

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання практичних робіт з дисципліни
«ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ»**

для студентів спеціальності 151
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
денної та заочної форм навчання

Краматорськ 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ ТА НАУКИ УКРАЇНИ
ДОНБАСЬКА ДЕРЖАВНА МАШИНОБУДІВНА АКАДЕМІЯ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до виконання практичних робіт з дисципліни
«ОСНОВИ ТЕОРІЇ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ»**

для студентів спеціальності 151
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
денної та заочної форм навчання

Затверджено
на засіданні
кафедри АВП
Протокол № 3 від 03.01.2018

Краматорськ 2018

УДК 669.18.621.3

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Основи теорії електроприводу» для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання / Укл.: О.В. Разживін – Краматорськ: ДДМА, 2018– с. 40.

Застосовуються методичні вказівки, а також необхідні вимоги щодо виконання, вмісту та оформлення практичних робіт за часом «Основи теорії електроприводу».

Укладач

Разживин А.В., доц. каф АПП

Відповід. за випуск

О.В. Суботін, к.т.н., доцент

1 ЗАДАЧИ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Практические работы являются этапом самостоятельного изучения и проектирования основных элементов электропривода. Задачами работы являются:

1. Закрепление и углубление студентами знаний, полученных при изучении теоретического курса «Основы теории электропривода»;
2. Обучение студентов творческому и самостоятельному анализу существующих систем электроприводов с целью оптимального их выбора с учетом экономических показателей и технического прогресса в конкретных условиях эксплуатации;
3. Обучение студентов навыкам по использованию справочной литературы, ГОСТов, технической литературы, необходимой для дипломного проектирования и будущей инженерной деятельности.

2 ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Практические работы выполняются на листах формата А4 (210×297) или тетради. Все вычисления должны выполняться с приведением расчетных формул и подстановкой в них цифровых данных, с указанием результатов и единиц измерения в системе СИ. Текст работы необходимо писать четко черными чернилами или выполнять в машинописном виде с помощью ПЭВМ. Схемы, рисунки, таблицы приводятся в тексте по ГОСТам. В конце работы приводятся перечень ссылок на литературу, которую студент использовал при выполнении.

Расчет, построение графиков и зависимостей разрешается осуществлять с помощью прикладного математического программного пакета MathCAD или MatLab.

3 ЗАДАНИЕ ПО РАБОТЕ

Построить статические и динамические пусковые и тормозные диаграммы электроприводов постоянного и переменного тока в среде MathCad.

Данные электродвигателей принимаются по таблицам приложения А.

Этапы работы

- 1) Естественная и рабочая механические характеристики электродвигателя.
- 2) Пусковая диаграмма, расчет пускорегулировочных сопротивлений. Алгоритм расчета числа пусковых ступеней электродвигателя.
- 3) Механические характеристики двигателя в режиме электрического торможения.
- 4) Расчет переходных процессов при многоступенчатом пуске электродвигателя.
- 5) Расчет переходных процессов при электромеханическом торможении электродвигателя.

4 КРАТКИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Целью практических работ по курсу ОТЭП является получение умений и навыков в оценке электромеханических свойств электроприводов постоянного и переменного тока в статических и динамических режимах.

4.1 Построение пусковой диаграммы и механических характеристик электропривода в рабочих и тормозных режимах

Естественная механическая характеристика $\omega = f(M)$ ДПП с учетом её линейности строится по двум точкам, координаты которых

$$\omega = \omega_0, M = 0, \quad \omega = \omega_n, M = M_n.$$

Скорость холостого хода, рад/с,

$$\omega_0 = \frac{\pi n_n}{30} \left(\frac{U_n}{U_n - I_n \cdot r_{\text{я}}} \right),$$

$$r_{\text{я}} = 0,5 \left(1 - \frac{P_n \cdot 10^3}{U_n I_n} \right) \frac{U_n}{I_n}$$

где P_n - номинальная мощность электродвигателя (на валу), кВт.

$$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}$$

Рабочая механическая характеристика при рабочей скорости $\omega_p = \omega_n$ строится по точкам с координатами: $\omega = \omega_0, M = 0, \omega = \omega_p, M = M_{C_1}$.

Естественная механическая характеристика $\omega = f(M)$ асинхронного двигателя при замкнутой накоротко обмотке ротора может быть построена с учетом паспортных данных по координатам: $\omega = \omega_0, M = 0, \omega = \omega_n, M = M_n; \omega = \omega_0(1 - S_k), M = M_{\max}, \omega = 0, M = M_{PE}$.

Синхронная скорость вращения магнитного поля статора, рад/с,

$$\omega_0 = \frac{\pi n_0}{30}$$

где n_0 - синхронная частота, об/мин, $n_0 = \frac{60f_1}{P}$, $f_1 = 50$ - частота тока в сети, Гц;

P - число пар полюсов статора.

Синхронная частота n_0 принимается ближайшей большей n_1 из стандартного ряда частот [3].

Критическое скольжение

$$S_k = S_n (\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}),$$

где S_n - номинальное скольжение, λ_m - кратность максимального момента,

$$\lambda_m = \frac{M_{\max}}{M_n}.$$

$$S_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0};$$

Начальный пусковой момент на естественной характеристике, Н.м,

$$M_{ne} = \frac{2M_{\max} S_k}{1 + S_k^2}.$$

Рабочая механическая характеристика при рабочей скорости $\omega_p = \omega_n$ строится по координатам $\omega = \omega_0, M = 0, \omega = \omega_p, M = M_{C_1};$

$\omega = \omega_0(1 - S_{kp}), M = M_{\max}, \omega = 0, M = M_{PP}$.

