

Исходные данные

$$P_{2н} = 4000 \text{ Вт} ; n_{\mu} = 1600 \text{ об/мин}$$

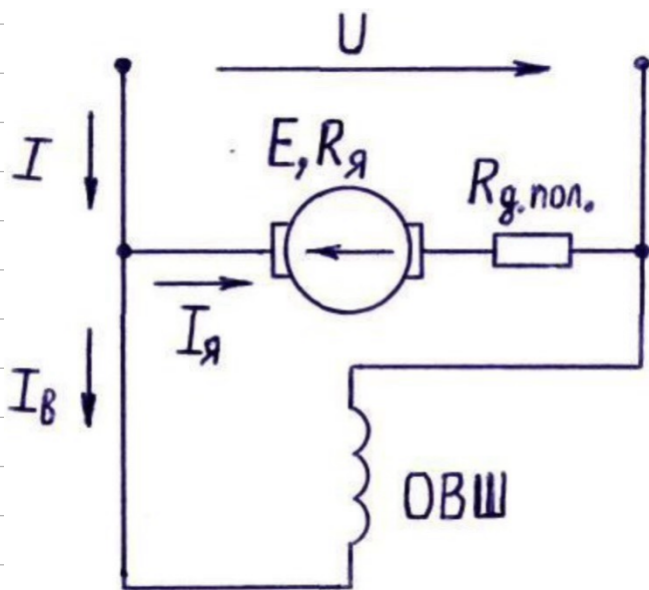
$$U_{н} = 110 \text{ В} ; \eta = 0,85$$

$$R_{\alpha} = 0,2 \text{ Ом} ; R_{\text{гон}} = 0,2 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{воз}} = 250 \text{ Ом} ; k = 0,7 ; q_{\mu} = 0,75$$

$$Z = 6 ; h_1 = 1,35 ; h_2 = 0,65$$

1) Э.с.вм включена в цепь постоянного тока (ДТДТ) с парам. возбужд.



2) Расчет номинальных данных и построение естественной механ. хар.  $n(M)$

$$R_2 = M \Omega = M \cdot \left(\frac{2\pi}{60}\right) \cdot n = 0,105 M n \text{ - пол. мощк.}$$

каким. брассу момент

$$M_{н} = 2,55 \frac{P_{2н}}{n_{\mu}} = \frac{2,55 \cdot 4000}{1600} = 2,875 \text{ кг.м}$$

маши. эл. машин., потр. из сети генератора

$$P_{1к} = \frac{P_{2к}}{\eta_k} = \frac{4000}{0,85} = 4705,9 \text{ Вт}$$

маши. ток генератора:

$$I_{1к} = \frac{P_{1к}}{U_k} = \frac{4705,9}{110} = 42,8 \text{ А}$$

маши. ток возбуждения:

$$I_{вк} = \frac{U_k}{R_{взб}} = \frac{110}{250} = 0,44 \text{ А}$$

маши. ток обмотки якоря:

$$I_{як} = I_{1к} - I_{вк} = \frac{P_{1к}}{U_k} - \frac{U_k}{R_{взб}} = 42,8 - 0,44 = 42,36 \text{ А}$$

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

$$E_n = U_k - I_a (R_a + R_{gen}) = 110 - 42,36(0,2 + 0,2) = 93 \text{ В}$$

Уравнение электромагнитической характ.  
 $n(I_a)$

$$n = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{I_a (R_a + R_{gen})}{C_E \Phi} = n_0 - s n$$

$$M = C_M \Phi \cdot I_a$$

$$n(M): n = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{M (R_a + R_{gen})}{C_E \cdot C_M \Phi^2} = n_0 - s n$$

