

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 $n = f(I_a)$ 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.

Номер вар.	P_n , Вт	U_n , В	n_n , об/мин	КПД	R_a , Ом	$R_{доб.п.}$, Ом	$R_{возб}$, 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_n – номинальное напряжение двигателя, В ;

P_n – номинальная мощность двигателя, кВт ;

n_n – номинальная частота вращения ротора, об/мин ;

η_n – к.п.д., коэффициент полезного действия при номинальной нагрузке, % ;

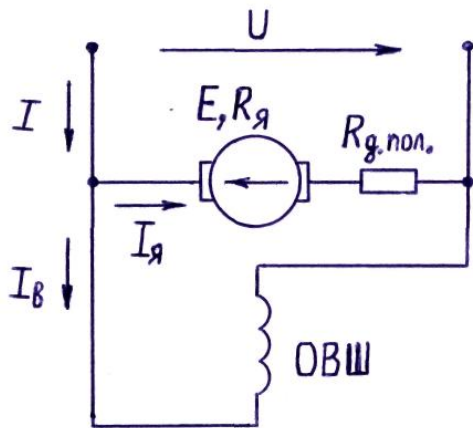
R_a – сопротивление обмотки якоря, Ом ;

$R_{доп пол}$ - сопротивление обмотки дополнительных полюсов, Ом ;

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

Решение

Схема включения ДПТ с параллельным возбуждением:



Используя номинальные данные $P_{2н} = P_n$ ($P_{2н}$ - номинальная полезная мощность) и n_n , можно вычислить номинальный вращающий момент двигателя:

$$M_n = \frac{9,55 P_{2н}}{n_n} = \frac{9,55 \cdot 1800}{1200} = 14,325 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

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

$$I_{вн} = \frac{U_{в}}{R_{возб}} = \frac{U_n}{R_{возб}} = \frac{220}{220} = 1 \text{ А}$$

Номинальная электрическая мощность, потребляемая из сети двигателем:

$$P_{1н} = \frac{P_{2н}}{\eta_n} = U_{я} \cdot I_{ян} + U_{воз} \cdot I_{воз} \Rightarrow I_{ян} = \frac{P_{1н}}{U_{я}} - I_{воз}$$

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

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

2) Расчет номинальных данных

Уравнение электрического состояния силовой цепи двигателя можно записать в виде:

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

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:

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

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

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

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

$$C_E \cdot \Phi = \frac{E_H}{n_H} \text{ и } C_M \cdot \Phi = \frac{M_H}{I_{aH}}$$

$$k_E = C_E \cdot \Phi = \frac{E_H}{n_H} = \frac{U_a - I_a \cdot (R_a + R_{\text{доп пол}})}{n_H} = \frac{220 - 9,91 \cdot (1,4 + 1,5)}{1200} \approx 0,159$$

$$k_M = C_M \cdot \Phi = \frac{M_H}{I_{aH}} = \frac{14,325}{9,91} \approx 1,446$$

Для построения естественной механической $n=f(M)$ и электромеханической $n=f(I_a)$ характеристик необходимо знать координаты двух точек:

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

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

2) $n = n_H$ при $M = M_H$ и $I_a = I_{aH}$ (номинальный режим).

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

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

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

$$I_{\text{пуск}} = \frac{U_a}{R_a + R_{\text{доп пол}}} = \frac{220}{2,9} = 75,86 \text{ А}$$

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

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

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

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



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:

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

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

3.1) Якорное управление ($U' = Uq1$)

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:

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

Искусственная характеристика будет проходить параллельно естественной.

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



Вывод:

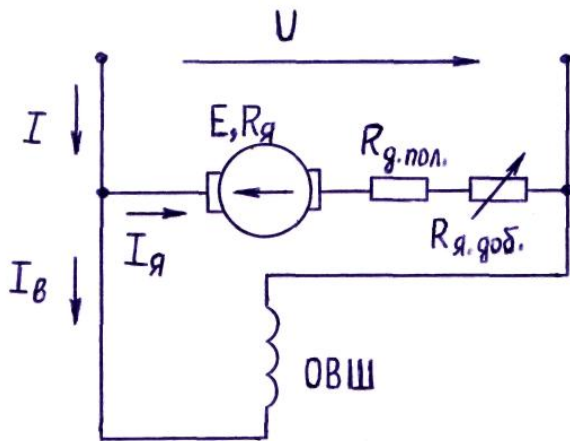
При изменении $U_{\text{я}}$ изменяется скорость вращения при холостом ходе n_{xx} , и пусковой момент $M_{\text{пуск}}$.

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

Недостатки: сложен в реализации.

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

Электрическая схема, соответствующая реостатному регулированию n :



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

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

При введении $R_{\text{я доб}} = R_{\text{я}} \cdot q^2$ возрастает Δn и увеличивается наклон характеристики $n=f(M)$. При этом $n_{\text{хх}} = U_{\text{я}} / (C_E \cdot \Phi)$ не меняется, значит естественная и реостатная характеристики выходят из одной точки $n_{\text{хх}}$.

