

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра систем автоматизации производства

А.Г. Кравцов

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПРИ ПУСКЕ И ДИНАМИЧЕСКОМ ТОРМОЖЕНИИ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

Методические указания к лабораторной работе

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом Государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет»

Оренбург
ИПК ГОУ ОГУ
2010

УДК 621.313.2(07)
ББК 31.261.52я7
К 78

Рецензент

кандидат технических наук, доцент В.В. Денисов

К78

Кравцов, А.Г.

Определение значений сопротивлений при пуске и динамическом торможении ДПТ НВ : методические указания к лабораторной работе / А.Г. Кравцов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2010. – 23 с.

В методических указаниях рассмотрены состояния электромеханической системы на основе описания движения обобщенной электрической машины, ее структурная схема, вопросы анализа переходных процессов в электромеханической системе с линейной механической характеристикой при пуске и торможении, а также методы расчета пусковых и регулировочных резисторов.

Методические указания рекомендуется использовать при выполнении лабораторных работ для специальности 220301 студентов всех форм обучения.

УДК 621.313.2(07)
ББК 31.261.52я7

© Кравцов А.Г., 2010
© ГОУ ОГУ, 2010

Содержание

1	Порядок выполнения работы.....	4
2	Описание лабораторной работы.....	5
2.1	Цель работы.....	5
2.2	Математическая модель состояния системы.....	5
2.3	Параметры пуска и торможения ДПТ НВ.....	15
3	Содержание отчета.....	22
4	Контрольные вопросы.....	22
	Список использованных источников.....	23

1 Порядок выполнения работы

Лабораторная работа выполняется студентами в следующем порядке:

- получить у преподавателя вариант задания;
- ознакомиться с теоретической частью по методическим указаниям;
- составить схему реостатного пуска двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ) и соответствующие электромеханические характеристики согласно полученному заданию;
- определить необходимые значения ступеней пусковых сопротивлений;
- построить зависимости угловой скорости ω и тока якоря i_a от времени при пуске;
- составить схему управления динамическим торможением соответствующую заданию;
- определить величину необходимого сопротивления для обеспечения динамического торможения;
- определить время торможения;
- построить механические характеристики рассчитанного режима динамического торможения;
- составить отчет;
- отчитаться перед преподавателем о выполненной работе с предъявлением отчета, ответить на контрольные вопросы и вопросы по представленным построениям и расчетам.

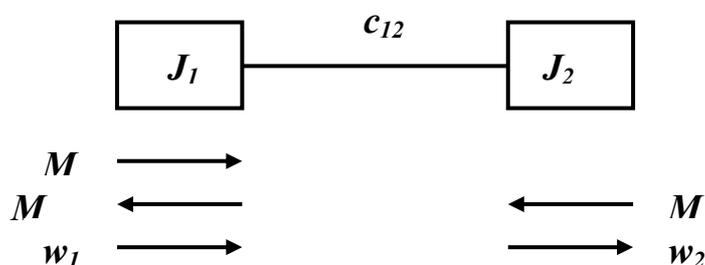
2 Описание лабораторной работы

2.1 Цель работы

Изучение методов и приобретение практических навыков расчета значений сопротивлений пусковых и регулировочных резисторов при пуске и торможении двигателей постоянного тока независимого возбуждения.

2.2 Математическая модель состояния системы

Для большей наглядности излагаемого материала будем рассматривать вопрос пуска и торможения двигателя постоянного тока (ДПТ) независимого возбуждения (НВ) применительно к электромеханической системе (ЭМС) с двухмассовой упругой механической частью, приведенной на рисунке 1. Тем более, что она, по сути, иллюстрирует основной объект изучения в ЭМС, поскольку такая схема механической части позволяет анализировать как движение вала двигателя, так и движение исполнительного органа рабочей машины.



M – момент двигателя; M_{c1} и M_{c2} – суммарный момент потерь на валу двигателя и в жестко связанных с ним элементах и суммарный приведенный момент сопротивления движению исполнительного органа и потерь на трение в жестко связанных с ним элементов, соответственно; w_1 и w_2 – угловые скорости; J_1 и J_2 – суммарные приведенные моменты инерции; c_{12} – эквивалентная приведенная жесткость безинерционных механических упругих связей между J_1 и J_2 .

Рисунок 1 – Двухмассовая обобщенная расчетная схема механической части электромеханической системы

Потребляемую, преобразуемую и расходуемую системой энергию W можно определить, проинтегрировав на соответствующем интервале изменяющуюся во времени T мощность P

$$W = \int_0^T P(t) dt. \quad (1)$$

Состояние, приведенной на рисунке 1, обобщенной расчетной схемы наилучшим образом описывается уравнением Лагранжа, представляющим собой частный случай решения интеграла (1) и имеющим вид

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial W_K}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial W_K}{\partial q_i} + \frac{\partial W_{\Pi}}{\partial q_i} + \frac{\partial W_D}{\partial q_i} = Q_i, \quad (2)$$

где W_K – кинетическая энергия, Дж;

W_{Π} – потенциальная энергия, Дж;

W_D – диссипативная (рассеиваемая) энергии системы, Дж;

q_i – обобщенные координаты;

\dot{q}_i – обобщенные скорости;

Q_i – обобщенная внешняя сила, Н.

Диссипативные силы в упругих связях, как правило, значительно меньше потенциальных. Поэтому, исследуя закон движения электромеханической системы (ЭМС) в первом приближении W_D можно не учитывать. При независимости моментов инерции (массы) звена от его положения соответствующие производные будут равны нулю, т.е. $\frac{d J_i}{d \varphi_i} = 0$; $\frac{d m_i}{d x_i} = 0$.