Критическое скольжение рабочей характеристики

$$S_{кр} = \frac{S_p S_{\kappa}}{S_n}, \quad S_p = \frac{n_0 - n_p}{n_0}$$

$$M_{np} = \frac{2M_{\max} S_{кр}}{1 + S_{кр}^2}$$

Более точно механические характеристики АД строятся с помощью формулы Клосса [3, 4, 5, 6]. Общий вид естественных и рабочих характеристик ДПТ и АД, их схемы включения приведены на рис. 4.11.

Пусковая диаграмма представляет функциональную зависимость $\alpha = f(M)$ электродвигателя при его пуске (графики 1-8, см. рис. 4.9, и 1-6, см. рис. 4.11).

Число ступеней m пускового реостата (см. рис. 4.8) двигателя постоянного тока и z асинхронного двигателя (см. рис. 4.10) определяется требованиями плавности пуска, т.е. величиной допустимого ускорения a подъема (спуска) груза.

Среднее ускорение при пуске:

$$a_{cp} = \frac{v_n}{t_{\Pi}},$$

где t_{Π} - время разгона привода от скорости $V = 0$ до $V = \omega_n$ при последовательном выключении всех пусковых ступеней.

$$t_{\Pi} = t_{\Pi_1} + t_{\Pi_2} + \dots + t_{\Pi_i},$$

где $t_{\Pi_1}, t_{\Pi_2}, \dots, t_{\Pi_i}$ - время разгона при включенной i -й ступени, i - номер ступени.

Для упрощения считаем, что закон изменения скорости во времени линейный, поэтому время разгона t_{Π_i} при включенной i -й ступени пускового сопротивления определяется по формуле

$$t_{\Pi_i} \cong \frac{J_{\Sigma} \alpha_0 (\lambda - 1)}{\lambda^i (M_1 - M_2)},$$

здесь $\lambda = \frac{I_1}{I_2}$ - для двигателей постоянного тока.

$$I_1 = \psi_1 I_{cm}$$

где ψ_1 - кратность пускового тока (момента), см. табл. 4.1; I_{cm} - номинальный ток двигателя, А.

$$I_2 = \psi_2 I_{c \max}$$

где ψ_2 - кратность пускового тока (момента), $\psi_2 = 1,1-1,4$.

Для асинхронных двигателей

$$\lambda = \frac{M_1}{M_2}.$$

Число ступеней пускового реостата двигателей постоянного тока при аналитическом методе расчета [9].

$$m = \left| \frac{\lg \frac{U_n}{I_1(r_y + r_p)}}{\lg \pi} \right|.$$

На рабочем участке механической характеристики АД зависимость $a = f(M)$ можно приближенно считать линейной, поэтому число ступеней пускового сопротивления [9] определится по формуле

$$z = \left| \frac{\lg \frac{S_p M_1}{M_{c \max}}}{\lg \pi} \right|.$$

Задаваясь значениями максимального тока (момента) $I_1(M_1)$, изменяя ток (момент) переключения $I_2(M_2)$ добиваются равенства числа ступеней целому числу (до 3-го знака).

При контакторном управлении пуском число ступеней для двигателей малой мощности (0,7...10 кВт) принимают 1...2, средней мощности (10-50 кВт) - 2...3, большой мощности (50-200 кВт) - 3...5 [9].

Условием правильности выбора числа пусковых ступеней является

$$a_{cp} \leq a.$$

После расчета m и z в масштабе строится пусковая диаграмма, общий вид которой для ДПТ при $m = 3$ приведен на рис. 4.9, а, для АД при $z = 3$ - на рис. 4.11.

Моменты ДПТ, соответствующие токам якоря I_1 и I_2 , Н·м:

$$M_1 = C \phi I_1;$$

$$M_2 = C \phi I_2;$$

$$C \phi = \frac{U_H}{\omega_0}.$$

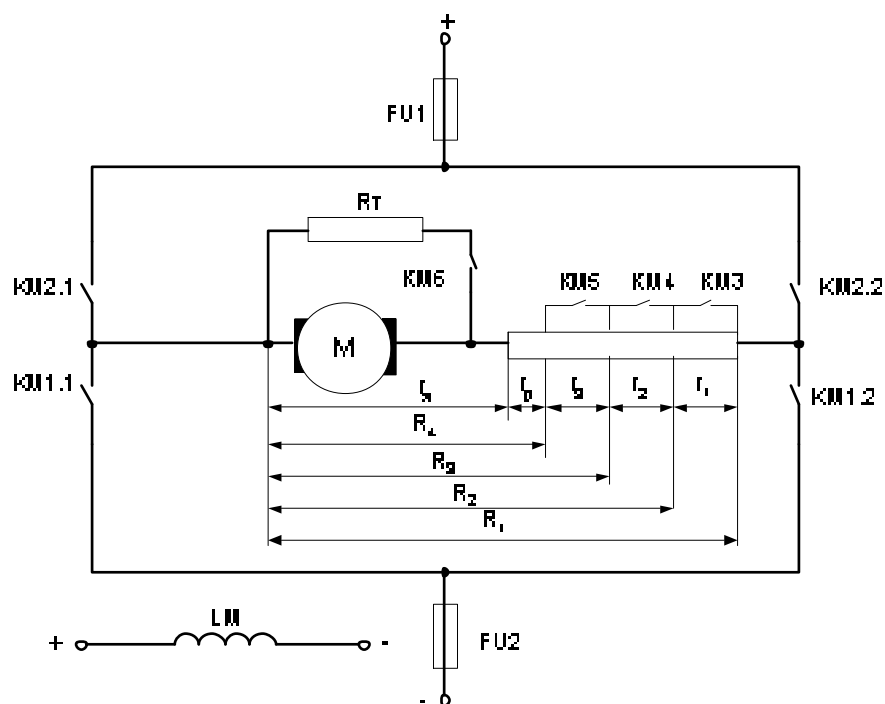


Рисунок 4.8 – Схема включения пускорегулирующих сопротивлений и сопротивлений динамического торможения ДПТ

