

Домашнее задание №2

Выполн.	Люльченко А.С	21.04.24	Подп.	МГТУ им. Н.Э.Баумана	Гр. ИУ2- 42
Пров.	Тарасенко И.А		Подп.		Вар. 12

Задание

По заданным характеристикам двигателя постоянного (ДПТ) тока, заданным в таблице 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 $n = f(I_{\text{я}})$ характеристики. Определить пусковой момент, пусковой ток и скорость холостого хода двигателя, а также рассчитать скорость вращения n_D при моменте сопротивления $M_D = M_{\text{н}}k$ на валу двигателя.
3. Рассчитать и построить механические характеристики ДПТ при:
 - 3.1 Якорном управлении ($U' = Uq1$);
 - 3.2 Реостатном регулировании ($R_{\text{я, доб.}} = R_{\text{я}}q2$);
 - 3.3 Полюсном управлении ($\Phi' = \Phi q1$).
4. Рассчитать и построить естественные и искусственные механические характеристики ДПТ при:
 - 4.1 Генераторном торможении ($n_{\text{т}} = n_{\text{н}}h1$);
 - 4.2 Динамическом торможении ($n_{\text{т}} = n_D$);
 - 4.3 Противовключении ($n_{\text{т}} = n_D$),
При этом момент сопротивления на валу (тормозящий момент) $M_{\text{т}} = -M_{\text{н}}k$.
5. Сделать выводы.

Номер вар.	$P_{\text{н}}$, Вт	$U_{\text{н}}$, В	$n_{\text{н}}$, об/мин	КПД	$R_{\text{я}}$, Ом	$R_{\text{доп.п.}}$, Ом	$R_{\text{возб}}$, Ом	k	$q1$	$q2$	$h1$	$h2$
12	1800	220	1200	0.75	1.4	1.5	220	0.3	0.6	5	1.15	0.5

$U_{\text{н}}$ – номинальное напряжение двигателя, В ;

$P_{\text{н}}$ – номинальная мощность двигателя, кВт ;

$n_{\text{н}}$ – номинальная частота вращения ротора, об/мин ;

$\eta_{\text{н}}$ – к.п.д., коэффициент полезного действия при номинальной нагрузке, % ;

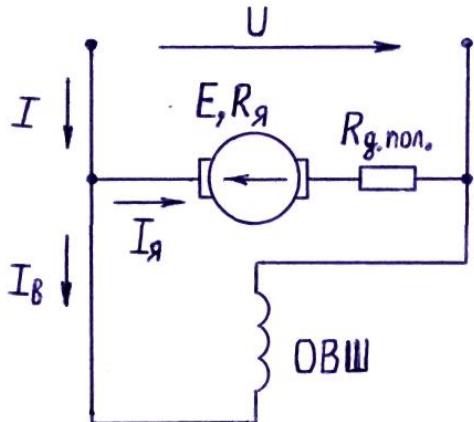
$R_{\text{я}}$ – сопротивление обмотки якоря, Ом ;

$R_{\text{доп пол}}$ – сопротивление обмотки дополнительных полюсов, Ом ;

$R_{\text{возб}}$ – сопротивление обмотки возбуждения, Ом .

Решение

Схема включения ДПТ с параллельным возбуждением:



Используя номинальные данные $P_{2H} = P_h$, (P_{2H} - номинальная полезная мощность) и n_h , можно вычислить номинальный врачающий момент двигателя:

$$M_h = \frac{9,55 P_{2H}}{n_h} = \frac{9,55 \cdot 1800}{1200} = 14,325 \text{ Н} * \text{м}$$

Номинальный ток возбуждения $I_{вн} = \frac{U_b}{R_{возб}}$, причем $U_b = U_{я} = U_h$

$$I_{вн} = \frac{U_b}{R_{возб}} = \frac{U_h}{R_{возб}} = \frac{220}{220} = 1 \text{ А}$$