Представив энергии, силы и моменты рассматриваемой обобщенной расчетной схемы механической части ЭМС через параметры ее элементов с учетом указанных допущений получим следующую систему уравнений, описывающих движение этой системы [1]

$$\begin{cases} M - M_{c1} - M_{12} = J_1 \frac{dw_1}{dt} \\ M_{12} - M_{c2} = J_2 \frac{dw_2}{dt} \end{cases}, \quad (3)$$

где $M_{12} = c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2)$ – момент упругого взаимодействия между движущимися массами системы.

Структурная схема двухмассовой упругой механической системы имеет вид представленный на рисунке 2.

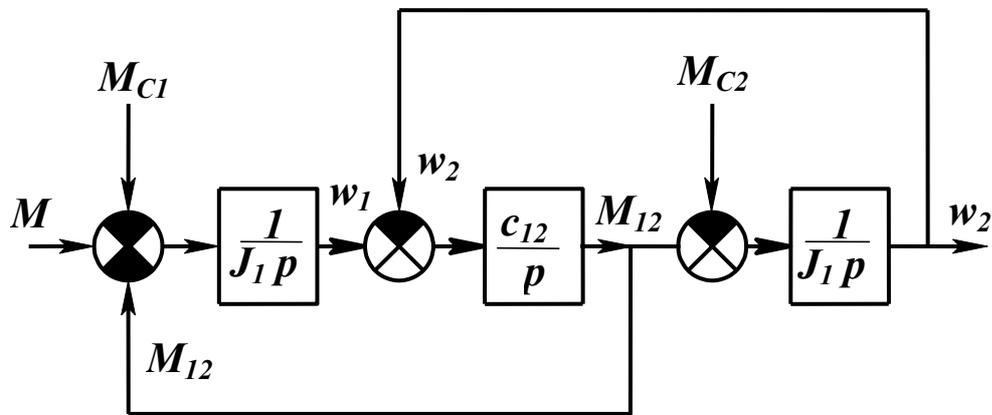


Рисунок 2 – Структурная схема двухмассовой механической системы

Схема включения ДПТ НВ, представленная на рисунке 3, выглядит следующим образом

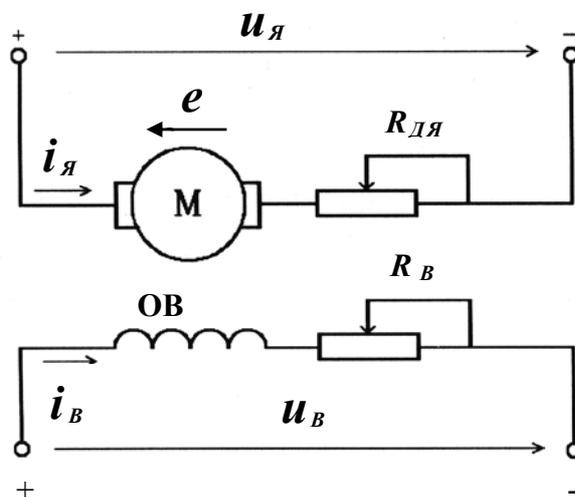


Рисунок 3 – Схема включения двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Простейший двигатель постоянного тока, в соответствии с рисунком 1, состоит из:

- постоянного магнита (N-S) расположенного на статоре;

- электромагнита с переключаемой полярностью (т.е. одной пары явно выраженных полюсов, образованных двумя частями одной обмоткой 3, располагаемыми в пазах шихтованного, говоря иначе, набранного из отдельных пластин электротехнической стали, магнитопровода или сердечника якоря), закрепленного на роторе;
- щёточноколлекторного узла, имеющего две пластины (ламели) 2 и две щётки 1.

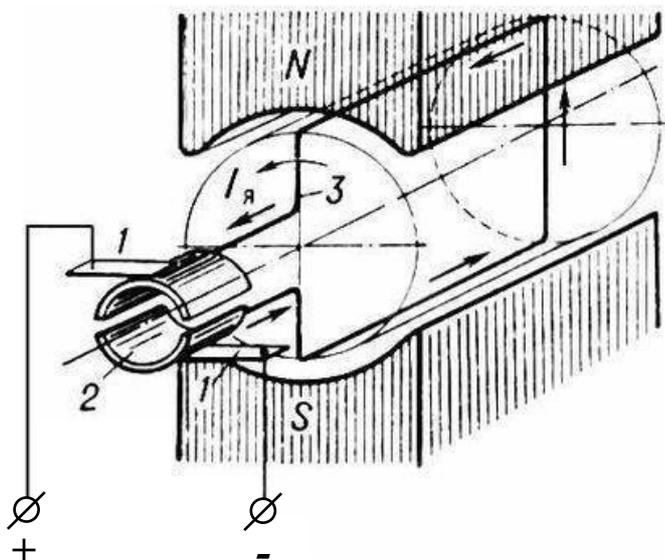


Рисунок 4 – Конструктивная схема простейшего двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Описание движения обобщенной электрической машины в общем случае имеет вид [2]:

$$\begin{cases} u_e = i_e R_e + L_e \frac{di_e}{dt} \\ u_{я} = i_{я} R_{я} + L_{я} \frac{di_{я}}{dt} + w_{эл} L_{12} i_e, \\ M = p_n L_{12} i_e i_{я} \end{cases} \quad (4)$$

где u – подводимые напряжения, В;

i – ток, А;

R – сопротивление, Ом;

L – индуктивность, Гн;

ϵ и γ – индексы означающие принадлежность обмоткам возбуждения и якоря;

L_{12} – взаимная индуктивность обмоток возбуждения и якоря, Гн;

$\omega_{эл}$ – скорость вращения якоря относительно станины, рад/с;

M – электромагнитный момент, Н·м;

p_n – число пар полюсов машины.