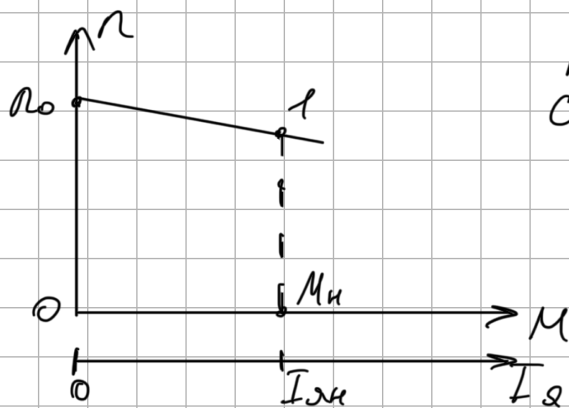
Определяем пост. коэфф.

$$C_E \Phi = \frac{E_n}{n_k} = \frac{93}{1600} = 0,058$$

$$C_M \Phi = \frac{M_k}{I_{як}} = \frac{28,875}{42,36} = 0,56$$

$$n = n_0 = 1897 \text{ об/мин}, M = 0, I_a = 0$$

$$n = n_M = 1600 \text{ об/мин}, M = M_M, I_a = I_{aM}$$



на графике  
строим  $n(M), n(I_a)$

$$M_D = M_M \cdot k$$

$$n_D = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{M_D (R_a + R_{gen})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = 1897 - \frac{23875 \cdot 0.4 \cdot 0.7}{0.058 \cdot 0.56} = 1691$$

3.1 Расчет характеристик  $n(M)$  при уменьшении напряжения источника питания в цепи якоря

Влияние  $U$  на вид характер.  $n(M)$

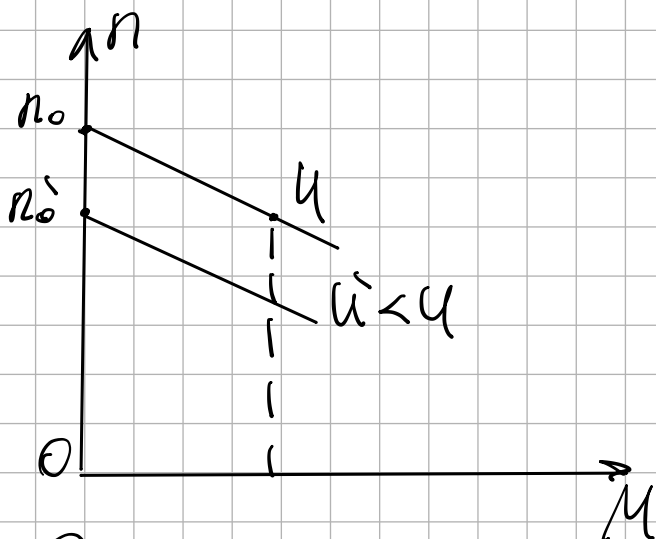
$$n(I_a): n = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{I_a (R_a + R_{gen})}{C_E \Phi} = n_0 - \Delta n$$

$$n(M): n = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{M (R_a + R_{gen})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = n_0 - \Delta n$$

При уменьшении напр. ( $U' = U \cdot \varphi_1$ ) при том.

$n$  об/мин якоря, получаем искривл.

характер.  $n'(M)$ , смещ. вниз от нас. ест. хор.



Расчёт несущей частоты характеристики  $n'(M)$  при  $u' = u \cdot q_1$

- решим холостого хода

$$M=0; n'_0 = \frac{u'}{C_E \Phi} = \frac{u \cdot q_1}{C_E \Phi} = n_0 \cdot q_1 = 1897 \cdot 0,75 = 1422,75 \text{ об/мин}$$

- при максимальной нагрузке

$$M=M_n; n'_n = \frac{u}{C_E \Phi} - \frac{M_n(R_s + R_{\text{ген}})}{C_E \cdot C_m \Phi^2} =$$

