

Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Методические рекомендации по решению домашнего задания
по курсу «Электротехника и электроника»

Москва, 2007

Настоящие методические рекомендации к решению домашнего задания по курсу «Электротехника и электроника» соответствуют программе курса.

В указаниях изложен минимум теоретических сведений, необходимых для успешного освоения материала и проведения цикла расчетов по исследованию различных режимов работы двигателей постоянного тока.

Введение.

Двигатели постоянного тока (ДПТ) широко используются в электроприводе. Они обладают рядом преимуществ по сравнению с такими электрическими машинами, как синхронные и асинхронные двигатели. К этим преимуществам можно отнести относительную простоту изготовления, дешевизну, большой пусковой момент, управляемость.

Целью предлагаемого домашнего задания является закрепление теоретических знаний, полученных на лекциях и семинарских заданиях при самостоятельном расчете студентами различных режимов работы ДПТ.

Полный объем домашнего задания (ДЗ) по расчету основных характеристик ДПТ включает следующие пункты:

1. Расчет естественной механической характеристики $n=f(M)$ и электромеханической характеристики $n=f(I_a)$.
2. Расчет искусственных механических характеристик $n=f(M)$ ДПТ при различных способах регулирования угловой скорости n :
 - при изменении напряжения источника питания U ;
 - при введении в цепь ротора ДПТ добавочного сопротивления $R_{я\text{доб}}$;
 - при изменении потока возбуждения Φ .
3. Расчет искусственных механических характеристик $n=f(M)$ ДПТ при различных способах электрического торможения:
 - при генераторном торможении;
 - при динамическом торможении;
 - при торможении противовключением.

Методика расчета всех пунктов домашнего задания рассмотрена ниже.

Требования к оформлению отчета.

Отчет по выполненной расчетно-графической работе должен содержать:

1. Титульный лист (см. стр. 23).
2. Текст домашнего задания с приведением всех исходных данных рассматриваемого варианта.
3. Последовательное выполнение всех пунктов задания с приведением расчетных формул и подставляемых в них числовых значений (формула – подставляемые числа – ответ с единицами измерения).
4. При выполнении каждого пункта задания необходимо приводить краткие пояснения о сути выполняемых действий.
5. После выполнения расчетов по каждому пункту задания приводятся расчетные данные и строятся требуемые по заданию графики.
6. Графики должны быть построены аккуратно, в крупном масштабе, с помощью чертежных инструментов или с использованием ПЭВМ.
7. В конце каждого пункта задания необходимо сделать выводы по результатам проведенных расчетов.
8. Домашнее задание должно быть выполнено и представлено на проверку преподавателю в предусмотренные учебным планом сроки.

1. Содержание домашнего задания.

ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ ПО ТЕМЕ

«Двигатели постоянного тока»

Для двигателей постоянного тока выполнить следующие расчеты и построения:

1. Нарисовать электрическую схему включения двигателя постоянного тока (ДПТ) с параллельным возбуждением.
2. Рассчитать и построить естественные механическую $n=f(M)$ и электромеханическую $n=f(I_{\text{я}})$ характеристики. Определить частоту вращения n_D при заданном моменте сопротивления $M_D = M_H \cdot k$ на валу двигателя.
3. Рассчитать и построить на одном графике естественную и искусственные характеристики $n=f(M)$ при различных способах регулирования частоты вращения n двигателя постоянного тока. Определить для каждого случая частоту вращения n_D при заданном моменте сопротивления $M_D = M_H \cdot k$ на валу двигателя:
 - а) при регулировании изменением напряжения сети ($U' = U \cdot q_1$);
 - б) при реостатном регулировании ($R_{\text{я доб}} = R_{\text{я}} \cdot q_2$);
 - в) при изменении потока возбуждения ($\Phi' = \Phi \cdot q_1$).
4. Рассчитать и построить на одном графике естественную и искусственные характеристики $n=f(M)$ при различных способах торможения ДПТ:
 - а) при генераторном торможении, для $n_T = n_H \cdot h_1$ и $M_T = M_H \cdot k$;
 - б) при динамическом торможении, для $n_T = n_D$ и $M_T = M_H \cdot k$;
 - в) при торможении противовключением:
 - $n_T = n_H \cdot h_2$ и $M_T = M_H \cdot k$ для реостатного торможения;
 - $n_T = n_D$ и $M_T = M_H \cdot k$ для торможения с изменением полярности напряжения на обмотке якоря.

2. Расчет номинальных данных и построение естественной механической характеристики $n=f(M)$.