В соответствии с этой системой, э. д. с. двигателя e , указанная на рисунке 3 и измеряемая в Вольтах, в общем случае определяется соотношением

$$e = \omega_{эл} L_{12} i_{\epsilon} = p_n L_{12} i_{\epsilon} \omega = k \Phi \omega, \quad (5)$$

где $k = \frac{p_n N}{2\pi a}$;

N – число активных проводников якоря;

a – число параллельных ветвей обмотки якоря;

Φ – магнитный поток, Вб;

ω – угловая скорость якоря в системе единиц СИ $\omega = \pi n/30$, рад/с.

С учетом соотношения (5) момент в уравнении (4) определяется следующим выражением

$$M = p_n L_{12} i_{\epsilon} i_{\gamma} = k \Phi i_{\gamma}. \quad (6)$$

Таким образом, систему уравнений (4) можно представить в следующем виде

$$\begin{cases} u_{\epsilon} = \frac{R_{\epsilon\Sigma}}{k\Phi} (1 + T_{\epsilon} p) \Phi \\ u_{\gamma} = R_{\gamma\Sigma} (1 + T_{\gamma} p) i_{\gamma} + e, \\ M = k \Phi i_{\gamma} \end{cases} \quad (7)$$

где $R_{\epsilon\Sigma} = R_{\epsilon} + R_{\epsilon.d.}$ – суммарное сопротивление обмотки возбуждения;

$k_{\Phi} = \Phi / I_{\sigma}$ – коэффициент пропорциональности между магнитным потоком и током возбуждения;

$R_{\Sigma} = R_{я} + R_{д.п.} + R_{к.о.} + R_{и.п.} + R_{д.я.}$ – суммарное сопротивление якорной цепи, включающее в себя сопротивление обмотки якоря, сопротивления дополнительных полюсов (при их наличии) сопротивления компенсационной обмотки и источника питания и все добавочные сопротивления якорной цепи;

$T_{\sigma} = L_{\sigma} / R_{\Sigma}$ и $T_{я} = L_{я\Sigma} / R_{\Sigma}$ – электромагнитные постоянные времени обмоток возбуждения и якорной, соответственно, с;

$L_{я\Sigma}$ – представляет собой сумму всех само- и взаимоиндукций обмотки якоря, включая индуктивность источника питания;

$$p = d / dt.$$

Структурная схема электромеханического преобразования энергии в ДПТ НВ, в соответствии с системой (7) приведенная на рисунке 4, наглядно иллюстрирует независимость протекания процессов в цепи возбуждения от процессов в якорной цепи. Представленное математическое описание динамической механической характеристики ДПТ нелинейно в связи с тем, что э.д.с. двигателя и его электромагнитный момент пропорциональны произведениям потока возбуждения, соответственно, на скорость и на ток якоря. В большинстве же практических случаев ДПТ НВ работает при постоянном потоке.

Электромагнитный момент двигателя является управляющим воздействием для механической части привода. Однако, наличие электромеханической связи, объединяющей электрическую и механическую части в единую электромеханическую систему, исключает в большинстве случаев однонаправленность их взаимодействия. Для анализа движения этой системы необходимо объединить уравнения движения и обобщенные структурные схемы механической части с уравнениями механических характеристик и структурными схемами электромеханического преобразования энергии в двигателе.

Электромеханическая система электропривода с ДПТ НВ представлена на рисунке 4.

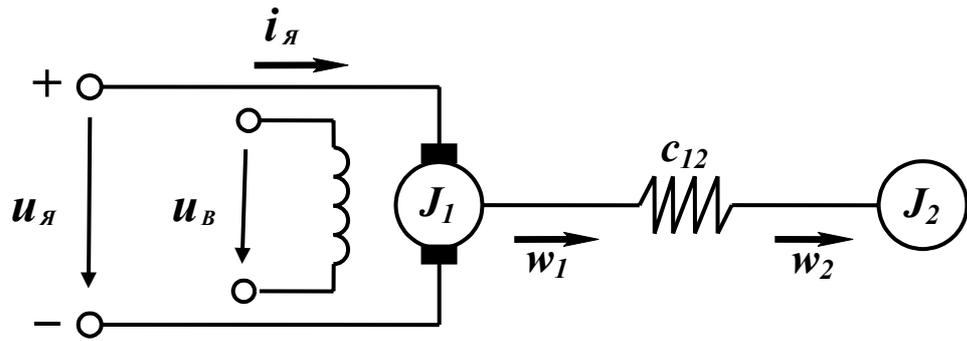


Рисунок 4 – Электромеханическая схема электропривода ДПТ НВ

Объединив уравнения (7) с уравнениями динамической механической характеристики (3), получаем описание динамических процессов в рассматриваемой системе в виде

$$\begin{cases} u_e = \frac{K_{e\Sigma}}{k_\Phi} (1 + T_e p) \Phi \\ u_я = R_{я\Sigma} (1 + T_я p) i_я + k \Phi w_1 \\ k \Phi i_я - c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) - M_{c1} = J_1 p w_1 \\ c_{12} (\varphi_1 - \varphi_2) - M_{c2} = J_2 p w_2 \end{cases} \quad (8)$$

Структурная схема, рассматриваемой электромеханической системы, при постоянном потоке в соответствии с уравнением (9) имеет вид, приведенный на рисунке 5.