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 $M = M_{\text{н}}$

$$R_{\text{я доб}} = R_{\text{я}} \cdot q^2 = 1,4 \cdot 5 = 7 \text{ Ом}$$

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

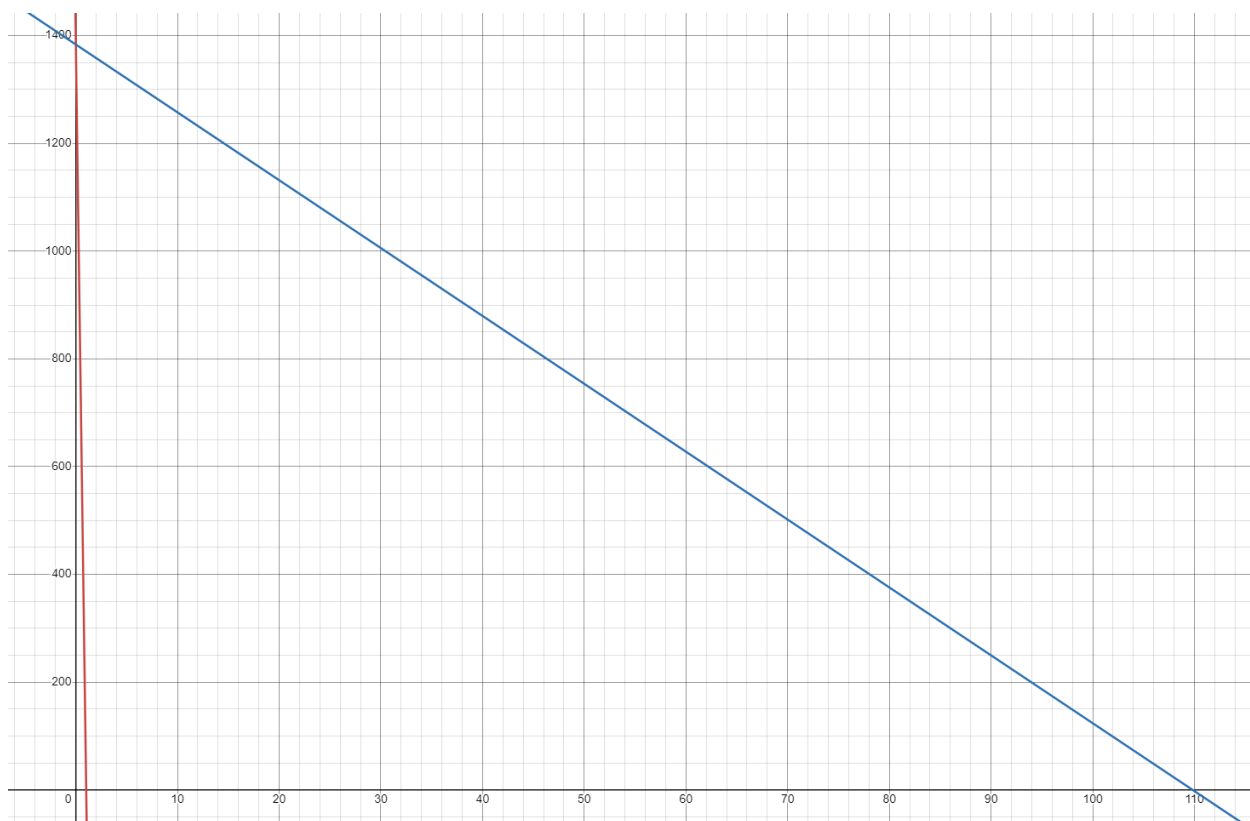
$$n_{\text{н}}' = \frac{U_{\text{я}}}{C_E \cdot \Phi} - \frac{M_{\text{н}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}} + R_{\text{я доб}})}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} = \frac{220}{0,159} - \frac{14,325 \cdot (1,4 + 1,5 + 7)}{0,159 \cdot 1,446} = 766,82 \text{ об/мин}$$

$$n'_{\text{н}} = 1383,6 - 1340,6M$$

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

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

$$32,13 \text{ Н} \cdot \text{м}$$



Вывод:

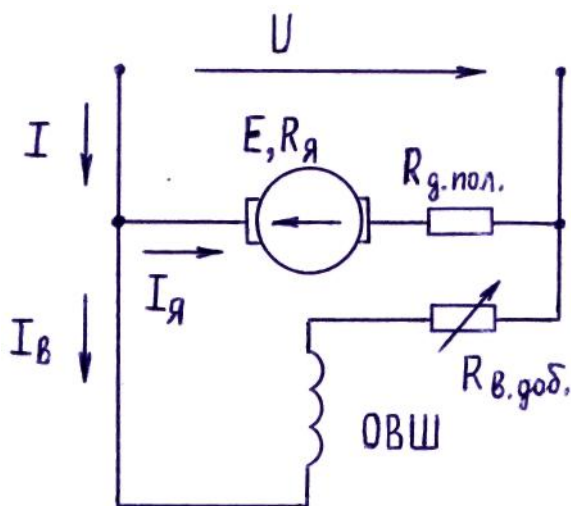
Скорость холостого хода не отличается от естественной характеристики, меняется только наклон прямой.