В качестве исходных данных приводятся следующие величины :

U_H – номинальное напряжение двигателя, В;

P_H – номинальная мощность двигателя, кВт;

n_H – номинальная частота вращения ротора, об/мин;

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

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

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

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

Полезной мощностью P_2 двигателя постоянного тока является механическая мощность, которая определяется через механические параметры по формуле: $P_2 = M \cdot \Omega = M \cdot (2\pi / 60) \cdot n = 0.1047 \cdot M \cdot n$,

где M – момент на валу двигателя; Ω – угловая скорость вращения ротора.

Используя номинальные данные P_{2H} и n_H , можно вычислить номинальный вращающий момент двигателя:

$$M_H = 9.55 \cdot P_{2H} / n_H.$$

Здесь P_{2H} – в [Вт], n_H – в [об/мин], M_H – в [Н·м].

Номинальная электрическая мощность, потребляемая из сети двигателем

$$P_{1H} = P_{2H} / \eta_H.$$

Номинальный ток двигателя $I_H = P_{1H} / U_H$.

Номинальный ток возбуждения $I_{вн} = U_H / R_{\text{возб}}$.

Номинальный ток обмотки якоря $I_{ян} = I_H - I_{вн} = P_{1H} / U_H - U_H / R_{\text{возб}}$.

Схема включения ДПТ с параллельным возбуждением изображена на рис. 1.

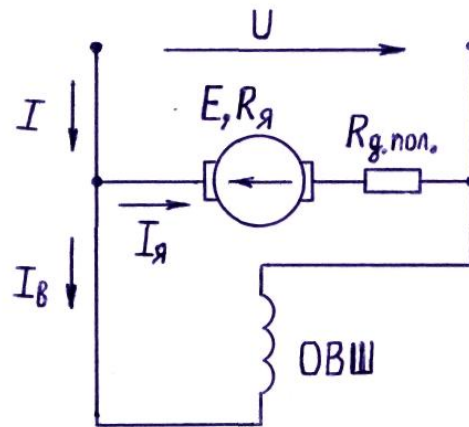


Рис. 1

Уравнение электрического состояния силовой цепи двигателя можно записать в виде:

$$U = E + I_{я} \cdot (R_{я} + R_{доп\ пол}),$$

где $E = C_E \Phi \cdot n$ – э.д.с. вращения; C_E – коэффициент, определяемый конструктивными параметрами двигателя.

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

$$n = U / (C_E \cdot \Phi) - I_{я} \cdot (R_{я} + R_{доп\ пол}) / (C_E \cdot \Phi) = n_0 - \Delta n.$$

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

$$n = U / (C_E \cdot \Phi) - M \cdot (R_{я} + R_{доп\ пол}) / (C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2) = n_0 - \Delta n.$$

Полученные выражения для характеристик $n=f(I_{я})$ и $n=f(M)$ имеют линейный характер при условии, что магнитная цепь двигателя не насыщена (см. рис. 2 характеристика 1).