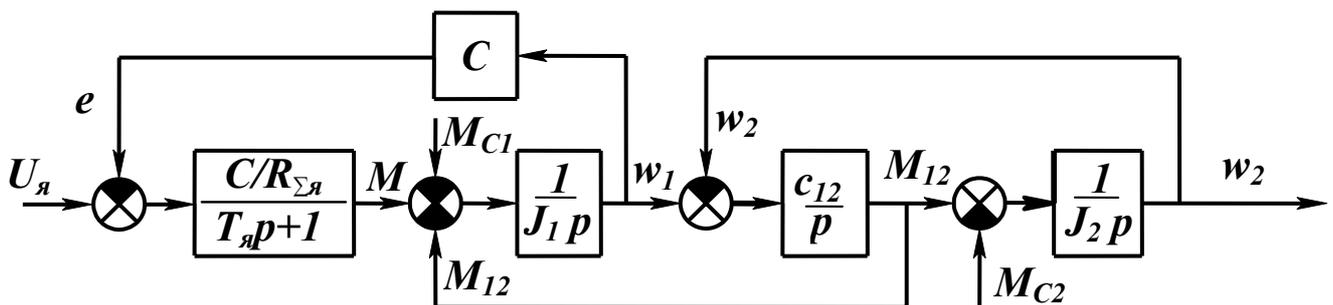


Рисунок 5 – Структурная схема электропривода постоянного тока с двигателем независимого возбуждения

В большинстве практических случаев $\Phi = \Phi_n = \text{const}$, $k\Phi = C$, система линейна и может быть преобразована следующим образом

$$\begin{cases} R_{я\Sigma}(1 + T_я p)i_я = u_я - C w_1 \\ C i_я - c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) - M_{c1} = J p w_1, \\ c_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) - M_{c2} = J_2 p w_2 \end{cases} \quad (9)$$

Считая входным управляющим воздействием скорость идеального холостого хода без учета упругости механических связей ($c_{12} = \infty$) из системы уравнений (9) получаем систему имеющую вид

$$\begin{cases} M(1 + T_я p) = \beta(w_0 - w) \\ M - M_c = \beta T_{эм} p w \end{cases}, \quad (10)$$

где $\beta = C^2 / R_{я\Sigma}$ – жесткость механической характеристики;

$T_{эм} = Jr / C^2$ – электромеханическая постоянная времени.

Для передаточных функций по управляющему воздействию и по возмущающему моменту нагрузки корни характеристического уравнения для этой системы следующие:

$$p_{12} = -\frac{1}{2T_я} \pm \sqrt{\frac{1}{4T_я^2} - \frac{1}{T_я T_{эм}}} = \frac{1}{T_{эм}} \left(-\frac{m}{2} \pm \sqrt{\frac{m^2}{4} - m} \right), \quad (11)$$

где $m = T_{эм} / T_я$.

Для электроприводов со значительной инерцией механизма, когда соотношение электромеханической постоянной времени и электромагнитной постоянной времени обмотки якоря $m > 4$ при решении ряда задач можно пренебречь индуктивностью якорной цепи. В результате система уравнений (10) дополнительно упрощается

$$\begin{cases} M = \beta(w_0 - w) \\ M - M_c = \beta T_{эм} p w \end{cases}. \quad (12)$$

Соответствующая структурная схема после преобразования примет вид приведенный на рисунке 6 б.

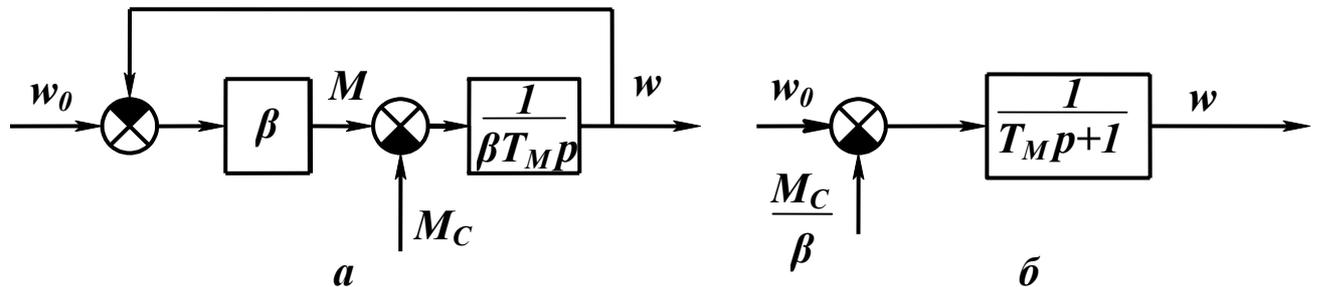


Рисунок 6 – Структурные схемы электропривода с линейной механической характеристикой при $T_{я} = 0$

В соответствии со структурной схемой приведенной на рисунке 6 б движение электропривода описывается следующим дифференциальным уравнением

$$T_{эм} \frac{dw}{dt} + w = w_c, \quad (13)$$

где $w_c = w_0 - M_c/\beta = w_0 - \Delta w_c$ – установившееся значение скорости;

Δw_c – статический перепад скорости, обусловленный моментом нагрузки.

