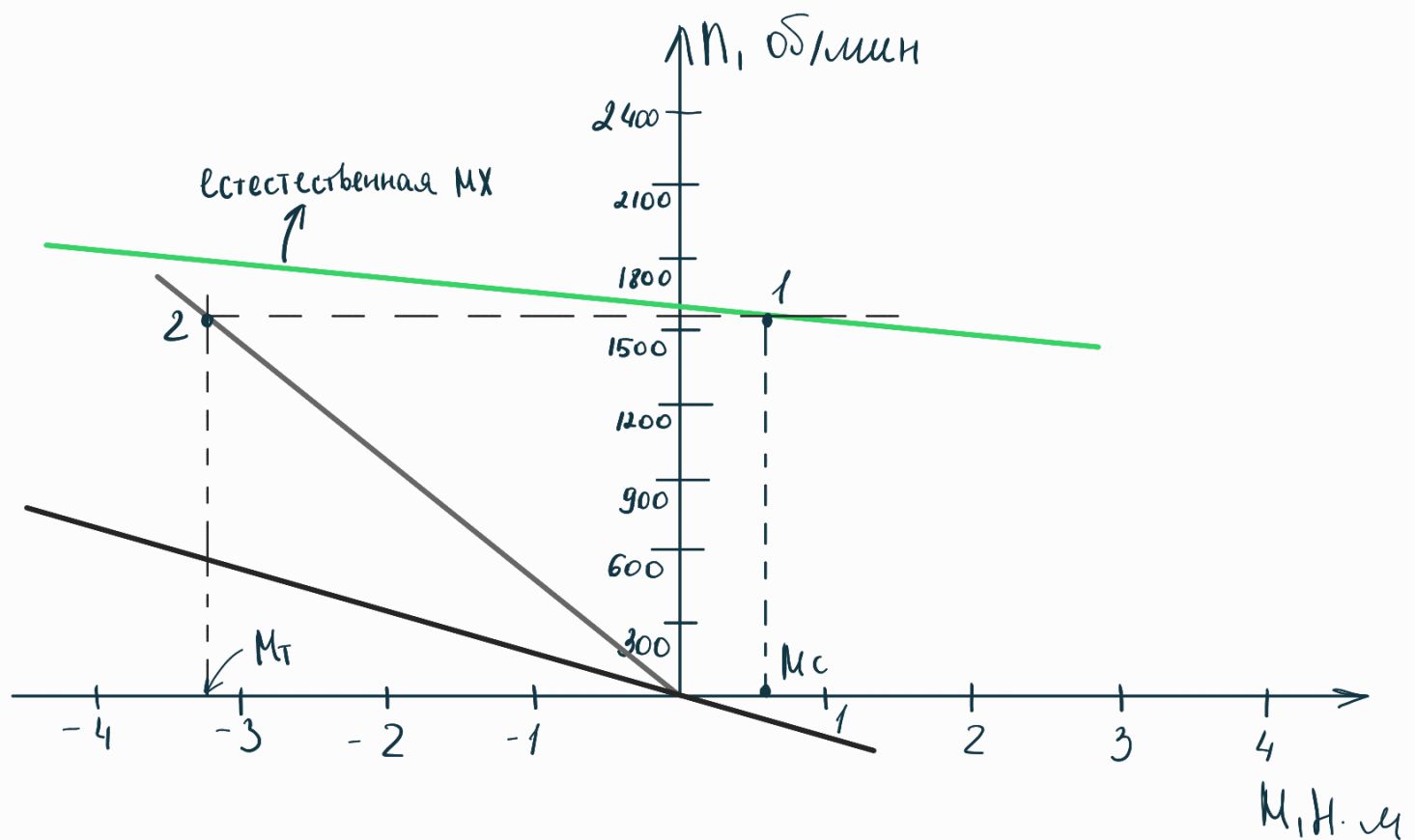
$$I_{aT} = \frac{-E}{R_a + R_{доб.н} + R_{доб}} < 2 I_{a\text{ном}}$$

$$n_T = \frac{M_T (R_a + R_{доб.н} + R_{доб})}{C_E \cdot C_m \cdot \Phi^2}, \text{ где } n_T = n_D = 1564,514 \text{ об/мин}$$

$$R_{доб} = \frac{n_T \cdot C_E \cdot C_m \cdot \Phi^2}{M_T} - R_a - R_{доб.н} = \frac{1564,514 \cdot 0,128 \cdot 1,059}{3,03} - 3,5 - 3,4 = 63,091 \text{ Ом}$$