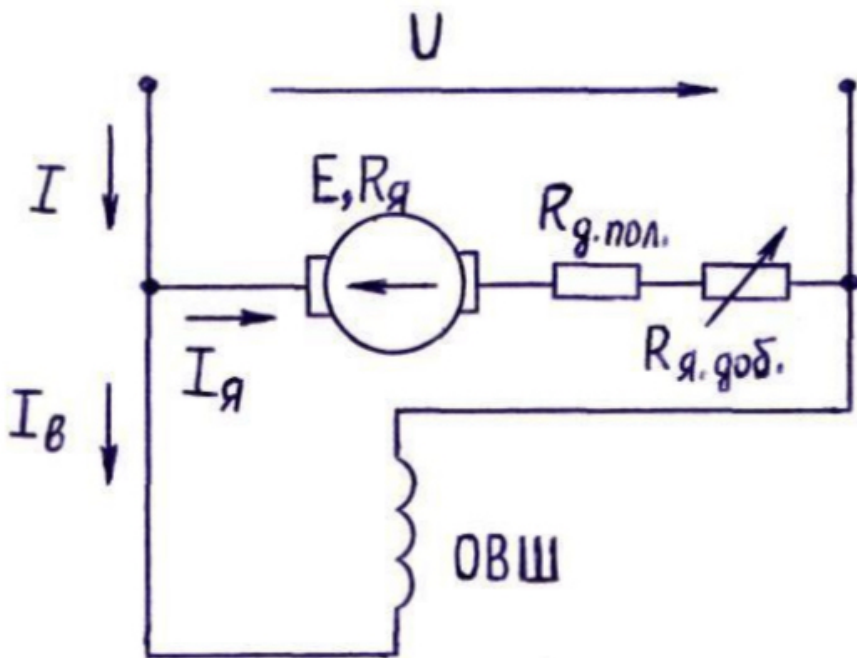
$$= 1422,75 - \frac{23,875 \cdot 0,4}{0,058 \cdot 0,56} = 1125,75 \text{ об/мин}$$

Коэффициент регулирования  $k_D$  частоты вращения  $n$  при изм. напря. источника питания  $u' = u \cdot q_1$  и при максимальной нагрузке  $M_D = M_n \cdot k$

$$k_D = \frac{n'_D}{n_0} = \frac{1217}{1691} = 0,72$$

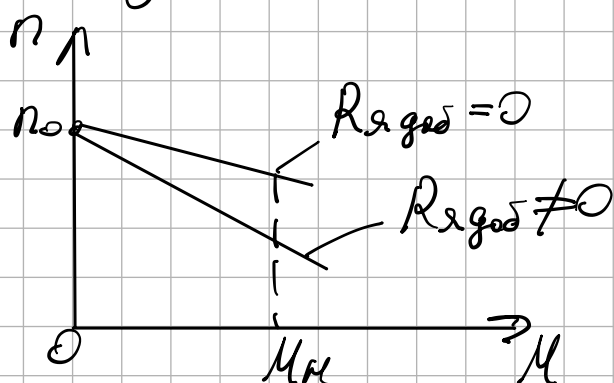
$$n'_D = 1422,75 - \frac{23,875 \cdot 0,4 \cdot 0,7}{0,058 \cdot 0,56} = 1217 \text{ об/мин}$$

3.2 Расчет характеристики  $n(\mu)$  при введении добавочного сопр.  $R_{я.доб.}$



$$n = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{\mu (R_{я} + R_{я.пол.} + R_{я.доб.})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = n_0 - s n$$

При введении  $R_{я.доб.}$  возрастает  $s n$  и уменьшается наклон характеристики  $n(\mu)$ . При этом  $n_0 = \frac{U}{C_E \Phi}$  не меняется, значит остается неизменной и остаточная характеристика  $n(\mu)$  ввиду отрезка  $n$ .