Номинальная электрическая мощность, потребляемая из сети двигателем:

$$P_{1H} = \frac{P_{2H}}{\eta_h} = U_{я} \cdot I_{я_h} + U_{воз} \cdot I_{воз} \Rightarrow I_{я_h} = \frac{P_{1H}}{U_{я}} - I_{воз}$$

$$P_{1H} = \frac{1800}{0,75} = 2400 \text{ Вт}$$

$$I_{я_h} = \frac{2400}{220} - 1 \approx 9,91 \text{ А}$$

2) Расчет номинальных данных

Уравнение электрического состояния силовой цепи двигателя можно записать в виде:

$$U_{я} = E_{вращ} + I_{я} \cdot (R_{я} + R_{доп\,поп}),$$

где $E_{вращ} = C_E \cdot \Phi \cdot n$ – ЭДС вращения; C_E – коэффициент, определяемый конструктивными параметрами двигателя.

Уравнение электромеханической характеристики $n=f(I_{я})$ имеет вид:

$$n = \frac{U_{я}}{C_E \cdot \Phi} - \frac{I_{я} \cdot (R_{я} + R_{доп\,поп})}{C_E \cdot \Phi} = n_{xx} - \Delta n = \frac{220}{0,159} - \frac{I_{я} \cdot 2,9}{0,159} = 1383,65 - 18,2I_{я}$$

Учитывая, что $M = C_M \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}}$, где C_M – коэффициент, определяемый конструктивными параметрами двигателя, получаем уравнение механической характеристики $n=f(M)$:

$$n = \frac{U_{\text{я}}}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = n_{\text{xx}} - \Delta n = \frac{220}{0,159} - \frac{M \cdot 2,9}{0,159 \cdot 1,446} = 1383,6 - 12,6M$$

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

$$C_E \cdot \Phi = \frac{E_{\text{h}}}{n_{\text{h}}} \text{ и } C_M \cdot \Phi = \frac{M_{\text{h}}}{I_{\text{яh}}}$$

$$k_E = C_E \cdot \Phi = \frac{E_{\text{h}}}{n_{\text{h}}} = \frac{U_{\text{я}} - I_{\text{я}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}})}{n_{\text{h}}} = \frac{220 - 9,91 \cdot (1,4 + 1,5)}{1200} \approx 0,159$$

$$k_M = C_M \cdot \Phi = \frac{M_{\text{h}}}{I_{\text{яh}}} = \frac{14,325}{9,91} \approx 1,446$$

Для построения естественной механической $n=f(M)$ и электромеханической $n=f(I_{\text{я}})$ характеристик необходимо знать координаты двух точек:

1) $n = n_{\text{xx}}$ при $M = 0$ и $I_{\text{я}} = 0$ (режим холостого хода, Х.Х.);

$$n_{\text{xx}} = \frac{U_{\text{я}}}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = \frac{220}{0,159} - 0 = 1383,6 \text{ об/мин}$$

2) $n = n_{\text{h}}$ при $M = M_{\text{h}}$ и $I_{\text{я}} = I_{\text{яh}}$ (номинальный режим).

$$n_{\text{h}} = \frac{U_{\text{я}}}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = \frac{220}{0,159} - \frac{14,325 \cdot 2,9}{0,159 \cdot 1,446} = 1202,96 \text{ об/мин}$$

Рассчитаем пусковой момент $M_{\text{пуск}}$ и пусковой ток $I_{\text{пуск}}$ при $n = 0$:

$$0 = \frac{U_{\text{я}}}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M_{\text{пуск}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} \Rightarrow M_{\text{пуск}} = \frac{U_{\text{я}} \cdot C_M \cdot \Phi}{(R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}})} = \frac{220 \cdot 1,446}{2,9} = 109,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$I_{\text{пуск}} = \frac{U_{\text{я}}}{R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}}} = \frac{220}{2,9} = 75,86 \text{ A}$$