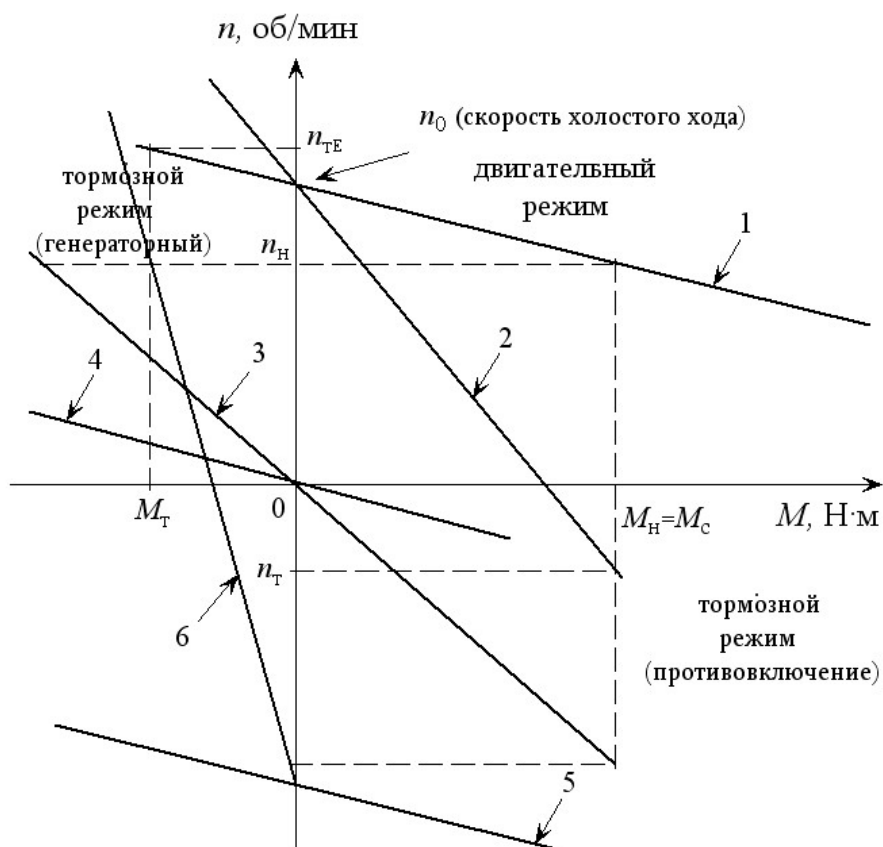


Рис. 2

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

$$C_E \cdot \Phi = E_H / n_H \text{ и } C_M \cdot \Phi = M_H / I_{яH}.$$

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

- 1) $n = n_0$ при $M = 0$ и $I_я = 0$ (режим холостого хода, Х.Х.);
- 2) $n = n_H$ при $M = M_H$ и $I_я = I_{яH}$ (номинальный режим).

После построения графиков $n=f(I_я)$ и $n=f(M)$ нужно определить частоту вращения ДПТ, соответствующую заданному моменту нагрузки на валу двигателя $M_D = M_H \cdot k$ аналитически (по уравнению механической характеристики) и графически (по графику $n=f(M)$), а также рассчитать пусковой момент двигателя (при $n = 0$).

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

3.1. Расчет характеристики $n=f(M)$ при уменьшении напряжения источника питания в цепи якоря.

Влияние U на вид характеристики $n=f(M)$.

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

$$n = U / (C_E \cdot \Phi) - I_я \cdot (R_я + R_{доп пол}) / (C_E \cdot \Phi) = n_0 - \Delta n,$$

$$n = U / (C_E \cdot \Phi) - M \cdot (R_я + R_{доп пол}) / (C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2) = n_0 - \Delta n.$$

Как следует из приведенных выражений, при уменьшении напряжения на якорной обмотке U и неизменном магнитном потоке ($\Phi = \text{const}$) n_0 уменьшается пропорционально U , а Δn остается неизменным при одинаковых значениях момента M . Значит наклон характеристики $n=f(M)$ не меняется.

При уменьшении напряжения ($U' = U \cdot q1$), приложенного к обмотке якоря, искусственная характеристика $n'=f(M)$, смещается вниз относительно естественной характеристики $n=f(M)$.

Расчет искусственной характеристики $n'=f(M)$ (при $U' = U \cdot q1$).

Для построения искусственной характеристики $n'=f(M)$ в силу ее линейности достаточно рассчитать координаты двух точек, например:

1) для режима холостого хода :

$$M = 0; \quad n_0' = U' / (C_E \cdot \Phi) = U \cdot q1 / (C_E \cdot \Phi) = n_0 \cdot q1;$$

2) при номинальной нагрузке:

$$M = M_y; \quad n'_н = U' / (C_E \cdot \Phi) - M_н \cdot (R_я + R_{доп пол}) / (C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2).$$

Естественную $n=f(M)$ и искусственную $n'=f(M)$ характеристики нужно строить на общем графике.

Коэффициент регулирования k_D при заданном M_D .

Вычислить коэффициент регулирования k_D частоты вращения n при изменении напряжения источника питания $U' = U \cdot q1$ и при моменте нагрузки

$M_D = M_H \cdot k$ можно по формуле: $\kappa_D = n_D' / n_D$.

Где n_D – частота вращения, соответствующая моменту M_D , при работе ДПТ на естественной характеристике $n=f(M)$, n_D' – частота вращения, соответствующая моменту M_D , при работе ДПТ на искусственной характеристике $n'=f(M)$ при том же моменте нагрузки M_D и при пониженном напряжении $U_1' = U_1 \cdot q_1$.

Далее необходимо отметить преимущества и недостатки данного метода регулирования n и сделать выводы о целесообразности его применения.

3.2. Расчет характеристики $n=f(M)$ при введении добавочного сопротивления $R_{я\text{доб}}$ в цепь якоря (реостатное регулирование).

Влияние $R_{я\text{доб}}$ на вид характеристики $n=f(M)$.