Коэфф. регуляров.  $k_0$  при заг.  $M_0$

$$R_{\text{зод}} = R_{\text{я}} \cdot q_{\text{я}} = 0,2 \cdot 6 = 1,2 \Omega$$

при  $M_0 = M_n \cdot k$ :

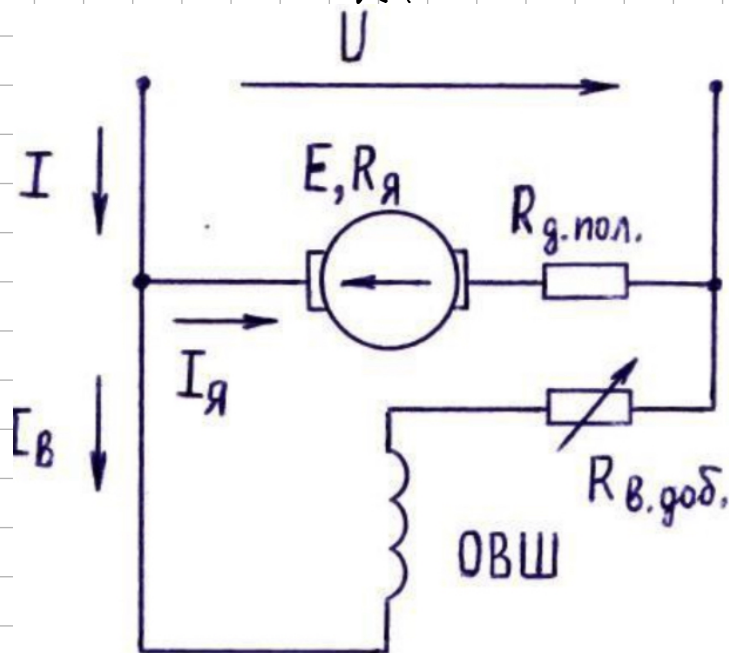
$$n_0 = \frac{U}{C_{\text{ЭФ}}} - \frac{M_0 (R_{\text{я}} + R_{\text{гор}} + R_{\text{зод}})}{C_{\text{Э}} \cdot C_{\text{И}} \cdot \Phi} =$$

$$= 1422,75 - \frac{23,875 \cdot 0,7 \cdot 1,6}{0,058 \cdot 0,56} = 600 \text{ об/мин}$$

$$k_0 = \frac{n_0'}{n_0} = \frac{600}{1691} = 0,35$$

3.3 Расчет характеристики  $n(U)$  при уменьшении потока возбуждения

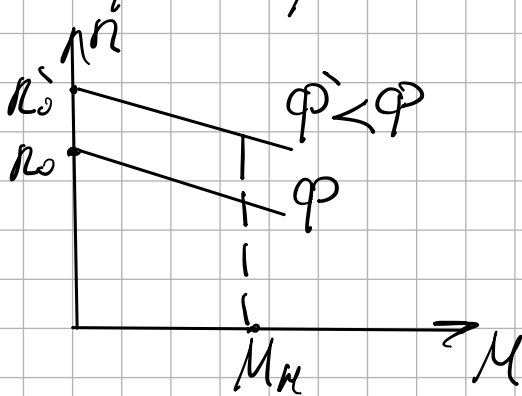
$$\Phi' = \Phi \cdot q_{\text{я}}$$



В соответствии с ур-ем мех. характ.

$$n' = \frac{U}{C_E \varphi'} - \frac{M \cdot (R_2 + R_{гор})}{C_E \cdot C_M \varphi'^2} = n_0' - \Delta n'$$

с увеличением маг. потока  $\varphi$  расчетная  
вращ.  $n$  убавл. на раб. участке характ.  
 $n(M)$  возр. При этом по сравнению с естеств.  
характ. и несущем мех.  $n_0$  и  $\Delta n$



$n'(M)$  при  $\varphi' = \varphi \cdot q < \varphi$

1) расчет Х.Х.  $n_0' = \frac{U}{C_E \varphi'} = \frac{1897}{0,75} = 2529 \text{ об/мин}$