Преимуществом является возможность регулировать момент торможения и поддерживать постоянную скорость вращения при приложенной внешней нагрузке

Недостатком является то, что при малых частотах вращения машинка не развивает достаточного тормозного момента



4.3. Торможение противовключением ($n_T = n_D$)

Применяются 2 модификации торможения противовключением

а) с использованием остаточной характеристики $n(M)$

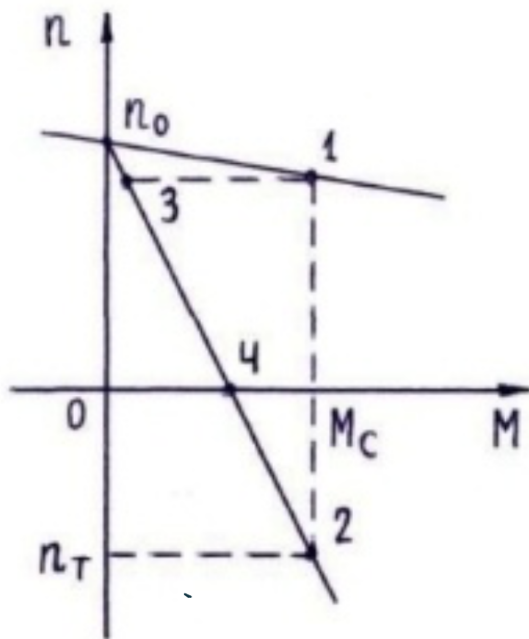
б) с изменением полярности напряжения в цепи якоря

Торможение противовключением происходит, когда обмотки ДПТ включены для одного направления вращения, а якорь (ротор) под воздействием внешнего момента или инерции вращается в противоположном направлении.

Торможение противовключением с использованием $R_{я\text{доб}}$

Описание процесса торможения.

Рассмотрим первый вариант торможения противовключением с использованием реостатной характеристики $n(M)$.



Допустим лебедка поднимает груз, который создает на валу двигателя активный момент сопротивления M_C . Этому режиму на естественной характеристике $n(M)$ соответствует точка 1. Теперь потребовалось этот груз опустить. При этом момент сопротивления остается тем же и действует в том же направлении, а изменяются величина и направление частоты вращения ($n_T < 0$). На графике (рис.4.5.) этому соответствует на реостатной характеристике точка 2 с координатами $n = n_T$ и $M = M_C$. Для получения необходимой реостатной характеристики в цепь якоря вводим добавочное сопротивление $R_{я\text{доб}}$, обеспечивающее необходимый наклон зависимости $n(M)$:

$$n = U / (C_E \cdot \Phi) + M \cdot (R_{я} + R_{\text{доп пол}} + R_{я\text{доб}}) / (C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2).$$

Изменяя величину $R_{я\text{доб}}$, можно влиять на скорость опускания груза.

Для выполнения торможения включаем в цепь якоря добавочное сопротивление $R_{я\text{доб}}$ (см. рис.4.1.). В первый момент в силу инерции частота вращения ротора n остается неизменной, соответствующей точке 1, а двигатель уже начинает работать на реостатной характеристике в точке 3. Момент, создаваемый двигателем в точке 3, оказывается значительно меньше момента сопротивления M_C и двигатель начинает тормозиться, частота вращения n уменьшается, рабочая точка движется по реостатной характеристике вниз от точки 3 к точке 4.

Если требуется прекратить подъем груза, т.е. остановить двигатель, то необходимо в точке 4 отключить двигатель от сети.

Если ДПТ не отключать от сети, движение рабочей точки продолжится по реостатной характеристике вниз до точки 2. В точке 2 вращающий момент двигателя M станет равным моменту сопротивления M_c , создаваемого грузом, двигатель будет вращаться с постоянной отрицательной скоростью $n = n_T < 0$, груз будет равномерно опускаться.