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

В соответствии с уравнением механической характеристики:

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

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.: $n'_{\text{хх}} = U_{я} / (C_E \cdot \Phi')$ при $M = 0$;

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

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

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

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

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

Вывод:

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

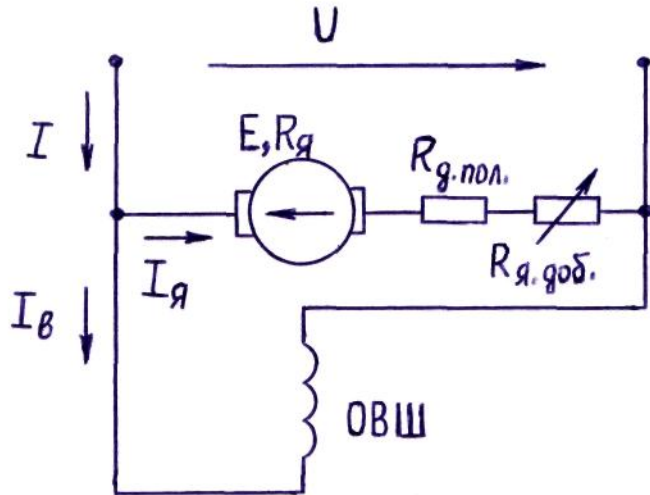
Преимущества: простота реализации и экономичность потребления энергии.

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

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

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

2 Этап Определим величину добавочного сопротивления

$$n_T = \frac{U}{C_E \cdot \Phi} + M_T \cdot \frac{R_{я} + R_{доп пол} + R_{я доп}}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2} \Rightarrow R_{я доп} = \frac{(n_T \cdot C_E \cdot \Phi - U) C_M \cdot \Phi}{M_T} - R_{я} -$$

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

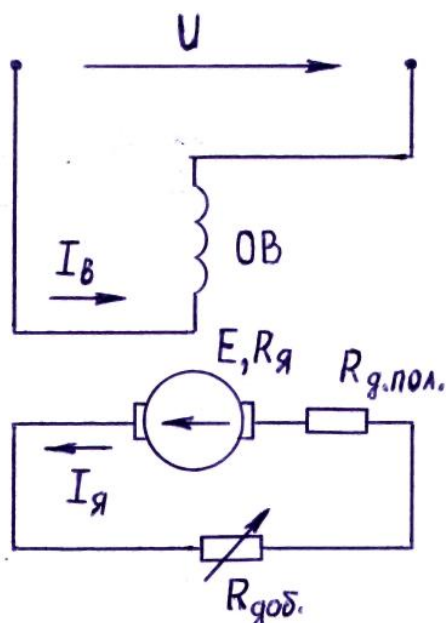
$$n_T = n_H \cdot h_1 = 1200 \cdot 1,15 = 1380 \text{ об/мин}$$

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

Преимущества: двигатель будет вращаться с постоянной скоростью, не допуская дальнейшего увеличения скорости

Недостатки: скорость двигателя не сбрасывается до нуля

4.2) Динамическое торможение.



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

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

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

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

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

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

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

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 $R_{я доб}$

Реостатная характеристика при этом будет выглядеть следующим образом:

$$n_T = \frac{U}{C_E \cdot \Phi} + M_T \cdot \frac{R_{я} + R_{доп пол} + R_{я доб}}{C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2}$$

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

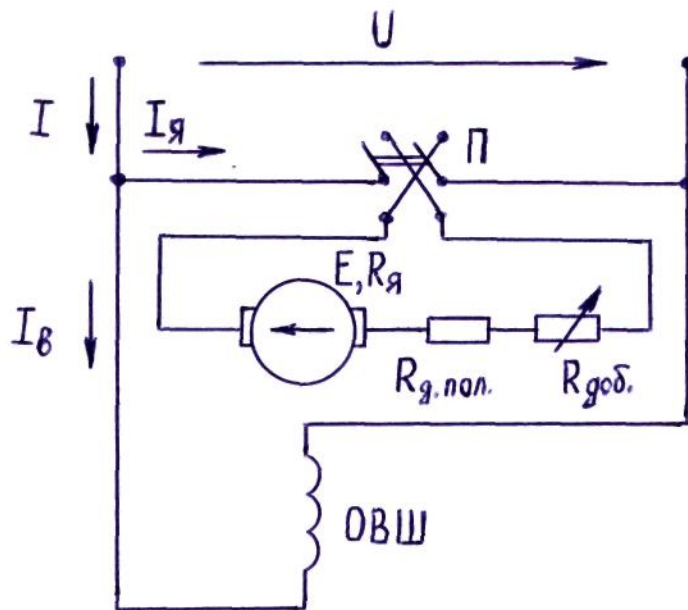
Вывод:

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:

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

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