2) при макс. напр.  $M = M_k$

$$n' = \frac{U}{C_E \varphi'} - \frac{M_k (R_2 + R_{гор})}{C_E \cdot C_M \varphi'^2} = 2529 - \frac{23,875 \cdot 0,4 \cdot 0,7}{0,058 \cdot 0,56 \cdot 0,75^2} =$$

$$= 2006 \text{ об/мин}$$

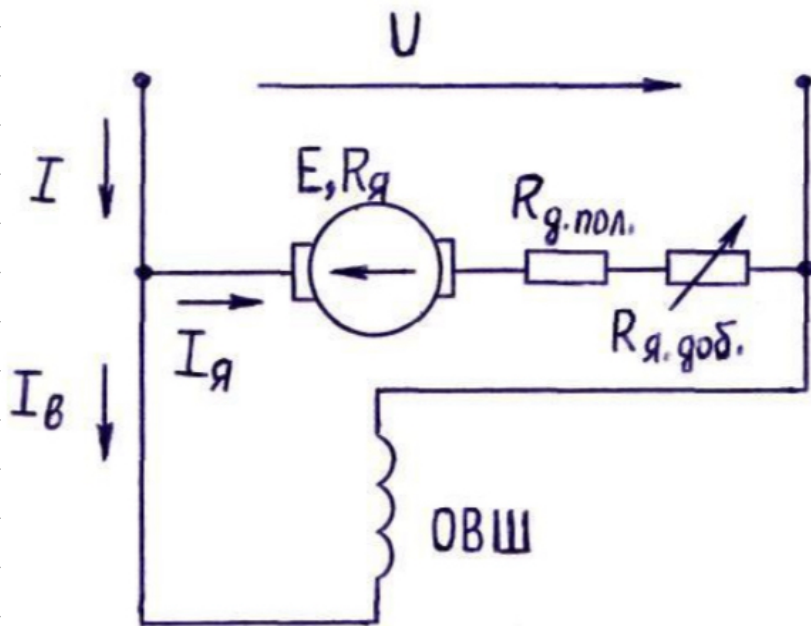
$n_0$  при  $M_0$  и  $\varphi'$

$$n_0 = \frac{U}{C_E \varphi'} - \frac{M_0 (R_2 + R_{гор})}{C_E \cdot C_M \varphi'^2} = 2529 - \frac{23,875 \cdot 0,4 \cdot 0,7}{0,058 \cdot 0,56 \cdot 0,75^2} =$$

$$= 2163 \text{ об/мин}$$

$$k_0 = \frac{n_0}{n_D} = \frac{2163}{1691} = 1,28$$

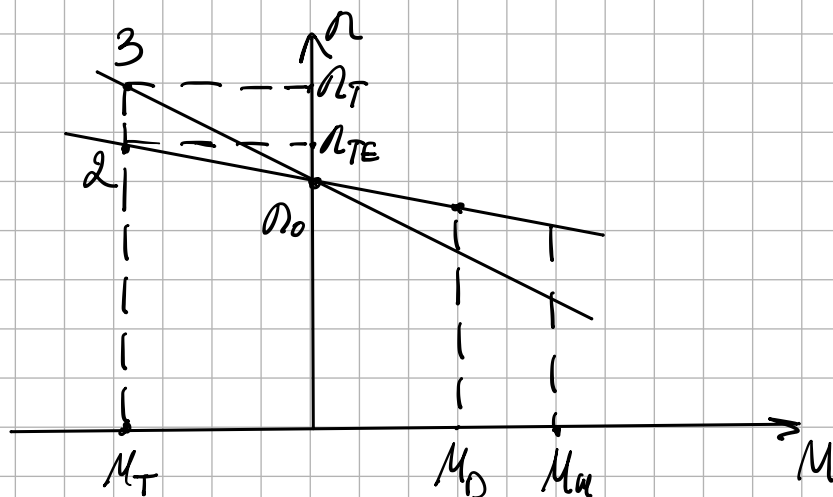
4) Расчет искусственной мех. характ.  $n(M)$  при разл. способах тормоз. ДТТ