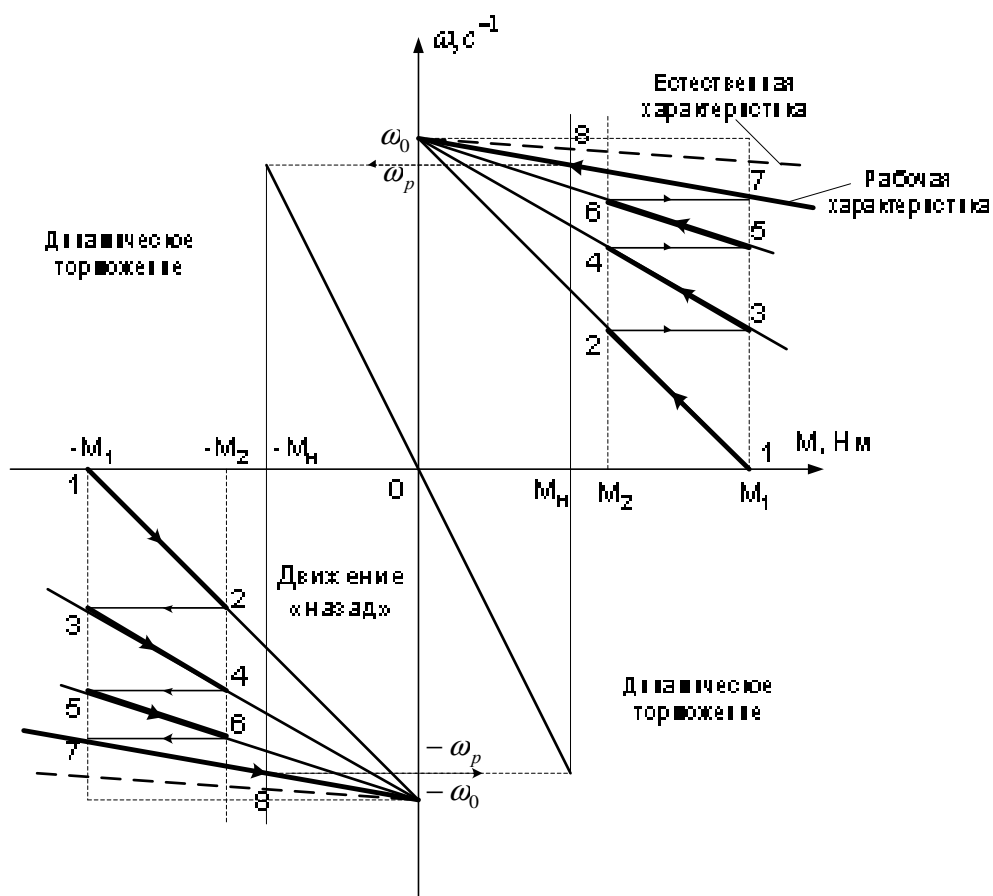


Рисунок 4.9 – Пусковая диаграмма и механическая характеристика ДПТ

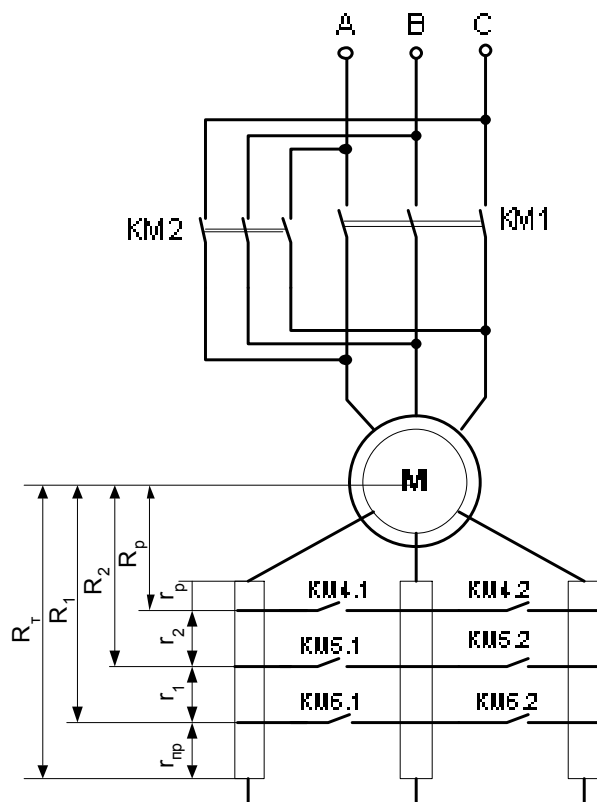


Рисунок 4.10 – Схема включения пускорегулирующих сопротивлений и сопротивлений динамического торможения АД