Электрическая схема, соответствующая реостатному регулированию n ДПТ, приведена на рис.3.

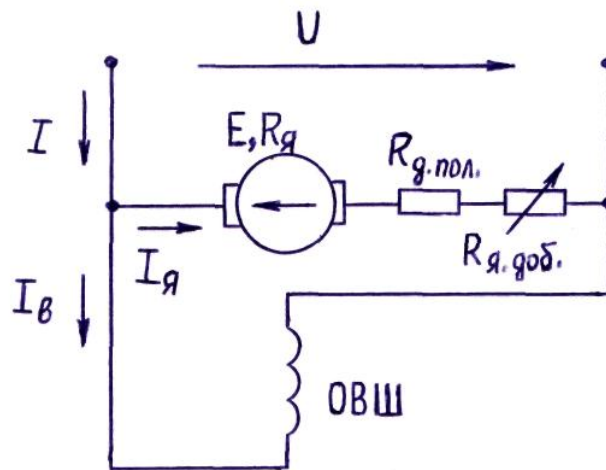


Рис. 3

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

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

При введении $R_{я\text{доб}}$ возрастает Δn и увеличивается наклон характеристики $n=f(M)$. При этом $n_0 = U / (C_E \cdot \Phi)$ не меняется, значит естественная и реостатная характеристики выходят из одной точки n_0 (режим холостого хода, $M = 0$).

Расчет реостатной характеристики $n'=f(M)$.

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 $M = M_H$

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

Естественную $n=f(M)$ и искусственную $n'=f(M)$ характеристики нужно строить на общем графике.

Коэффициент регулирования κ_D при заданном M_D .

Коэффициент регулирования частоты вращения κ_D определяется по формуле: $\kappa_D = n_D' / n_D$,

где $n_D' = U / (C_E \cdot \Phi) - M_D \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}} + R_{\text{я доб}}) / (C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2)$; $M_D = M_H \cdot k$; $R_{\text{я доб}} = R_{\text{я}} \cdot q_2$.

Далее необходимо отметить преимущества и недостатки данного метода регулирования n и сделать выводы о целесообразности его применения.

3.3. Расчет характеристики $n=f(M)$ при уменьшении потока возбуждения (полюсное регулирование).

Влияния потока возбуждения Φ на вид характеристики $n=f(M)$.

На рис. 4 приведена электрическая схема, соответствующая регулированию частоты вращения n двигателя постоянного тока при уменьшении магнитного потока возбуждения ($\Phi' = \Phi \cdot q_1$).

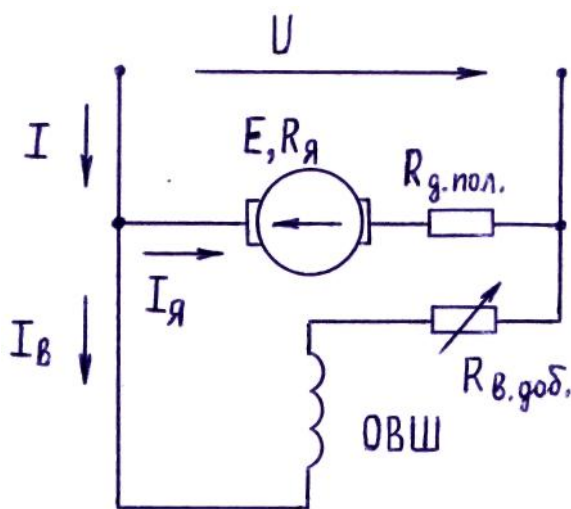


Рис. 4

При введении добавочного сопротивления в цепь обмотки возбуждения

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

В соответствии с уравнением механической характеристики

$$n' = U / (C_E \cdot \Phi') - M \cdot (R_{я} + R_{доп\ пол}) / (C_E \cdot C_M \cdot (\Phi')^2) = n_0' - \Delta n'$$

при изменении магнитного потока Φ изменяются скорость холостого хода и наклон механической характеристики (n_0 и Δn).

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

а) режим Х.Х.: $n_0' = U / (C_E \cdot \Phi')$ при $M = 0$;

б) при номинальной нагрузке: $M = M_n$

$$n' = U / (C_E \cdot \Phi') - M_n \cdot (R_{я} + R_{доп\ пол}) / (C_E \cdot C_M \cdot (\Phi')^2) = n_0' - \Delta n'$$

Естественную $n = f(M)$ и искусственную $n' = f(M)$ характеристики нужно строить на общем графике.