На графике в м. 1  $n < n_0$  и  $E < U$ .

$$n(M): n = \frac{U}{C_E \Phi} - \frac{M(R_a + R_{g\text{пол}})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = n_0 - \Delta n,$$

$$M = C_M \Phi \cdot I_a$$



Рассчитать морозост. резистан. характ.

$$1) n_{TE} = \frac{U}{C_E \Phi} + \frac{M_T (R_{\alpha} + R_{gen})}{C_E \cdot C_M \Phi^2} = 1897 + \frac{23875 \cdot 0,4 \cdot 0,7}{0,58 \cdot 0,56} =$$

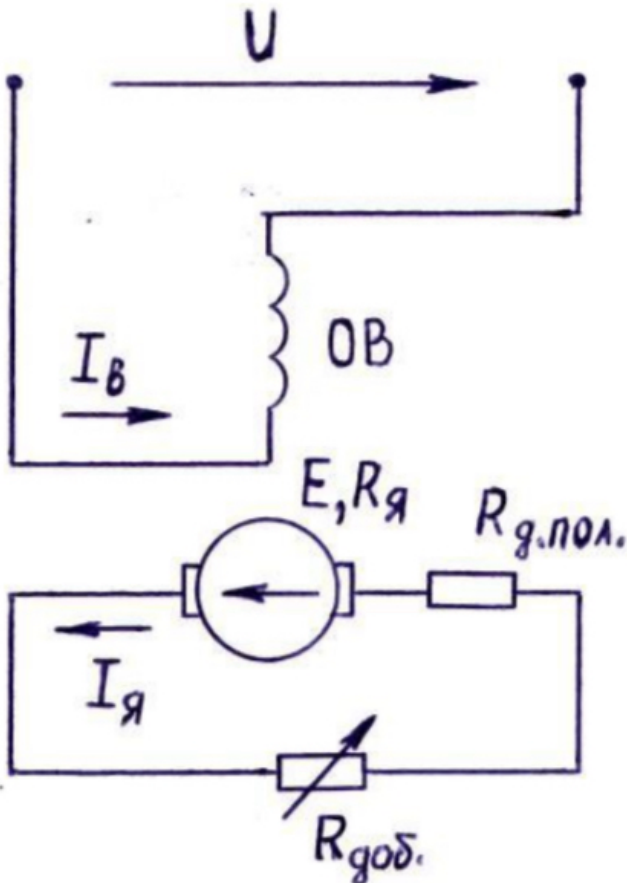
$$= 2103 \text{ с/ммк}$$

$$2) M_T = M_M \cdot k = n_M \cdot \Phi$$

$$n_T = \frac{U}{C_E \Phi} + \frac{M_T (R_{\alpha} + R_{gen} + R_{год})}{C_E \cdot C_M \Phi^2} = 1897 + \frac{23875 \cdot 0,7 \cdot 16}{0,58 \cdot 0,56} =$$