Работе ДПТ в режиме торможения противовключением с введением добавочного сопротивления $R_{я\text{доб}}$ в цепь якоря соответствует уравнение

$$n_T = U / (C_E \cdot \Phi) + M_T \cdot (R_{я} + R_{\text{доп. пол}} + R_{я\text{доб}}) / (C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2).$$

Подставляя в уравнение числовые значения координат рассматриваемой точки 2 ($n_T < 0$; M_T), определяем величину $R_{я\text{доб}}$, обеспечивающего необходимый наклон реостатной характеристики $n(M)$.

Торможение противовключением при изменении полярности напряжения в цепи якоря.

Описание процесса торможения.

Второй вариант торможения противовключением заключается в изменении во время работы двигателя направления вращающего момента M на противоположное путем изменения полярности источника напряжения в цепи якоря.

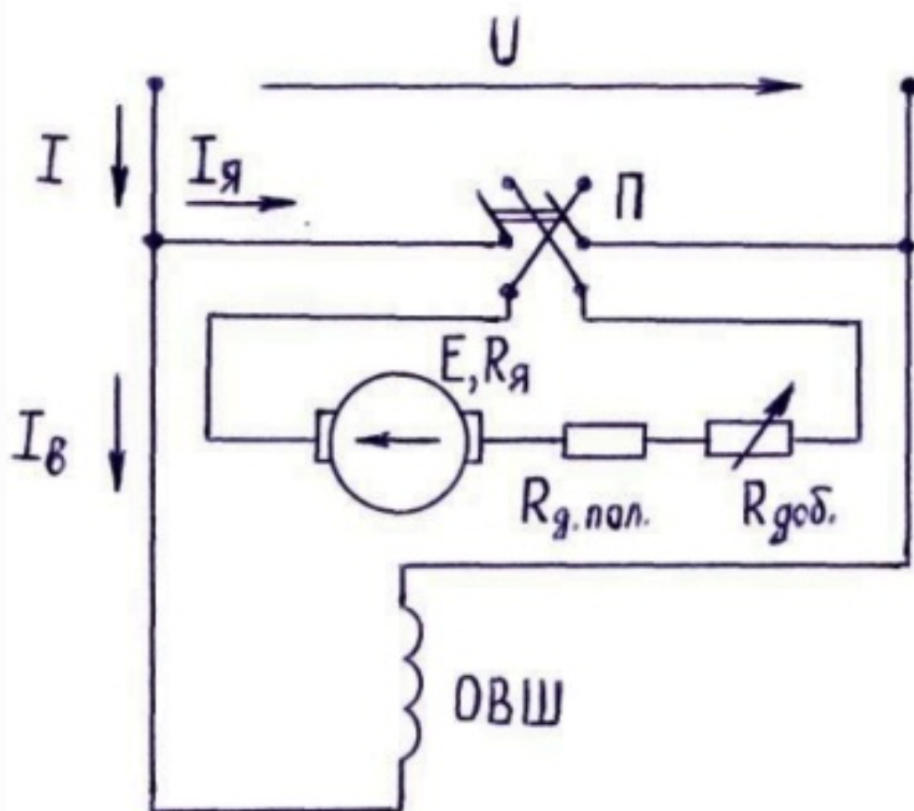
По закону Ампера сила F , действующая на проводник с током I , вычисляется по формуле

$$\vec{F} = [\vec{I} \times \vec{B}] \cdot L$$

Здесь $\vec{B}$ – индукция магнитного поля;

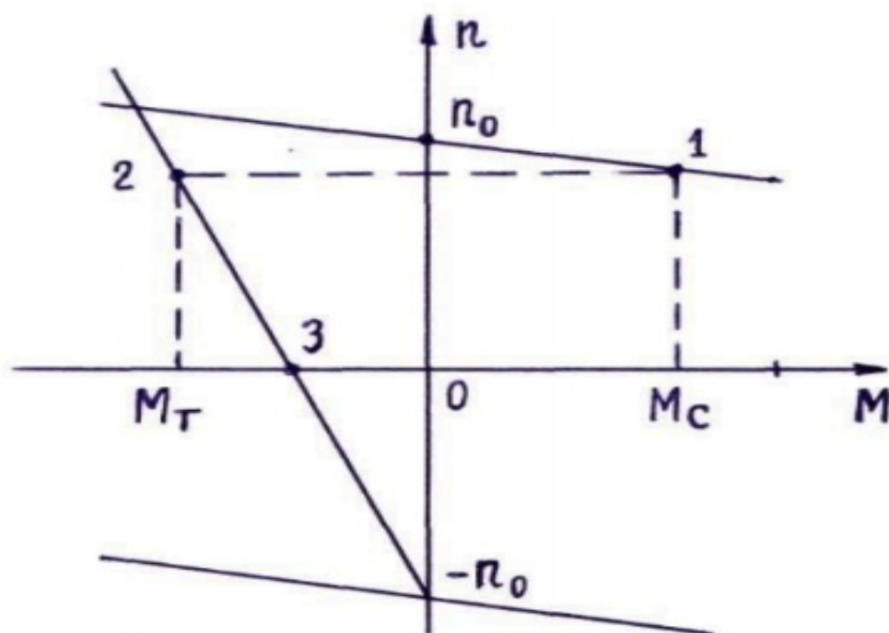
L – активная длина проводника с током I .