Коэффициент регулирования κ_D при заданном M_D .

Коэффициент регулирования частоты вращения n можно определить по формуле: $\kappa_D = n_D' / n_D$,

где $n_D' = U / (C_E \cdot \Phi') - M_D \cdot (R_{я} + R_{доп\ пол}) / (C_E \cdot C_M \cdot (\Phi')^2)$; $M_D = M_n \cdot k$; $\Phi' = \Phi \cdot q_1$.

Далее необходимо указать преимущества и недостатки рассмотренного метода регулирования и сделать выводы о целесообразности его применения.

Затем следует провести сопоставление трех рассмотренных методов регулирования n .

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

Далее рассматриваются три основных способа электрического торможения ДПТ:

- генераторное торможение;
- динамическое торможение;
- торможение противовключением.

4.1. Генераторное торможение.

Условие перехода ДПТ в режим генераторного торможения.

Электрическая схема двигателя постоянного тока приведена на рис. 5.

Направление тока $I_{я}$ на схеме соответствует работе машины в режиме двигателя ($E \uparrow I_{я} ; P < 0$), электрическая энергия потребляется из сети.

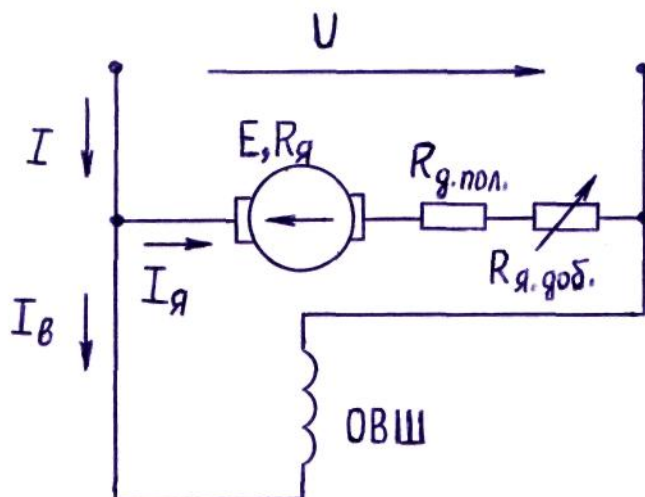


Рис. 5

При этом $n < n_0$ и $E < U$, где n_0 – частота вращения ротора ДПТ в режиме холостого хода ($M_c = 0$), E – э.д.с. вращения.

Режим генераторного (рекуперативного) торможения наступает, когда частота вращения ротора n оказывается больше частоты вращения ротора в режиме холостого хода n_0 . При этом $E > U$ и ток якоря $I_{я}$ становится отрицательным, т.е. меняет направление. Ток якоря и э.д.с. вращения оказываются направленными в одну сторону ($E \uparrow I_{я} , P > 0$), электрическая энергия отдается в сеть. Так как ток якоря $I_{я}$ меняет направление и становится отрицательным, соответственно меняет направление и момент, который тоже становится отрицательным, т.е. тормозит вращение ротора ($M = M_T < 0$).

Расчет тормозной реостатной характеристики, соответствующей генераторному торможению и обеспечивающей при заданном моменте торможения M_T частоту вращения n_T проводят в два этапа.

На первом этапе нужно определить частоту вращения n_{TE} при работе ДПТ на естественной характеристике ($R_{я\text{доб}} = 0$) и при заданном тормозном моменте M_T

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

На втором этапе определяют величину добавочного сопротивления $R_{я доб}$, вводимого в цепь якоря и обеспечивающего прохождение реостатной характеристики $n' = f(M)$ через точку с координатами M_T и n_T ($M_T = M_H \cdot k$, $n_T = n_H \cdot h_1$). Для чего нужно воспользоваться выражением

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

Задавая числовые значения M_T и n_T , можно определить $R_{я доб}$.

Затем необходимо рассчитать и построить на одном графике естественную $n_{тЕ} = f(M)$ и реостатную $n_T = f(M)$ механические характеристики, соответствующие генераторному торможению. На этих графиках нужно показать расчетные точки, соответствующие тормозному моменту M_T .

Далее необходимо указать преимущества и недостатки рассмотренного метода торможения и сделать выводы о целесообразности его применения.

4.2. Динамическое торможение.

Описание процесса торможения.

При выполнении динамического торможения ДПТ цепь якоря двигателя отключается от сети постоянного напряжения и замыкается на реостат с сопротивлением $R_{доб}$ (рис. 6).