Решение неоднородного дифференциального уравнения (13) имеет вид

$$w = w_c + Ae^{-\frac{t}{T_{эм}}}, \quad (14)$$

при начальных условиях $t = 0, w = w_{нач}$ оно преобразуется в выражение

$$w = w_c + (w_{нач} - w_c)e^{-\frac{t}{T_{эм}}}. \quad (15)$$

Дифференциальное уравнение системы решенное относительно момента в соответствии с уравнением механической характеристики $w = (M_{к.з} - M) / \beta$ аналогично уравнению (13)

$$T_{эм} \frac{dM}{dt} + M = M_c . \quad (16)$$

При начальных условиях $t = 0$, $M = M_{нач}$ и $M_c = const$, в соответствии с рисунком 7 а решение уравнения (16) имеет вид

$$M = M_c + (M_{нач} - M_c) e^{-\frac{t}{T_{эм}}} . \quad (17)$$

Графики переходного процесса соответствующие выражениям (15) и (17) представлены на рисунке 7 б.

Зависимости (15) и (17) являются общими и позволяют анализировать характер переходных процессов электропривода с линейной механической характеристикой во всех режимах.

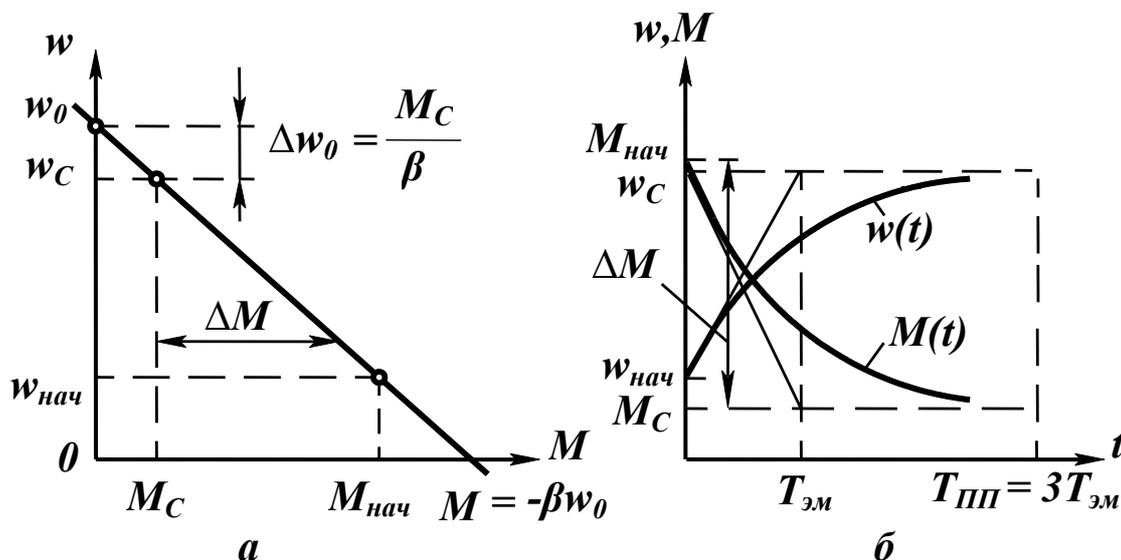


Рисунок 7 – Механическая характеристика (а) и зависимости $w, M = f(t)$

2.3 Параметры пуска и торможения ДПТ НВ

При пуске или торможении двигателя необходимо поддерживать приемлемо большой момент, который ускорит процесс, и ограничивать значение пускового тока, избегая недопустимого нагрева обмоток. Рассмотрим реостатный пуск электропривода ДПТ НВ, предполагая, что система управления электроприводом обеспечивает автоматическое переключение ступеней пускового реостата. Схема включения приведена на рисунке 8 а. Будем считать, что начальное и конечное значения момента двигателя остаются неизменными, как показано на рисунке 8 б. В начальный момент пуска в якорную цепь введено полное сопротивление пускового реостата, которое ограничивает пусковой ток значением $I_{я} = I_1$ (пусковая характеристика 1).