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

$$M_D = M_{\text{h}} \cdot k = 14,325 \cdot 2,9 = 41,54 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$n_D = \frac{U_{\text{я}}}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M_D \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = \frac{220}{0,159} - \frac{41,54 \cdot 2,9}{0,159 \cdot 1,446} = 859,69 \text{ об/мин}$$

$$I_D = \frac{M_D}{C_M \cdot \Phi} = \frac{41,54}{1,446} = 28,73 \text{ A}$$



3) Расчет искусственных механических характеристик $n=f(M)$ при различных способах регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока.

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

$$n = \frac{U_a}{C_E \cdot \Phi} - \frac{I_a \cdot (R_a + R_{\text{доп пол}})}{C_E \cdot \Phi} = n_{\text{xx}} - \Delta n$$

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

3.1) Якорное управление ($U' = U_a q_1$)

При уменьшении напряжения на якорной обмотке U_a и неизменном магнитном потоке ($\Phi = \text{const}$) n_0 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 ее линейности достаточно рассчитать координаты точки для режима холостого хода:

$$M = 0; \quad n'_{xx} = U'/(C_E \cdot \Phi) = U_{я} \cdot q1/(C_E \cdot \Phi) = n_{xx} \cdot q1.$$

Искусственная характеристика будет проходить параллельно естественной.

$$n'_{xx} = n_{xx} \cdot q1 = 1383,65 \cdot 0,6 = 830,2 \text{ об/мин}$$



Вывод:

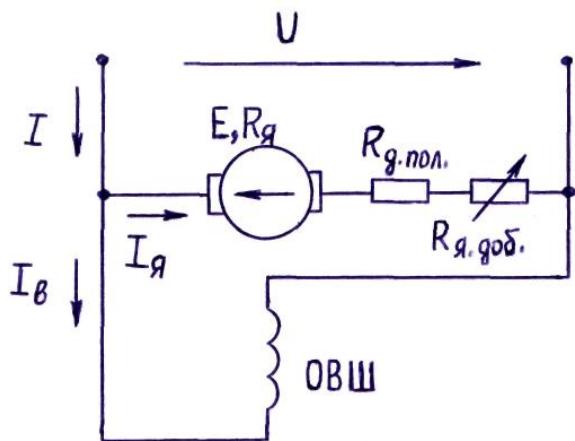
При изменении $U_{я}$ изменяется скорость вращения при холостом ходе n_{xx} , и пусковой момент $M_{пуск}$.

Преимущества: постоянный КПД, точная настройка характеристики по n_{xx} и $M_{пуск}$, при подборе нужно напряжение на якоре.

Недостатки: сложен в реализации.

3.2) Реостатное регулирование ($R_{я,доб.} = R_{я}q2$)

Электрическая схема, соответствующая реостатному регулированию n :



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

$$n' = \frac{U_я}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M \cdot (R_я + R_{\text{доп пол}} + R_{я.добр.})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = n_{xx} - \Delta n$$

При введении $R_{я.добр.} = R_я \cdot q2$ возрастает Δn и увеличивается наклон характеристики $n = f(M)$. При этом $n_{xx} = U_я / (C_E \cdot \Phi)$ не меняется, значит естественная и реостатная характеристики выходят из одной точки n_{xx} .

Для построения реостатной характеристики $n' = f(M)$ необходимо знать координаты двух точек:

1) режим холостого хода - $n_0 = U / (C_E \cdot \Phi)$ при $M = 0$;

2) номинальный режим - при $M = M_H$

$$R_{я.добр.} = R_я \cdot q2 = 1,4 \cdot 5 = 7 \text{ Ом}$$

$$n_{xx'} = \frac{U_я}{C_E \cdot \Phi} = \frac{220}{0,159} = 1383,65 \text{ об/мин}$$