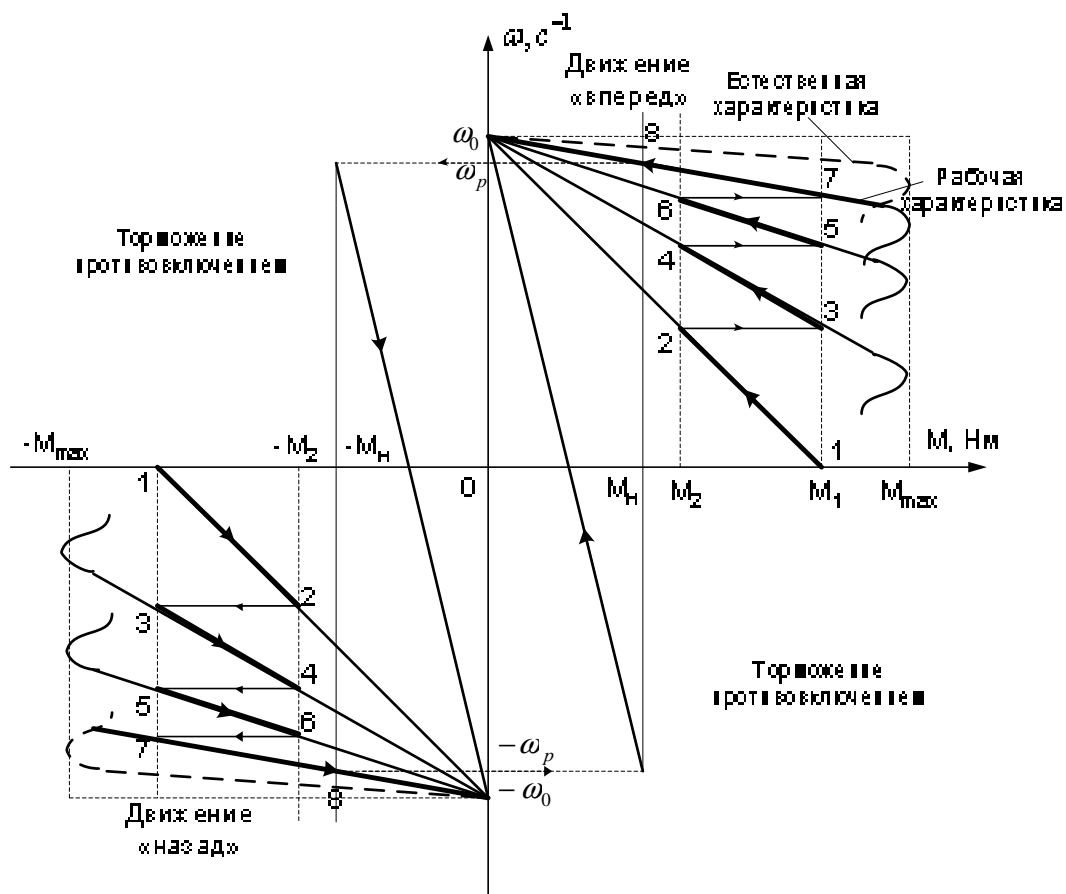


Рисунок 4.11 – Пусковая диаграмма и механическая характеристика ДПТ

Величина сопротивления R_1 первой ступени ДТП рассчитывается из условия ограничения начального пускового тока якоря I_1 , Ом:

$$R_1 = \frac{U_n}{I_1} .$$

Величины сопротивлений последующих ступеней, Ом, (см. рис. 4.10) определяются по формулам

$$R_2 = \frac{R_1}{\lambda} \quad R_3 = \frac{R_2}{\lambda} \quad R_4 = \frac{R_3}{\lambda}$$

$$R_m = \frac{R_{m-1}}{\lambda}$$

Сопротивления секций пускового сопротивления (см. рис. 4.10), Ом:

$$r_1 = R_1 - R_2 \quad r_2 = R_2 - R_3, \quad r_3 = R_3 - R_4,)$$

$$r_m = R_m - R_{m+1},$$

Величины сопротивлений пусковых ступеней АД, Ом:

$$r_z = R_{z+1} \lambda$$

.....

$$r_3 = (r_a + r_p) \lambda \quad r_2 = R_3 \lambda \quad r_1 = R_2 \lambda$$

Сопротивление одной фазы обмотки ротора: $r_a = \frac{S_n r_{2n}}{100}$, Ом,

Номинальное сопротивление фазы ротора, Ом: $r_{2n} = \frac{E_{2n}}{\sqrt{3} I_{2n}}$, Ом

где E_{2n} , I_{2n} - соответственно номинальное напряжение между кольцами ротора, В, и номинальный ток ротора, А.

Сопротивление невыводимой ступени, Ом,

$$r_p = \frac{S_p r_{2n}}{100} .$$

Сопротивления секций пускового сопротивления (см.рис. 4.10), Ом;

$$r_z = R_z - r_{z+1},$$

.....

$$r_2 = R_2 - r_a - r_p$$

$$r_1 = R_1 - R_2.$$

Торможение механизма подъема крана с использованием электродвигателя в режимах динамического торможения или противовключением позволяет уменьшить износ тормозных колодок механических тормозов, а следовательно повысить надежность крана в целом.

Схему динамического торможения двигателя постоянного тока см. на рис. 4.8., В тормозном режиме обмотка якоря контактором КМ отключается от сети, а контактором КМ4 подключается к сопротивлению динамического торможения. Его величина определяется по формуле

$$R_{dT} = \frac{\omega_T U_n}{\omega_0 I_n (K_T - 1)},$$

где ω_T - начальная скорость торможения, с; K_T - коэффициент запаса торможения.

Торможение противовключением асинхронного двигателя осуществляется изменением порядка чередования фаз, например, выключением контактора КМ4 и включением КМ5 (см. рис. 4.10). Для ограничения тока в момент переключения двух фаз обмотки статора, а также для получения заданной скорости торможения в цепь обмотки ротора вводится сопротивление R_T , состоящее из пускового сопротивления R_1 и ступени противовключения r_{np} :

$$R_T = r_a \frac{2(1 - S_p)}{S_n}$$

Сопротивление ступени противовключения, Ом,

$$r_{np} = R_T - R_1.$$

Величина начального момента M_T , создаваемого электродвигателем, Н·м, принимается

$$M_T = M_C (K_T - 1).$$

Типовая схема электропривода выбирается в полном соответствии с вариантом задания и результатами расчетов. При этом учитываются:

- тип электродвигателя;
- число ступеней пускового сопротивления;

- способ электрического торможения;
- мощность электродвигателя.