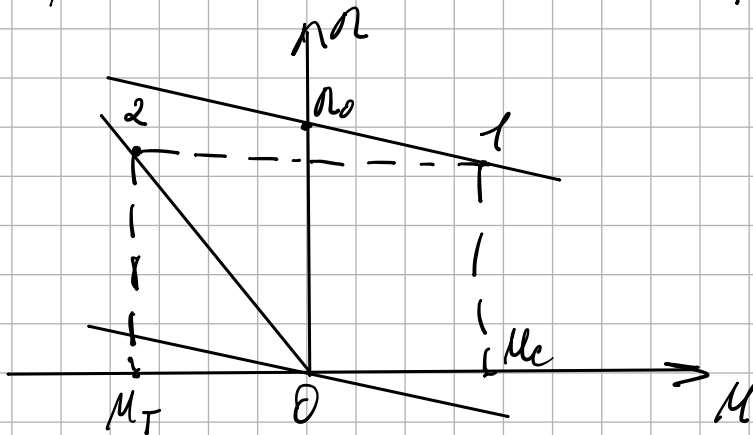
$$= 2720 \text{ с/ммк}$$

## 4.2 Динамическое торможение



$$I_{\alpha} = - \frac{E}{R_{\alpha} + R_{gen} + R_{год}} < 0$$

Плюс  $I_2$  и момент  $M = C_M \Phi \cdot I_2$  становится отрицат., момент дейст. против направл. вращ. ротора, т.е. станов. тормозящим  
 Наклон характ. динем. тормож. опред. величи. огибающей соотв. в цепи явля



т.е. соотв. работе машины в безвент. реж. на ест. характ. При велич. динем. тормож. раб. т. ДТДТ в т. 2 на характ. динем. торм.

Расчет характ.  $n_T(M_T)$  при  $R_{гид} = 0$

$$n_{TE} = \frac{M_T (R_2 + R_{гид})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = \frac{23,875 \cdot 0,7 \cdot 0,9}{0,058 \cdot 0,56} = 206 \text{ об/мин}$$

Расчет остаточной характ.  $n_T(M)$  при

$R_{гид} \neq 0$

$$n_T = \frac{M_T (R_2 + R_{гид} + R_{гид})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = \frac{23,875 \cdot 0,7 \cdot 1,6}{0,058 \cdot 0,56} = 223 \text{ об/мин}$$

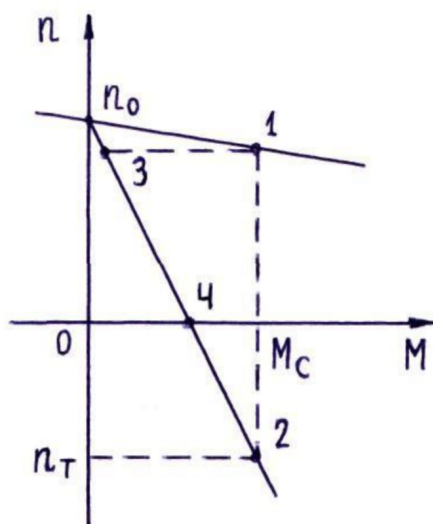
Торможение противовключением

Применяются две модиф. тормоз противов.

а) с использованием реостат характер.  $n(M)$

б) с измен. п.м.д.р. магн. в цепи якоря

Торможение противовключ. с использованием  $R_{я доб}$



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 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  $R_{я доб}$ , обеспечивающее необходимый наклон зависимости  $n(M)$ :

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

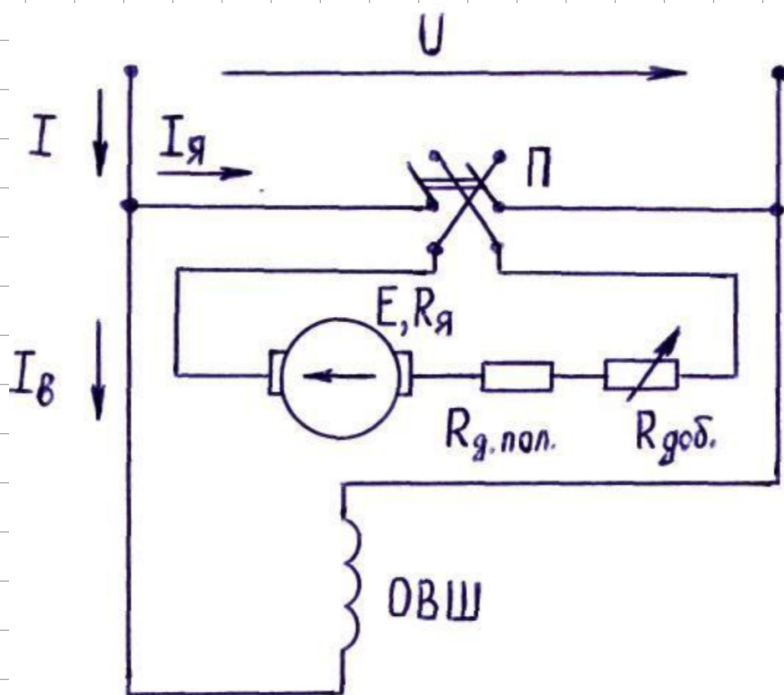
Изменяя величину  $R_{я доб}$ , можно влиять на скорость опускания груза.