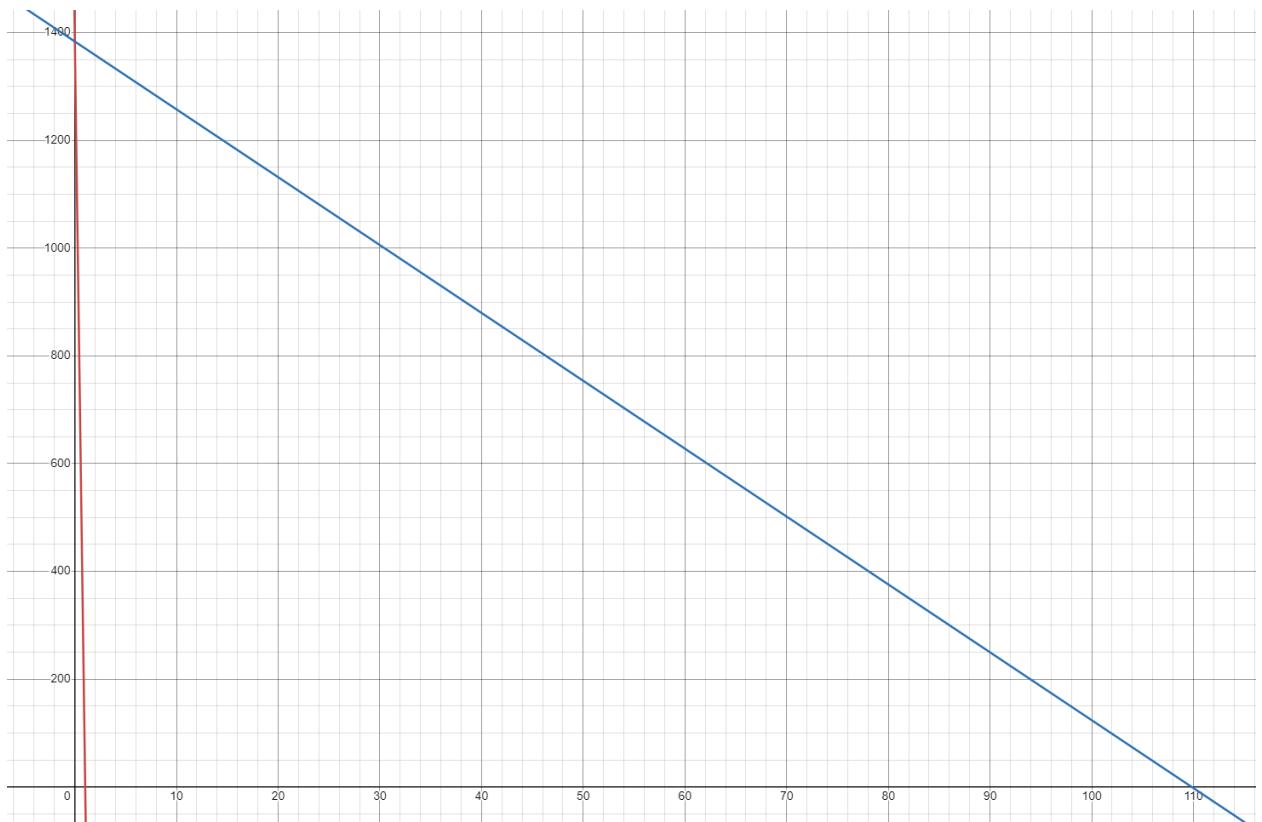
$$n_H' = \frac{U_я}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M_H \cdot (R_я + R_{\text{доп пол}} + R_{я.добр.})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = \frac{220}{0,159} - \frac{14,325 \cdot (1,4 + 1,5 + 7)}{0,159 \cdot 1,446} = 766,82 \text{ об/мин}$$

$$n_H' = 1383,6 - 1340,6M$$

Пусковой момент $M_{\text{пуск}}$ при $n = 0$:

$$0 = \frac{U_я}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M_{\text{пуск}} \cdot (R_я + R_{я.добр.} + R_{\text{доп пол}})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} \Rightarrow M_{\text{пуск}} = \frac{U_я \cdot C_M \cdot \Phi}{R_я + R_{я.добр.} + R_{\text{доп пол}}} = \frac{220 \cdot 1,446}{9,9} =$$

$$32,13 \text{ Н} \cdot \text{м}$$



Вывод:

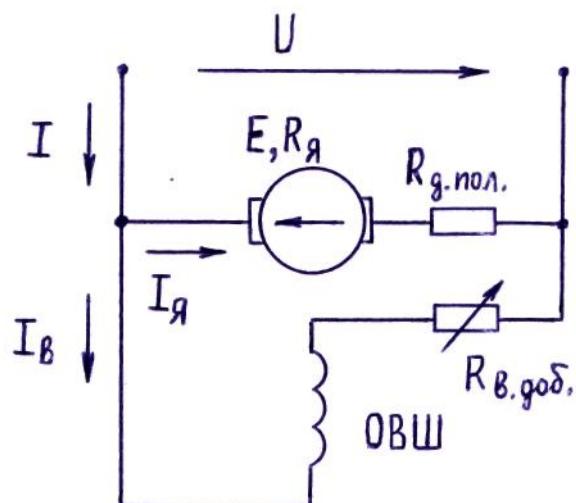
Скорость холостого хода не отличается от естественной характеристики, меняется только наклон прямой.

Преимущества: легче реализовать, чем в первом случае, можно управлять в большом диапазоне моментов.

Недостатки: снижается КПД.

3.3) Полюсное регулирование

На рисунке ниже приведена электрическая схема, соответствующая регулированию частоты вращения n двигателя постоянного тока при уменьшении магнитного потока возбуждения ($\Phi' = \Phi \cdot q1$).



При введении добавочного сопротивления в цепь обмотки возбуждения $R_{\text{в доб}}$ уменьшается ток возбуждения $I_{\text{в}}$, уменьшается магнитный поток $\Phi' = \Phi \cdot q_1$ ($\Phi' < \Phi$), создаваемый обмоткой возбуждения.

В соответствии с уравнением механической характеристики:

$$n' = \frac{U_{\text{я}}}{C_E \cdot \Phi'} - \frac{M \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}})}{C_E \cdot C_M \cdot (\Phi')^2} = n'_{\text{хх}} - \Delta n'$$

при изменении магнитного потока Φ изменяются скорость холостого хода и наклон механической характеристики ($n_{\text{хх}}$ и Δn).

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

а) режим Х.Х.: $n_{\text{хх}}' = U_{\text{я}} / (C_E \cdot \Phi')$ при $M = 0$;

$$n'_{\text{хх}} = \frac{U_{\text{я}}}{C_E \cdot \Phi'} = \frac{220}{0,159 \cdot 0,6} = 2306,08 \text{ об/мин}$$

б) при номинальной нагрузке: $M = M_{\text{н}}$

$$n' = \frac{U_{\text{я}}}{C_E \cdot \Phi'} - \frac{M_{\text{н}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}})}{C_E \cdot C_M \cdot (\Phi')^2} = n'_{\text{хх}} - \Delta n'$$

$$n' = \frac{U_{\text{я}}}{C_E \cdot \Phi'} - \frac{M_{\text{н}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}})}{C_E \cdot C_M \cdot (\Phi')^2} = \frac{220}{0,159 \cdot 0,6} - \frac{14,325 \cdot 2,9}{0,159 \cdot 1,446 \cdot 0,6^2} = 1804,17 \text{ об/мин}$$

$$0 = \frac{U_{\text{я}}}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M_{\text{пуск}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}})}{C_E \cdot C_M \cdot (\Phi')^2} \Rightarrow M_{\text{пуск}} = \frac{U_{\text{я}} \cdot C_M \cdot \Phi'}{(R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}})} = \frac{220 \cdot 1,446 \cdot 0,6}{2,9} = 65,82 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Вывод:

При изменении потока возбуждения меняется скорость вращения при холостом ходе и пусковой момент.