Тип контролера выбирается в зависимости от мощности двигателя и режима работы крана [2, 10]. При выборе схемы управления электроприводом необходимо ориентироваться на современные типовые крановые панели. Элементы электрической принципиальной схемы электропривода приводятся в соответствии в требованиями [12]. Описание работы схемы излагается в такой последовательности:

- 1 Исходное состояние.
- 2 Пуск при подъеме груза.
- 3 Торможение из положения "подъем".
- 4 Пуск при спуске груза.
- 5 Торможение из положения "спуск".
- 6 Регулирование скорости подъема и спуска.

При этом в описании следует указать действия машиниста крана и к каким изменениям в схеме приводят его действия. Можно отметить функциональное назначение главных элементов схемы управления.

4.4 Переходные процессы. Общая характеристика и классификация переходных процессов

Переходным процессом называют процесс уменьшения скорости, момента, тока и других параметров, при переходе двигателя из одного установленного режима к другому.

Изучение переходных процессов дает возможность определить ускорение, время переходных процессов, скорость протекания, путь, угловое положение и др., что необходимо знать для правильного выбора мощности двигателей, наладки аппаратуры управления, элементов защиты, допустимого нагрева и др.

На скорость протекания переходных процессов оказывают влияние различного рода инерционности:

- механическая инерционность, которая обусловлена изменением запаса

кинетической энергии во всех движимых элементах системы управления;

– электромагнитная инерционность, обусловлена изменением электрической энергии запасенной в индуктивностях.

В зависимости от того какая инерционность учитывается, переходные процессы делятся на: механические и электромеханические.

Методы расчета переходных процессов:

– аналитический, когда уравнения достаточно просты для интегралов, здесь нелинейности не учитываются – этот метод хорош, тем, дает качественную и количественную оценку.

– графический и графоаналитический методы расчета используются тогда, когда нужно учитывать нелинейности (они точнее, но более громоздки).

4.4.1 Механические переходные процессы в ЭП с ДПП независимого возбуждения при питании от сети

Переходные процессы при пуске ДПП независимого возбуждения в одну ступень

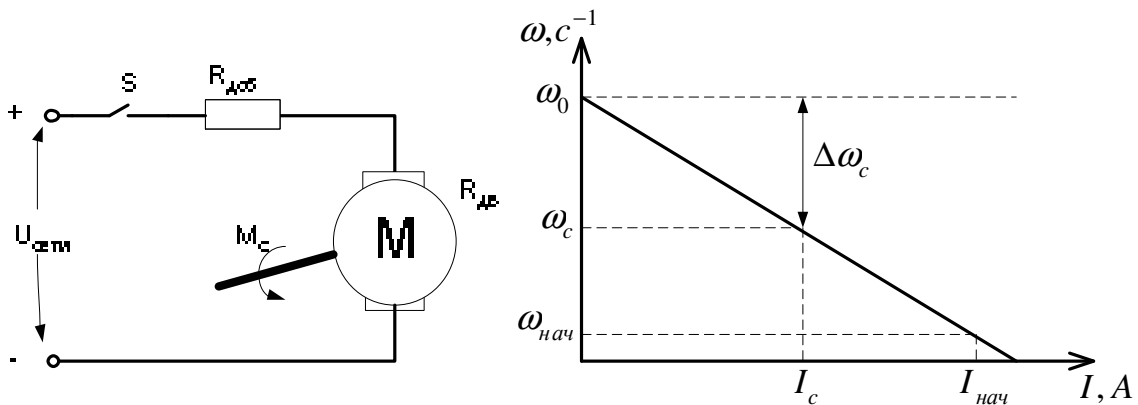


Рисунок 4.12 – Функциональная схема включения в питающую сеть ДПП и его электромеханическая характеристика

Переходной процесс по скорости описывается следующим уравнением:

$$\omega = \omega_0 - \Delta\omega_c + ce^{-\frac{t}{T_m}},$$

где T_m – механическая постоянная времени, c ; c – постоянная перерегулирования, определяется из начальных условий: $t = 0$, $\omega = \omega_{нач}$ и равная $c = \omega_{нач} - \omega_c$.

$$\omega = \omega_{нач} - (\omega_0 - \Delta\omega_c) = \omega_{нач} - \omega_c ;$$

$$\omega = \omega_c + (\omega_{нач} - \Delta\omega_c) e^{-\frac{t}{T_m}} .$$

Разберем частные случаи:

- Если $I_c = 0$, то $\omega = \omega_0 + (\omega_{нач} - \Delta\omega_0) e^{-\frac{t}{T_m}}$ - соответствует пуску в холостую.
- Если $\omega_{нач} = 0$, то $\omega = \omega_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}} \right)$ - соответствует пуску под нагрузкой.