Для выполнения торможения включаем в цепь якоря добавочное сопротивление  $R_{я доб}$ . 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.

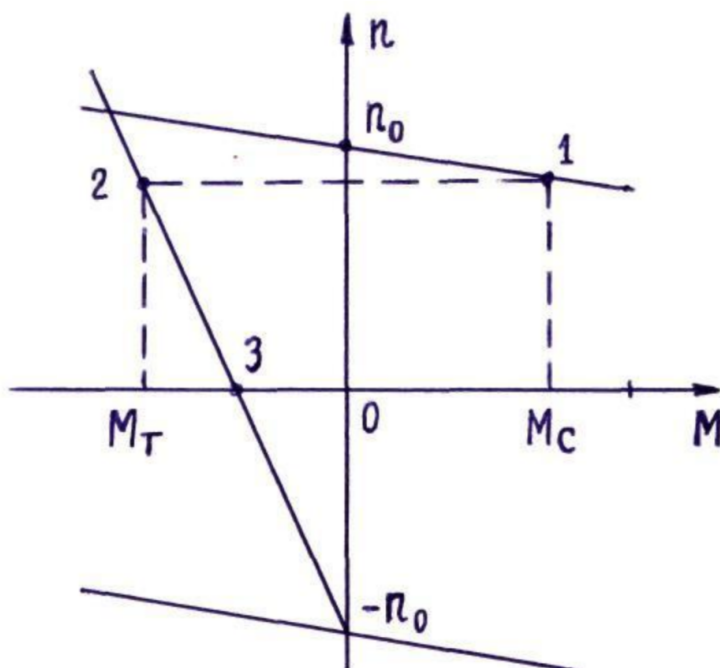
Торможение противовключения при  
изменении полярности напр. в цепи якоря

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



На рисунке 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 ( $R_{я\text{доб}} = 0$ ). Необходимо выполнить электрическое торможение ДПТ.



С помощью переключателя П меняем направление тока  $I_{\text{я}}$  в обмотке якоря. При этом меняется на противоположное направление силы, действующей на обмотку якоря, и направление вращающего момента двигателя. Этому соответствует нижняя ветвь механической характеристики  $n(M)$ , 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

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

со всеми вытекающими последствиями.

Для ограничения тока  $I_{\text{я}}$  в цепь якоря вводят добавочное сопротивление  $R_{\text{я доб}}$ . Вместе с током якоря ( $I_{\text{я}} < 0$ ) меняет направление и вращающий момент  $M = C_M \Phi \cdot I_{\text{я}}$ . Он становится тормозным ( $M = M_T < 0$ ), т.к. теперь действует против направления вращения ротора двигателя. Подбором  $R_{\text{я доб}}$  можно регулировать величину  $I_{\text{я}}$  и, соответственно, тормозной момент  $M_T$ .

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

К преимуществам торможения противовключением можно отнести простоту реализации, возможность быстрой остановки двигателя, возможность реверса.

Основным недостатком режима противовключения является то, что электрическая энергия, потребляемая двигателем из сети, а также механическая энергия, направленная от механизма к двигателю, в совокупности преобразуются в тепловую энергию, которая рассеивается в двигателе. Это может привести к недопустимому перегреву двигателя и как следствие к выходу его из строя. Кроме того, проанализировав механическую характеристику в режиме противовключения, нетрудно убедиться в том, что двигатель в этом режиме работает неустойчиво.