Как следует из формулы изменить направление действующей силы F на противоположное можно либо изменив направление тока I , либо изменив направление магнитного поля B .



На рис.4.6 приведена электрическая схема, позволяющая с помощью переключателя П изменять полярность источника напряжения U в цепи якоря ДПТ. При этом в обмотке якоря изменяется направление тока $I_{я}$.

Предположим, первоначально двигатель работал на естественной характеристике $n(M)$ в первом квадранте в точке 1 (рис. 4.7.) ($R_{я\text{доб}} = 0$). Необходимо выполнить электрическое торможение ДПТ.



Этому соответствует нижняя ветвь механической характеристики $n(M)$ (см. рис.4.7.), проходящая через точку с координатами $n = -n_0$ и $M = 0$ и параллельная исходной естественной характеристике с точкой 1. Если при этом не принять дополнительных мер, произойдет большой бросок тока

$$I_{я} = (-U - E) / (R_{я} + R_{\text{доп пол}})$$

со всеми вытекающими последствиями.

Для ограничения тока $I_{я}$ в цепь якоря вводят добавочное сопротивление $R_{я\text{доб}}$.

Вместе с током якоря ($I_{я} < 0$) меняет направление и вращающий момент $M = C_{\Phi} \cdot I_{я}$ (точ.2, рис. 4.7.). Он становится тормозным ($M = M_T < 0$), т.к. теперь действует против направления вращения ротора двигателя. Подбором $R_{я\text{доб}}$ можно регулировать величину $I_{я}$ и, соответственно, тормозной момент M_T .

Рассмотрим с помощью механической характеристики $n(M)$ (рис.4.7.) как осуществляется процесс торможения.

Вначале двигатель работал в точке 1 с некоторой постоянной скоростью n . При изменении полярности напряжения U на обмотке якоря двигатель переходит в точку 2 на реостатной характеристике $n(M)$, соответствующей измененной полярности U .

Так как момент, развиваемый двигателем, становится тормозным, частота вращения ротора уменьшается, рабочая точка перемещается по реостатной характеристике из точки 2 к точке 3, при которой $n = 0$. Если в это время двигатель не отключить от сети, то ротор начнет разгоняться в противоположную сторону в соответствии с направлением действующего вращающего момента.

Рассмотрим, как рассчитать реостатную характеристику, соответствующую торможению противовключением рассматриваемым методом и проходящую через заданную точку с параметрами

$$M_T = (-M_H \cdot t) \quad \text{и} \quad n_T = n_D.$$

Уравнение механической характеристики $n(M)$, соответствующей работе ДПТ на реостатной характеристике при измененной полярности U в цепи якоря

$$n = -U / (C_E \cdot \Phi) - M \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}} + R_{\text{я доб}}) / (C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2).$$

Подставляя в уравнение числовые значения координат точки (n_T и M_T), через которую должна проходить реостатная характеристика, определяем величину добавочного сопротивления $R_{\text{я доб}}$.

Преимущество торможения противовключением можно отнести к простоте реализации, возможность быстрой остановки двигателя, возможность реверса

Недостатком является то, что электрическая энергия, направленная от механизма к двигателю, в совокупности преобразуется в тепловую энергию, которая рассеивается в двигателе. Это может привести к недопустимому перегреву двигателя и к выходу его из строя. Также в данном режиме двигатель работает неустойчиво.