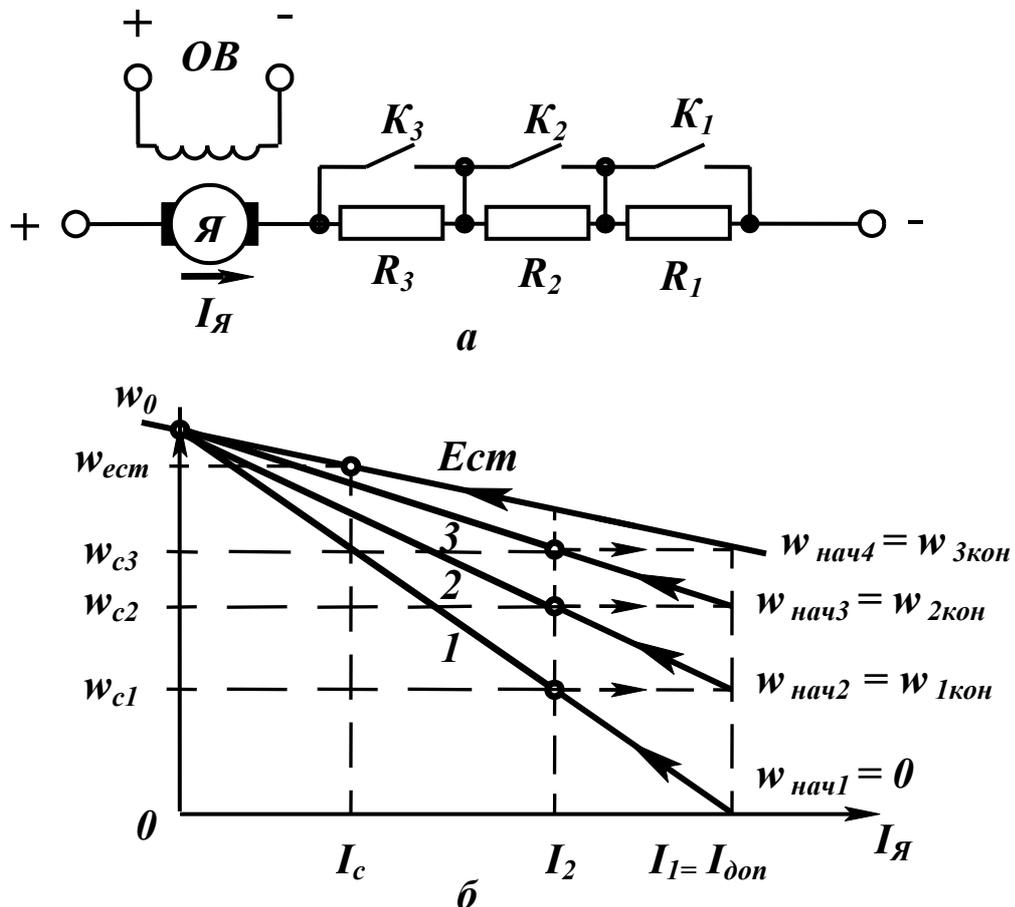


Рисунок 8 – Схема реостатного пуска ДПТ НВ (а) и соответствующие электромеханические характеристики (б)

При увеличении скорости до значения $w_{кон1}$ замыканием K_1 выводится первая ступень пускового реостата, ток вновь возрастает до значения I_1 и пуск продолжается по характеристике 2 и т. д.

На основании выражений (15) и (17) с учетом того, что при $\Phi = \Phi_n = const$, $M \sim I_{я}$, движение электропривода на каждой ступени будет описываться уравнениями

$$w_i = w_{ci} + (w_{начi} - w_{ci})e^{-\frac{t}{T_{эмi}}}, \quad (18)$$

$$i_{я} = I_c + (I_1 - I_c)e^{-\frac{t}{T_{эмi}}}, \quad (19)$$

где $T_{эмi} = J_{\Sigma} / \beta_i$;

$\beta_i = C^2 / R_{я\Sigma i}$ – модуль жесткости i -й пусковой механической характеристики.

Описанные выражениями (18) и (19) зависимости, соответствующие схеме пуска, приведенной на рисунке 8, представлены на рисунке 9.

Решение показательных уравнений (18) и (19) относительно времени при подстановке значений $w_{конi}$ или $i_{яконi} = I$ описывается приведенными ниже выражениями (20) и (21):

$$t_i = T_{эмi} \ln \frac{w_{ci} - w_{начi}}{w_{ci} - w_{конi}}, \quad (20)$$

$$t_i = T_{эмi} \ln \frac{I_1 - I_c}{I_2 - I_c} = T_{эмi} \ln \frac{M_1 - M_c}{M_2 - M_c}. \quad (21)$$

Электромеханическую постоянную времени $T_{эмi}$ для соответствующей ступени пуска находят по соответствующему данной ступени значению $R_{я\Sigma i}$.

При реостатном пуске ДПТ НВ по представленной схеме пусковой ток (момента) $I_{пуск}$ ($M_{пуск}$) ограничивают значениями I_1 (M_1) = (2÷2,5) $I_{ном}$ ($M_{ном}$) для

машин общего назначения и $(3 \div 4)I_{ном} (M_{ном})$ для краново-металлургических двигателей. Значения тока или момента переключения $I_{пер} (M_{пер})$ принимают равными $I_2 (M_2) = (1,15 \div 1,2) I_{ном} (M_{ном})$. Номинальные значения могут быть заменены значениями нагрузки $I_c (M_c)$. Сопротивления отдельных секций пусковых резисторов определяют используя соотношение токов (или моментов) при пуске и переключении $\lambda = I_{пуск} (M_{пуск}) / I_{пер} (M_{пер})$

$$r_1 = \lambda r_2; r_2 = \lambda r_3; r_3 = \lambda r. \quad (22)$$

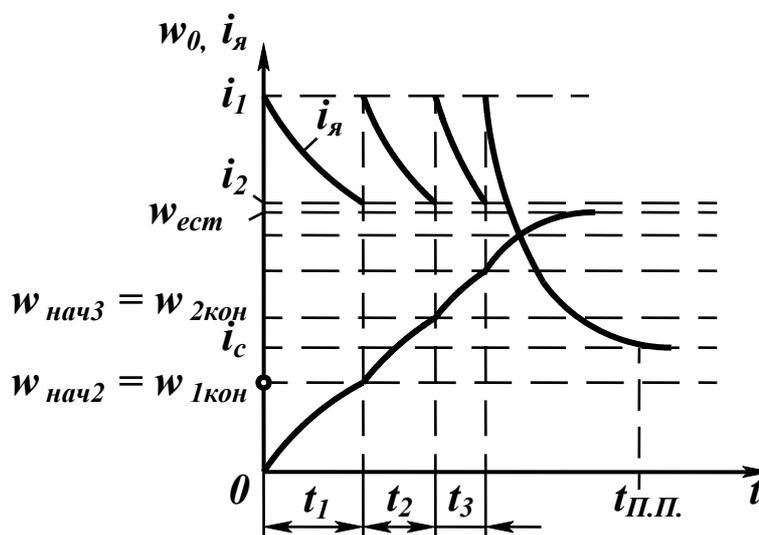


Рисунок 9 – Зависимостей $\omega = f(t)$ и $i_я = f(t)$ при пуске ДПТ НВ

Сопротивление r определяют из выражения

$$r = r_{я}^* \times \frac{U_{ном}}{I_{яном}}, \quad (23)$$

где $r_{я}^*$ - относительное сопротивление якорной цепи.