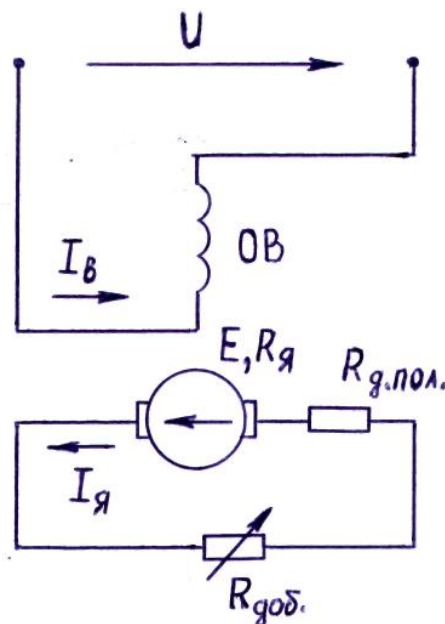


Рис. 6

Ротор по инерции продолжает вращаться, в обмотке якоря наводится э.д.с. вращения E . Так как напряжение внешнего источника на обмотке якоря отсутствует, ток в цепи определяется выражением

$$I_{\text{я}} = (-E)/(R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}} + R_{\text{я доб}}) < 0.$$

Ток $I_{\text{я}}$ и момент $M = C_M \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}}$ становятся отрицательными, момент действует против направления вращения ротора, т.е. становится тормозящим. При этом скорость вращения ротора будет уменьшаться вплоть до полной остановки ($n = 0$). Наклон характеристики динамического торможения определяется величиной суммарного сопротивления в цепи якоря ($R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}} + R_{\text{я доб}}$).

Чтобы представить вид характеристики $n=f(M)$ двигателя постоянного тока при динамическом торможении достаточно характеристику $n=f(M)$ при генераторном торможении, рассмотренную ранее, сместить вниз на величину n_0 . Полученная характеристика будет проходить через начало координат графика $n=f(M)$ (рис. 2 характеристика 4).

Расчет характеристики $n=f(M)$ при динамическом торможении.

Расчет реостатной характеристики $n_{\text{т}}=f(M)$, соответствующей динамическому торможению и проходящей через точку с координатами $M_{\text{т}}$ и $n_{\text{т}}$ проводят в два этапа:

- а) расчет характеристики $n_{\text{тЕ}}=f(M)$ при $R_{\text{доб}} = 0$;
- б) расчет реостатной характеристики $n_{\text{т}}=f(M)$ (при $R_{\text{доб}} \neq 0$), проходящей через расчетную точку с заданными координатами $M_{\text{т}}$ и $n_{\text{т}}$.

Расчет характеристики $n_{\text{т}}=f(M_{\text{т}})$ при $R_{\text{доб}} = 0$.

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

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

$$n_{\text{тЕ}} = M_{\text{т}} \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{доп пол}})/(C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2).$$

Полученное выражение соответствует прямой линии, проходящей через начало координат (рис. 2 характеристика 4). Угол наклона ее к оси абсцисс равен углу наклона естественной характеристики $n=f(M)$ ДПТ.

При динамическом торможении ДПТ, работающего, например, в номинальном режиме ($n = n_n$) без добавочного сопротивления в цепи якоря ($R_{доб} = 0$), возникнут ток якоря $I_{я}$ и тормозной момент M_T многократно превышающие их номинальные значения.

$$I_{яТ} = -E / (R_{я} + R_{доп пол}) \gg I_{я ном},$$

$$\text{и } M_T = C_M \cdot \Phi \cdot I_{яТ} \gg M_{ном}.$$

Второй этап – расчет реостатной характеристики $n_T = f(M)$ при $R_{доб} \neq 0$.

Чтобы избежать аварии ДПТ, в цепь якоря вводят ограничивающее сопротивление $R_{доб} \neq 0$ (см. рис. 6). При этом

$$I_{яТ} = -E / (R_{я} + R_{доп пол} + R_{доб}) < 2 \cdot I_{я ном};$$

$$n_T = M_T \cdot (R_{я} + R_{доп пол} + R_{доб}) / (C_E \cdot C_M \cdot \Phi^2) \text{ (рис. 2 характеристика 3)}.$$

Подставляя в полученное выражение $n_T = f(M_T)$ числовые значения M_T и n_T , можно определить величину соответствующего $R_{доб}$.