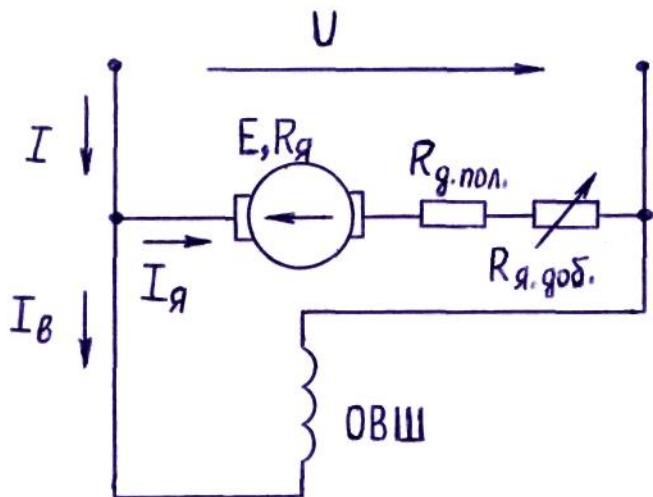
Преимущества: простота реализации и экономичность потребления энергии.

Недостатки: нелинейность, сложность в точном управлении.

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

4.1) Генераторное торможение.

Электрическая схема двигателя постоянного тока:



Расчет тормозной реостатной характеристики, соответствующей генераторному торможению и обеспечивающей при заданном моменте торможения M_t частоту вращения n_t проводят в два этапа:

1 Этап. Определим частоту n_{TE} при $R_{я,доб} = 0$ и заданном тормозном моменте M_t

$$n_{TE} = \frac{U}{C_E \cdot \Phi} + M_t \cdot \frac{R_{я} + R_{доп\,поп}}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = \frac{220}{0,159} + 4,3 \cdot \frac{2,9}{0,159 \cdot 1,446} = 1437,89 \text{ об/мин}$$

$$M_t = M_h \cdot k = 14,325 \cdot 0,3 = 4,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

2 Этап Определим величину добавочного сопротивления

$$n_t = \frac{U}{C_E \cdot \Phi} + M_t \cdot \frac{R_{я} + R_{доп\,поп} + R_{я,доб}}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} \Rightarrow R_{я,доб} = \frac{(n_t \cdot C_E \cdot \Phi - U_{я}) C_M \cdot \Phi}{M_t} - R_{я} -$$

$$R_{доп\,поп} = \frac{(1380 \cdot 0,159 - 220) \cdot 1,446}{4,3} - 2,9 = 3,035 \text{ Ом}$$

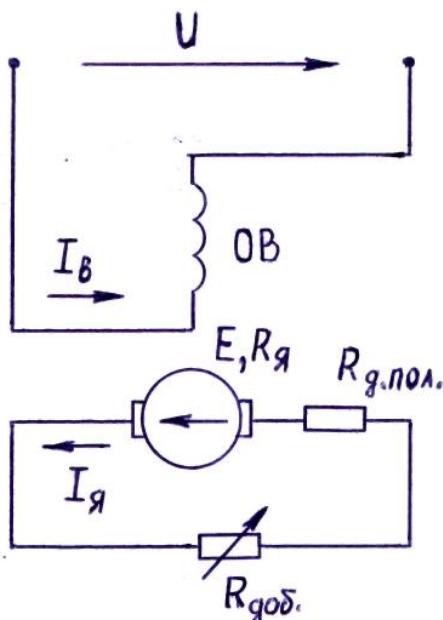
$$n_t = n_h \cdot h_1 = 1200 \cdot 1,15 = 1380 \text{ об/мин}$$

Вывод: Генераторное торможение обеспечивает торможение двигателя, не допуская его разгон под действием производственного механизма

Преимущества: двигатель будет вращаться с постоянной скоростью, не допуская дальнейшее увеличение скорости

Недостатки: скорость двигателя не сбрасывается до нуля

4.2) Динамическое торможение.