Процесс пуска состоит в том, что в начальный момент напряжение на обмотку якоря подается через дополнительное сопротивление, спустя некоторое время замыкается выключатель K_1 , шунтируя часть добавочного сопротивления. Еще через некоторые промежутки времени по мере увеличения скорости последовательно замы-

каются выключатели K_2 и K_3 . Когда замкнуты все контакты и пусковой резистор полностью зашунтирован, двигатель начнет работать с определенной угловой скоростью на естественной характеристике.

Определенные преимущества дает построение механических характеристик в относительных единицах, обозначаемых индексом (*). Координаты одной точки, которая будет общей для всех характеристик двигателя, т.е. точки идеального холостого хода $\omega = \omega_0$ в этом случае будут всегда одинаковы – $\omega^* = \omega / \omega_0 = 1$ и $M^* = M / M_{ном} = 0$. Координаты другой точки – $\omega^* = 1 - \Delta \omega^*_{ном}; M^* = 1$. Эти две точки определяют положение естественной механической характеристики ДПТ НВ в относительных единицах. Построенные таким образом искусственные характеристики будут отсекают, в относительных единицах, на прямой, соответствующей $M^* = 1$, отрезки, которые равны значениям сопротивлений пускового резистора. Умножение этих отрезков на величину $R_{ном}$ дает значения соответствующих сопротивлений в Омах.

Число ступеней m – добавочного (пускового) резистора, или число используемых искусственных характеристик определяют по пределам изменения тока якоря I_1 и I_2

$$m = \frac{\lg\left(\frac{I_2}{I_1}\right)}{\lg\left(\frac{I_1 R_{я}}{U}\right)}. \quad (24)$$

Помимо рассмотренного метода расчета пусковых и регулировочных резисторов существуют еще метод пропорций и метод отрезков.

Суть первого метода основана на выражении

$$\omega = \frac{U - IR}{c}, \quad (25)$$

которое можно представить как

$$w = w_0 - \Delta w, \quad (26)$$

соответственно

$$w_0 = \frac{U}{c} \quad \text{и} \quad \Delta w = \frac{IR}{c} = \frac{MR}{c^2}. \quad (27)$$

В этом случае отношение жесткостей естественной и искомой искусственной характеристик, в соответствии с рисунком 10, будет определяться отношением перепадов их скоростей, поскольку изменение моментов будет одним и тем же, т.е. с учетом выражения (27) можно записать

$$\frac{\beta_e}{\beta} = \frac{\Delta w_e}{\Delta w_u} = \frac{R_{я}}{R_{я} + R_{\delta}}, \quad (28)$$

откуда находим искомое значение

$$R_{\delta} = R_{я} \left(\frac{\Delta w_u}{\Delta w_e} - 1 \right). \quad (29)$$

Метод отрезков позволяет обойтись без данных о собственном сопротивлении якоря двигателя. В этом случае достаточно знать естественную характеристику. Определим для заданной искусственной характеристики значение скорости при номинальных значениях тока, момента, магнитного потока и напряжения

$$w_u = \frac{U_{ном}}{k\Phi_{ном}} \left(1 - \frac{I_{ном}R}{U_{ном}} \right), \quad (30)$$

с учетом выражения (27) получаем

$$w_u = w_0 \left(1 - \frac{R}{R_{ном}} \right). \quad (31)$$

Определим отношение сопротивлений

$$\frac{R}{R_{ном}} = \frac{w_0 - w_u^{ном}}{w_0} = \delta. \quad (32)$$

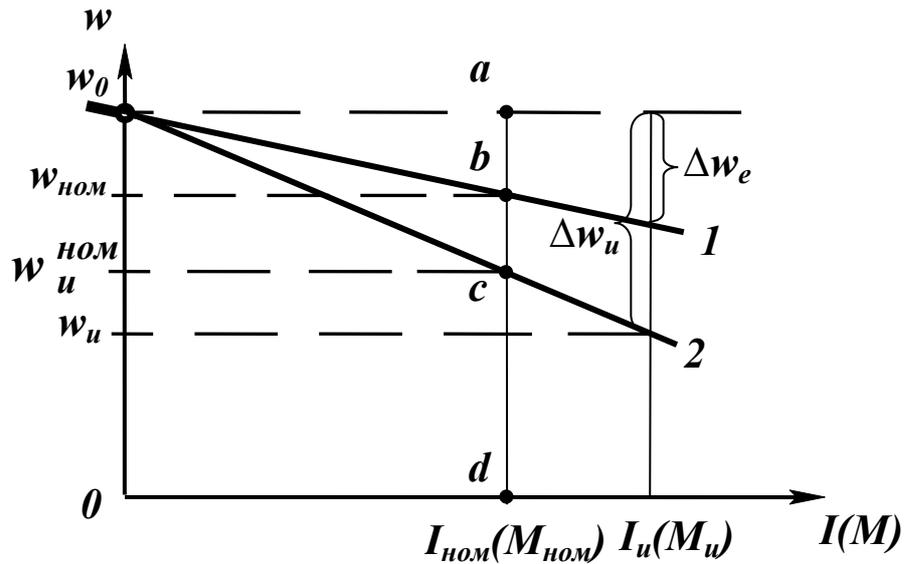


Рисунок 10 – Определение значений пусковых и регулировочных резисторов методом отрезков

Данная зависимость отражает характерное свойство двигателей (не только постоянного тока) – равенство относительного перепада скорости $\delta = \frac{\Delta w_u^{ном}}{w_0}$ отношению к активному сопротивлению цепи якоря $\frac{R}{R_{ном}}$.