Естественную характеристику $n = f(M)$, соответствующую работе машины в двигательном режиме, и две тормозных характеристики: $n_{TE} = f(M)$ при $R_{доб} = 0$ и реостатную $n_T = f(M)$ нужно построить на общем графике. На графиках нужно показать точки, соответствующие заданному M_T .

Далее необходимо указать преимущества и недостатки рассмотренного метода торможения и сделать выводы о целесообразности его применения.

4.3 Торможение противовключением.

Применяются две модификации торможения противовключением:

- а) с использованием реостатной характеристики $n = f(M)$;
- 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 сил инерции вращается в противоположном направлении.

4.3.1 Торможение противовключением с использованием $R_{я доб}$.

Описание процесса торможения.

Рассмотрим первый вариант торможения противовключением с использованием реостатной характеристики $n = f(M)$. Схема включения ДПТ приведена на рисунке 5.

Рассмотрим, как происходит процесс торможения.

Допустим, лебедка поднимает груз, который создает на валу двигателя активный момент сопротивления M_c (рис. 2 характеристика 1). Теперь потребовалось этот груз опустить. Это можно осуществить с помощью резистора большого сопротивления, включенного в цепь якоря. Наклон механической характеристики при этом станет очень крутым (рис. 2 характеристика 2). Скорость вращения ротора двигателя из-за инерции в первый момент останется неизменным, а момент, развиваемый двигателем, станет меньше момента сопротивления на валу. Скорость вращения начнет падать, достигнет нулевого значения, а затем, изменив направление вращения, будет нарастать до тех пор, пока момент двигателя не уравновесит момент сопротивления на валу. Таким образом, груз будет опускаться с постоянной скоростью ($n = n_T, M = M_c$).

Реостатная характеристика при этом будет выглядеть следующим образом:

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

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

Подставляя в уравнение значения требуемых n_T и M_T , можно определить величину $R_{я\ доб}$, обеспечивающего необходимый наклон реостатной характеристики $n = f(M)$.

Естественную характеристику $n = f(M)$ ($R_{я\ доб} = 0$), соответствующую работе машины в двигательном режиме, и реостатную тормозную характеристику $n_T = f(M)$ ($R_{я\ доб} \neq 0$) нужно построить на общем графике. На графиках нужно показать точки, соответствующие заданному M_T .

Далее следует отметить преимущества и недостатки данного метода торможения и сделать выводы о целесообразности его применения.

4.3.2 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.

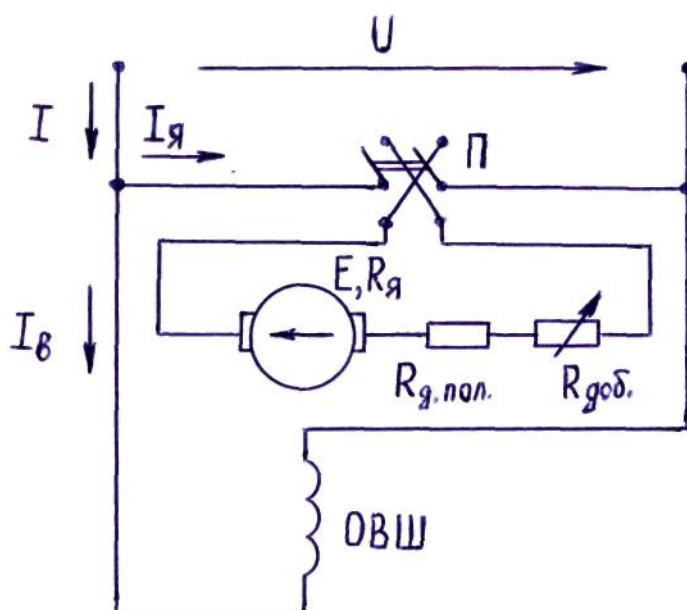


Рис. 7

На рис. 7 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 $I_{я}$. Однако если просто переключить полярность питающего якорь напряжения (см. рис. 2 характеристика 5), то в цепи якоря произойдет сильный скачек тока, т.к.

$I_{я} = (-U - E) / (R_{я} + R_{доп. пол.})$. Для ограничения тока $I_{я}$ в цепь якоря вводят добавочное сопротивление $R_{я. доб.}$. В этом случае наклон механической характеристики изменится (рис. 2 характеристика 6). Т.к. знак тока $I_{я}$ меняется, то и момент развиваемый двигателем становится тормозным

$M = C_M \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}} = M_T < 0$. Подбором $R_{\text{я доб}}$ можно регулировать величину $I_{\text{я}}$ и, соответственно, тормозной момент M_T .