Расчет характеристики $n_t = f(M_t)$ при $R_{\text{доб}} = 0$.

1 этап - расчет характеристики при $R_{\text{доб}} = 0$.

Уравнение механической характеристики $n_{tE} = f(M)$, соответствующее динамическому торможению (при $R_{\text{доб}} = 0$), принимает вид

$$n_{tE} = M_t \cdot \frac{R_я + R_{\text{доп пол}}}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = 54,24 \text{ об/мин}$$

2 этап - расчет реостатной характеристики $n_t(M)$ при $R_{\text{доб}} \neq 0$

$$n_t = M_t \cdot (R_я + R_{\text{доп пол}} + R_{\text{доб}}) / (C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2)$$

$$R_{\text{доб}} = \frac{n_t C_E C_M \Phi^2}{M_t} - R_я - R_{\text{доп пол}} = \frac{(1380 \cdot 0,159 \cdot 1,446)}{4,3} - 2,9 = 73,98 \text{ Ом}$$

Вывод:

Преимущества: точность остановки в заданный момент времени и простота реализации

Недостатки: относительная энергетическая неэффективность

4.3) Торможение противовключением

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

Реостатная характеристика при этом будет выглядеть следующим образом:

$$n_t = \frac{U}{C_E \cdot \Phi} + M_t \cdot \frac{R_я + R_{\text{доп пол}} + R_{я \text{ доб}}}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2}$$

$$R_{я \text{ доб}} = \frac{n_t C_E C_M \Phi^2 - U C_M \Phi}{M_t} - R_я - R_{\text{доп пол}} = \frac{(1380 \cdot 0,159 - 220) \cdot 1,446}{4,3} - 2,9 = 3,1 \text{ Ом}$$

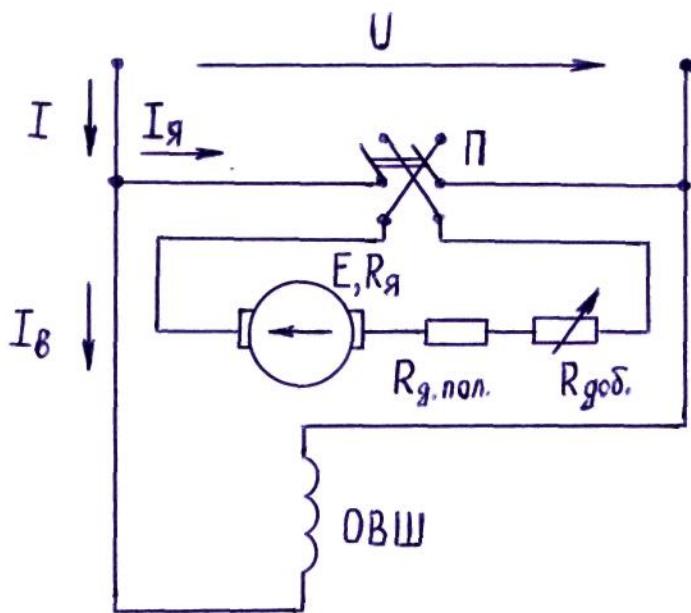
Вывод:

Преимущества:

Недостатки:

4.3.1) Торможение противовключением при изменении полярности

напряжения в цепи якоря



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

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

$$R_{\text{я доб}} = \frac{(n C_E \Phi + U) C_M \Phi}{M} - R_{\text{я}} - R_{\text{доп пол}} = \frac{(1380 * 0,159 + 220) * 1,446}{4,3} - 2,9 = 144,87 \text{ Ом}$$