Электромеханическая постоянная времени (T_m) – это время, которое необходимо для разгона двигателя от нулевой скорости до скорости идеального холостого хода под действием момента короткого замыкания M_k с моментом инерции системы J .

$$T_m = \frac{JR}{(K\Phi_n)^2} = \frac{U_n \cdot J}{K\Phi_n \cdot K\Phi_n \frac{U}{R}} = \frac{\omega_0 \cdot J}{K\Phi_n \cdot I_k} = \frac{\omega_0 \cdot J}{M_k}$$

Графическая интерпретация механической постоянной времени изображена на рис. 4.13:

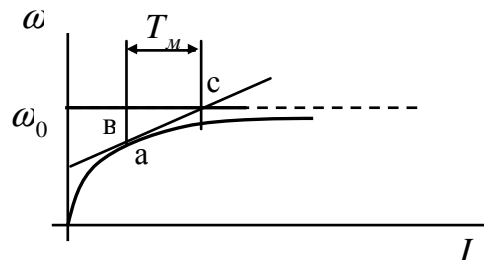


Рисунок 4.13 – Графическая интерпретация механической постоянной времени и вид зависимости изменения угловой частоты вращения во времени при пуске в холостую

Для асинхронного электродвигателя механическая постоянная времени определяется, как

$$T_m = \frac{J \omega_0 S_{(k)}}{M_k}$$

Определим время переходного процесса по скорости

$$\omega_{\text{кон}} = \omega_c + (\omega_{\text{нач}} - \omega_c)e^{-\frac{t}{T_M}}; \quad \omega_{\text{кон}} - \omega_c = (\omega_{\text{нач}} - \omega_c)e^{-\frac{t}{T_M}};$$

$$t = T_M \ln \left(\frac{\omega_{\text{нач}} - \omega_c}{\omega_{\text{кон}} - \omega_c} \right),$$

Переходной процесс по току описывается следующим уравнением:

$$i = I_c - (I_{\text{нач}} - I_c)e^{-\frac{t}{T_M}}$$

Рассмотрим частные случаи:

– Если $\omega_{\text{нач}} = 0$; $I_{\text{нач}} = I_{\text{я}} = \frac{U_{\text{н}}}{R}$ $i_c = I_c - (I_{\text{н}} - I_c)e^{-\frac{t}{T_M}}$ - соответствует пуску поднагрузкой;

– Если $\omega_{\text{нач}} = 0$; $\omega_{\text{кон}} = \omega_0$; $I_c = 0$; $i = I_{\text{к}}e^{-\frac{t}{T_M}}$ - соответствует пуску в холостую.

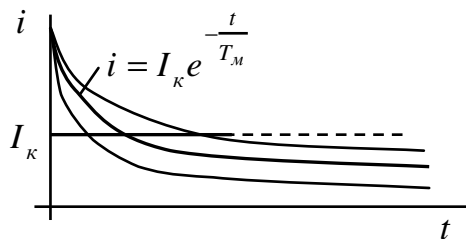
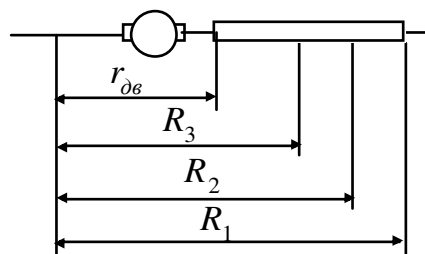


Рисунок 4.14 – Зависимость изменения во времени статического тока электродвигателя при пуске поднагрузкой

Переходные процессы при многоступенчатом пуске

В качестве примера рассмотрим реостатный пуск ДПТ с независимым воз-



буждением в 3 ступени (см. рис. 4.15).

Рисунок 4.15 – Расчетная схема реостатного пуска ДПТ с независимым возбуждением в 3 ступени

Методика расчета переходных процессов по скорости и току при многоступенчатом пуске ДПП.

1. Определяем механические постоянные времени

$$T_{M_1} = \frac{JR}{(k\Phi_n)} = k_1 R_1; \quad T_{M_2} = k_1 R_2; \quad T_{M_3} = k_1 R_3; \quad T_{M_c} = k_1 r_{\partial 6}.$$

2. Определяем время переходного процесса по скорости на каждой пусковой ступени

$$t = T_M \ln \left(\frac{\omega_{нач} - \omega_c}{\omega_{кон} - \omega_c} \right)$$

$$t_1 = T_{M_1} \ln \left(\frac{0 - \omega_{c_1}}{\omega_1 - \omega_{c_1}} \right); \quad t_2 = T_{M_2} \ln \left(\frac{\omega_1 - \omega_{c_2}}{\omega_2 - \omega_{c_2}} \right); \quad t_3 = T_{M_3} \ln \left(\frac{\omega_2 - \omega_{c_2}}{\omega_4 - \omega_{c_2}} \right)$$

$$t_c = (3 \div 4) T_{M_c}$$

2. Определяем время переходного процесса по току на каждой пусковой ступени

$$t = T_M \ln \left(\frac{I_{нач} - I_c}{I_{кон} - I_c} \right);$$

$$t_1 = T_{M_1} \ln \left(\frac{I_1 - I_{c_1}}{I_2 - I_c} \right) = T_{M_1} k_2; \quad t_2 = T_{M_2} k_2; \quad t_3 = T_{M_3} k_2 \quad t_c = (3 \div 4) T_{M_c}$$

3. Определяем время длительности переходного процесса при многоступенчатом пуске

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + t_3 + t_c$$

4. Определяем значения угловой частоты вращения вала электродвигателя на каждой пусковой ступени:

$$1 \text{ пусковая ступень: } \omega = \omega_{c_1} + (0 - \omega_{c_1}) e^{-\frac{t}{T_{M_1}}};$$

$$2 \text{ пусковая ступень: } \omega = \omega_{c_2} + (\omega_1 - \omega_{c_2}) e^{-\frac{t}{T_{M_2}}}$$

$$3 \text{ пусковая ступень: } \omega = \omega_{c_3} + (\omega_2 - \omega_{c_3}) e^{-\frac{t}{T_{M_3}}}$$

$$\text{Выход на естественную характеристику: } \omega = \omega_{c_4} + (\omega_4 - \omega_{c_4}) e^{-\frac{t}{T_{M_c}}}$$