Так как момент, развиваемый двигателем, становится тормозным, частота вращения ротора будет уменьшаться, рабочая точка переместится по реостатной характеристике до $n = 0$. Если в это время двигатель не отключить от сети, то ротор начнет разгоняться в противоположную сторону в соответствии с направлением действующего вращающего момента.

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

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

Подставляя в уравнение числовые значения требуемых n_T и M_T , можно определить величину добавочного сопротивления $R_{\text{я доб}}$.

Естественную характеристику $n = f(M)$ ($R_{\text{я доб}} = 0$), соответствующую работе машины в двигательном режиме, тормозную характеристику $n_{\text{тЕ}} = f(M)$ ДПТ при $R_{\text{я доб}} = 0$ и реостатную тормозную характеристику $n_T = f(M)$ при $R_{\text{я доб}} \neq 0$ нужно построить на общем графике. На графиках нужно показать точки, соответствующие заданному M_T .

Далее следует отметить преимущества и недостатки данного метода торможения и сделать выводы о целесообразности его применения.

1. Контрольные вопросы.

1. Устройство двигателя постоянного тока (ДПТ).
2. Способы возбуждения магнитного поля в ДПТ.
3. Электрическая схема замещения ДПТ с параллельным возбуждением.
4. Механическая характеристика ДПТ с параллельным возбуждением.
Уравнение. График.
5. Способы регулирования частоты вращения n . Их сравнение.
6. Реостатное регулирование n . Электрическая схема. Уравнение. График.
7. Якорное регулирование n . Электрическая схема. Уравнение. График.

8. Полюсное регулирование n . Электрическая схема. Уравнение. График.
9. Как осуществить реверс ДПТ?
10. Основные способы торможения ДПТ. Их сравнение.
11. Генераторное торможение. Электрическая схема. Уравнение.
Преимущества и недостатки метода.
12. Динамическое торможение. Электрическая схема. Уравнение.
Преимущества и недостатки метода.
13. Торможение противовключением с использованием $R_{я\text{ доб}}$.
Электрическая схема. Уравнение. Преимущества и недостатки метода.
14. Торможение противовключением при изменении полярности напряжения в цепи якоря. Электрическая схема. Уравнение. Преимущества и недостатки метода.

Список рекомендуемой литературы:

2. Борисов Ю.М., Липатов Д.Н., Зорин Ю.Н. Электротехника. Учебник для вузов – М. : Энергоатомиздат, 1985.
3. Липатов Д.Н. Вопросы и задачи по электротехнике для программированного обучения. Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1984.
4. Электротехника и электроника. Учебник для вузов. / Под редакцией В.Г.Герасимова. – М.: Энергоатомиздат, 1997.
4. Сборник задач по электротехнике и основам электроники. / Под редакцией В.Г. Герасимова. : Учебное пособие для вузов.- М.: Высшая школа, 1987.
5. Справочник по электрическим машинам: В двух томах / Под редакцией И.П. Копылова, Б.К. Клокова. – М.: Энергоатомиздат, 1988.
6. Токарев Б.Ф. Электрические машины: Учебное пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1990.
7. Копылов И.П. Электрические машины. Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1986.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение	3
1. Содержание домашнего контрольного задания	5
6. Расчет номинальных данных и построение естественной механической характеристики $n=f(M)$	6
7. Расчет искусственных механических характеристик $n=f(M)$ при различных способах регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока	9
8. Расчет характеристики $n=f(M)$ при уменьшении напряжения источника питания в цепи якоря	9
3.2. Расчет характеристики $n=f(M)$ при введении добавочного сопротивления $R_{я\text{доб}}$ в цепь якоря	10
9. Расчет характеристики $n(M)$ при изменении потока возбуждения	11
10. Расчет искусственных механических характеристик $n=f(M)$ при различных способах электрического торможения ДПТ ...	12
4.1. Генераторное торможение	13
4.2. Динамическое торможение	14
4.3. Торможение противовключением	16
4.3.1. Торможение противовключением с использованием $R_{я\text{доб}}$..	16
4.3.2. Торможение противовключением при изменении полярности напряжения в цепи якоря	18
5. Контрольные вопросы	19
6. Список рекомендуемой литературы.....	21

Приложение 1 *Образец титульного листа.*

Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана

Кафедра электротехники и промышленной электроники ФН7

Домашнее задание №
по курсу «Электротехника и электроника» на тему:
РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Вариант №

Выполнил:

Группа

Проверил:

Дата сдачи работы на проверку:

Москва, 20__