Пропорции (31) удобно решать, используя характеристики, приведенные на рисунке 10. Для этого обозначим на характеристиках характерные точки a, b, c и d . Из рисунка видно, что: $(w_0 - w_u^{ном}) = \Delta w_u^{ном} = [ac]$, а $w_0 = [ad]$. В этом случае

$$R = R_{ном} \frac{\Delta w_u^{ном}}{w_0} R_{ном} \frac{[ac]}{[ad]} \quad (33)$$

Соответственно

$$R_{\delta} = R_{ном} \frac{[bc]}{[ad]}, \quad (34)$$

$$R_{я} = R_{ном} \frac{[ab]}{[ad]}. \quad (35)$$

$$R_{\text{д.т.}} = \frac{E_{\text{нач}}}{I_1} - R_{\text{дя}} = \frac{c w_{\text{нач}}}{I_1} - R_{\text{дя}} . \quad (36)$$

Определив по характеристикам длины отрезков $[b \ c]$ и $[a \ d]$ при номинальном токе или моменте, рассчитывают номинальное значение сопротивления $R_{\text{ном}} = U_{\text{ном}} / I_{\text{ном}}$, используют выражения (34) и (35).

При динамическом торможении двигатель отключают от сети и его якорь замыкают на добавочное сопротивление, обеспечивая ограничение тока двигателя допустимым значением $I_{\text{нач}} = - I_1$. Соответствующие электромеханические характеристики представлены на рисунке 11.

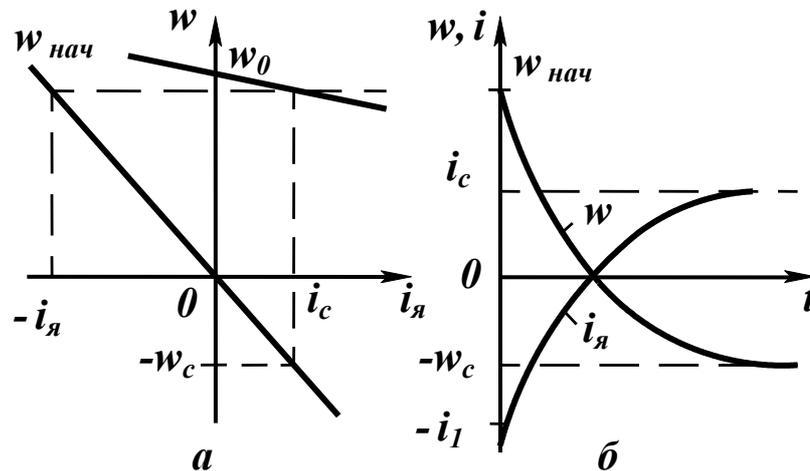


Рисунок 11 – Электромеханические характеристики (а) и зависимости $w, i_{\text{я}} = f(t)$ при динамическом торможении (б)

Так как ЭДС двигателя сохраняет при торможении такой же знак, как и в двигательном режиме, а напряжение извне к якорю не прикладывается, то ток якоря и тормозной момент определяются выражениями

$$I = -\frac{E}{R}, \quad (37)$$

$$-M_m = U\Phi I = \frac{-k^2 \Phi^2 w}{R} . \quad (38)$$

Скорость находят как

$$w = \frac{M_m R}{C^2}. \quad (39)$$

Механическая характеристика при динамическом торможении представляет собой прямую, проходящую через начало координат. Семейство характеристик динамического торможения и значения добавочных сопротивлений якорной цепи определяют аналогично случаю пуска с некоторой поправкой на расположение характеристик относительно осей координат и направление изменения скорости.

3 Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе должен содержать ее название, цель, основные положения описаний состояния системы и параметров регулирования скорости при пуске и торможении с соответствующими иллюстрациями и математическими выражениями, в том числе и схемы включения двигателя и получаемых механических (электромеханических) характеристик, задание, его выполнение и результаты, а также выводы по работе.

4 Контрольные вопросы

- 1 Объясните, с какой целью вводят в цепи ДПТ НВ добавочные сопротивления?
- 2 Поясните, приведя соответствующие схемы, как сократить время разгона ДПТ НВ до требуемой скорости?
- 3 Для чего составляют структурную схему электропривода?
- 4 Как используются приведенные расчетные схемы ЭМС и какие они бывают?
- 5 Как описать движение ЭМС? Приведите пример.
- 6 Поясните что такое механическая характеристика ДПТ НВ, как она строится и какой может быть.

- 7 С какой целью и как выполняют анализ движения ЭМС?
- 8 В чем преимущества построения характеристик в относительных единицах?
- 9 Какие параметры необходимо учитывать при пуске и торможении ДПТ НВ?
- 10 Расскажите о постоянных времени ДПТ НВ и их влиянии на динамику двигателей.
- 11 Проиллюстрируйте и объясните изменение во времени скорости при разгоне ДПТ НВ с использованием дополнительных сопротивлений.
- 12 Выполните построение и поясните электромеханические характеристики и временные зависимости угловой скорости и тока якоря ДПТ НВ при торможении.
- 13 В чем суть динамического торможения ДПТ НВ?
- 14 Как определить требуемое число дополнительных сопротивлений, какие способы Вам известны?
- 15 От чего зависит угловая скорость вала двигателя?
- 16 Поясните выполненные Вами, соответствующие полученному заданию, построения и расчеты и обоснуйте результаты.

Список использованных источников

- 1 Башарин, А.В. Управление электроприводами: учеб. пособие для вузов / А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовокий. - Л. : Энергоиздат: Ленингр. отд-е, 1982.- 392 с.
- 2 Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода: учебник для вузов / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер. - М. : Энергоиздат, 1981. – 576 с.