5. Определяем значения силы тока электродвигателя на каждой пусковой

ступени:

$$1 \text{ пусковая ступень: } i = I_1 + (I_2 - I_1)e^{-\frac{t}{T_{м1}}};$$

$$2 \text{ пусковая ступень: } i = I_1 + (I_2 - I_1)e^{-\frac{t}{T_{м2}}}$$

$$3 \text{ пусковая ступень: } i = I_1 + (I_2 - I_1)e^{-\frac{t}{T_{м3}}}$$

$$\text{Выход на естественную характеристику: } i = I_1 + (I_c - I_1)e^{-\frac{t}{T_{мс}}}$$

6. Составляем таблицу расчетных данных

Таблица 4.3 – Расчетные данные для построения переходных процессов при многоступенчатом пуске ДПТ

Ступень	I → t ₁	II → t ₂	III → t ₃	IV → t _c
Время переходного процесса	0 ... t ₁	t ₁ ... t ₂	t ₂ ... t ₃	t ₃ ... t _c
Расчетные значения скорости, ω, с ⁻¹	0 ... ω ₁	ω ₁ ... ω ₂	ω ₂ ... ω ₃	ω ₃ ... ω _c
Установившаяся скорость, ω _c , с ⁻¹	ω _{c1}	ω _{c2}	ω _{c3}	ω _c
Расчетные значения тока, I, А	I ₂ ... I ₁	I ₂ ... I ₁	I ₂ ... I ₁	I ₂ ... I _c
Установившееся значение тока, I _c , А	I ₁	I ₁	I ₁	I _c

7. По результатам расчетов строим зависимости изменения во времени скорости и тока при многоступенчатом пуске ДПТ с независимым возбуждением (см. рис. 4.16)

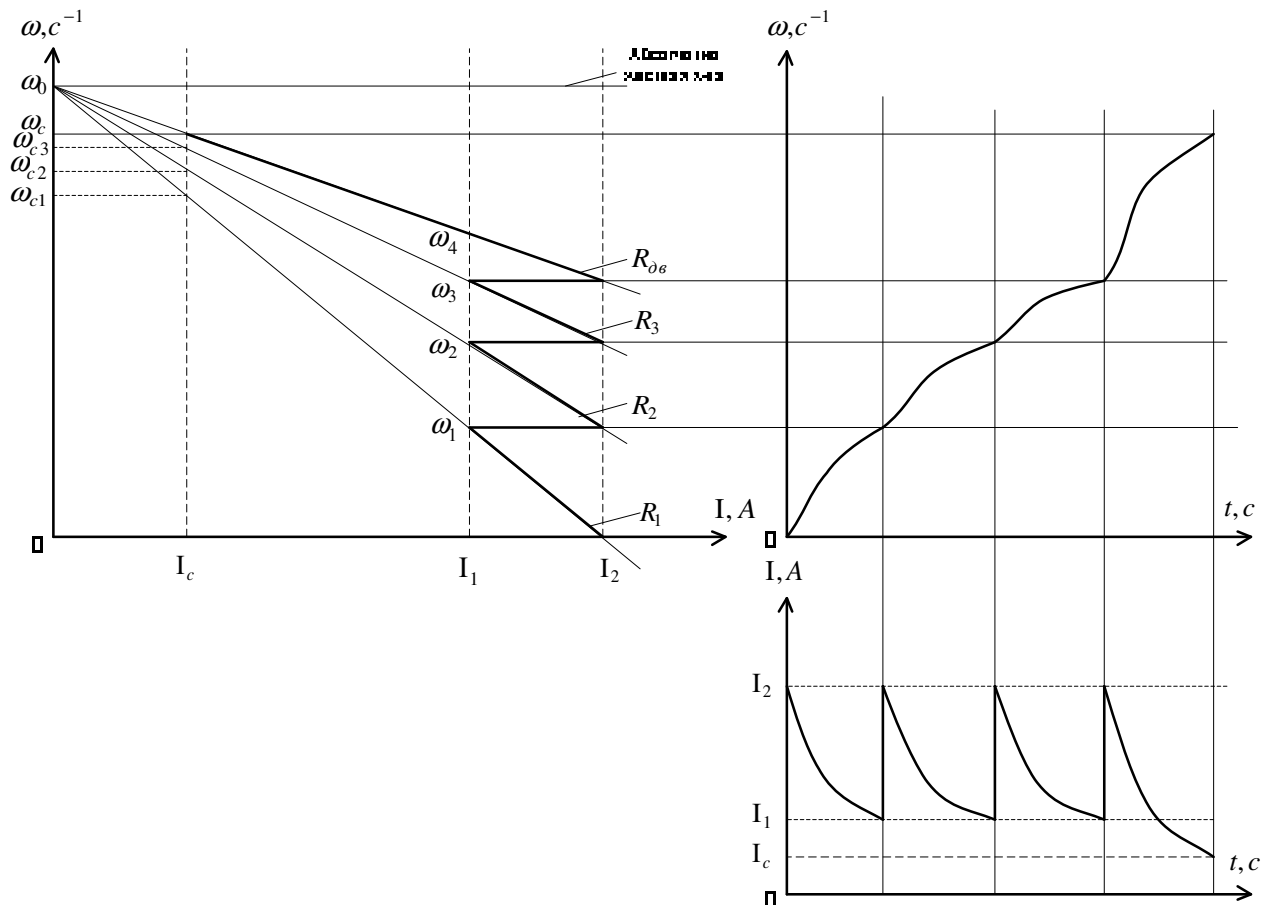


Рисунок 4.16 – Электромеханические характеристики и зависимости изменения скорости и тока во времени при многоступенчатом пуске ДПТ

Методика расчета переходных процессов по скорости и моменту при многоступенчатом пуске АД с фазным ротором без учета нелинейности характеристики.

На рисунке 4.17 приведена расчетная схема пуска АД с фазным ротором в 3 реостатные ступени и его механическая характеристика.

1. Определяем механические постоянные времени для каждой i -ой пусковой ступени

$$T_{Mi} = \frac{J\omega_0 s_{ki}}{M_1}$$

2. Определяем время переходного процесса по скорости на каждой i -ой пусковой ступени

$$t_i = T_{Mi} \ln \left(\frac{\omega_{нач} - \omega_c}{\omega_{кон} - \omega_c} \right)$$

3. Определяем время переходного процесса по моменту на каждой i -ой пусковой ступени

$$t_i = T_{mi} \ln \left(\frac{M_{нач} - M_c}{M_{кон} - M_c} \right);$$

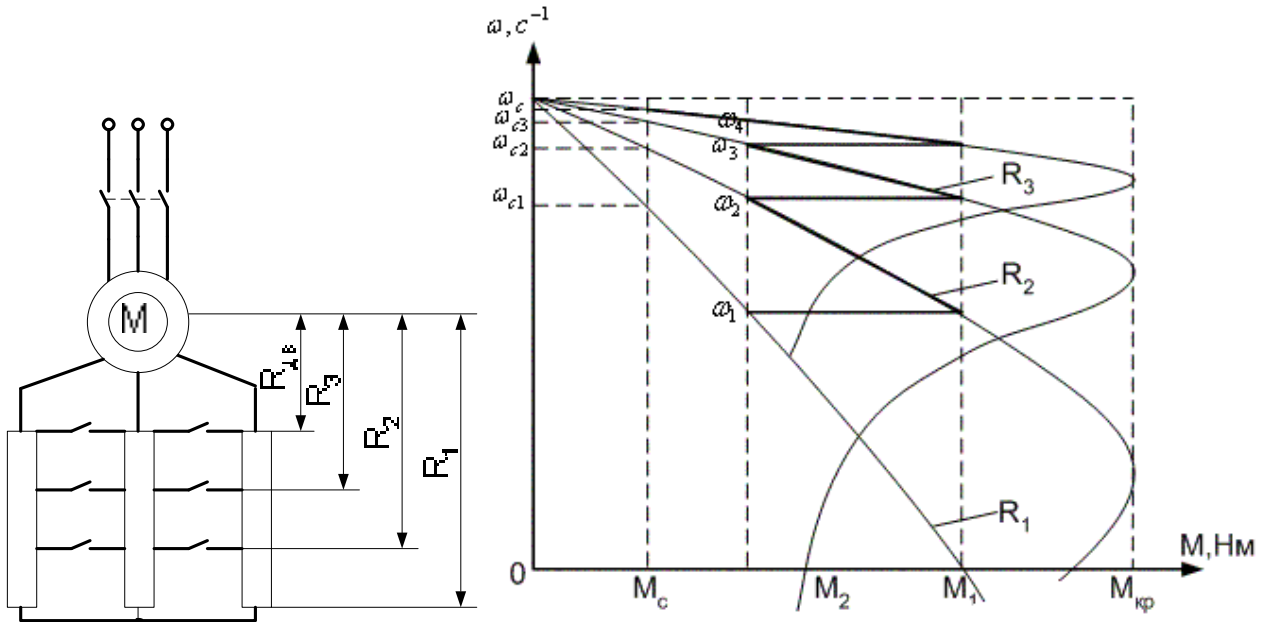


Рисунок 4.17 - Расчетная схема реостатного пуска АД с фазным ротором в 3 ступени и механическая характеристика

3. Определяем время длительности переходного процесса при многоступенчатом пуске

$$t_{\Sigma} = t_1 + t_2 + t_3 + t_c$$

4. Определяем значения угловой частоты вращения вала электродвигателя на каждой i -ой пусковой ступени

$$\omega_i = \omega_{ci} + (\omega_{нач} - \omega_{ci}) e^{-\frac{t}{T_{mi}}}$$

5. Определяем значения силы тока электродвигателя на каждой i -ой пусковой ступени:

$$M_i = M_{ci} + (M_{нач} - M_{ci}) e^{-\frac{t}{T_{mi}}}$$

6. Составляем таблицу расчетных данных

Таблица 4.4 – Расчетные данные для построения переходных процессов при многоступенчатом пуске АД без учета нелинейности

Ступень	I→t ₁	II→t ₂	III→t ₃	IV→t _c
Время переходного процесса	0...t ₁	t ₁ ...t ₂	t ₂ ...t ₃	t ₃ ...t _c
Расчетные значения скорости, ω, c^{-1}	0... ω_1	ω_1 ... ω_2	ω_2 ... ω_3	ω_3 ... ω_c
Установившаяся скорость, ω_c, c^{-1}	ω_{c1}	ω_{c2}	ω_{c3}	ω_c
Расчетные значения тока, $M, \text{Нм}$	M_1 ... M_2	M_1 ... M_2	M_1 ... M_2	M_1 ... M_c
Установившееся значение тока, $M_c, \text{Нм}$	M_2	M_2	M_2	M_c

7. По результатам расчетов строим зависимости изменения во времени скорости и тока при многоступенчатом пуске АД с фазным ротором (см. рис. 4.18)

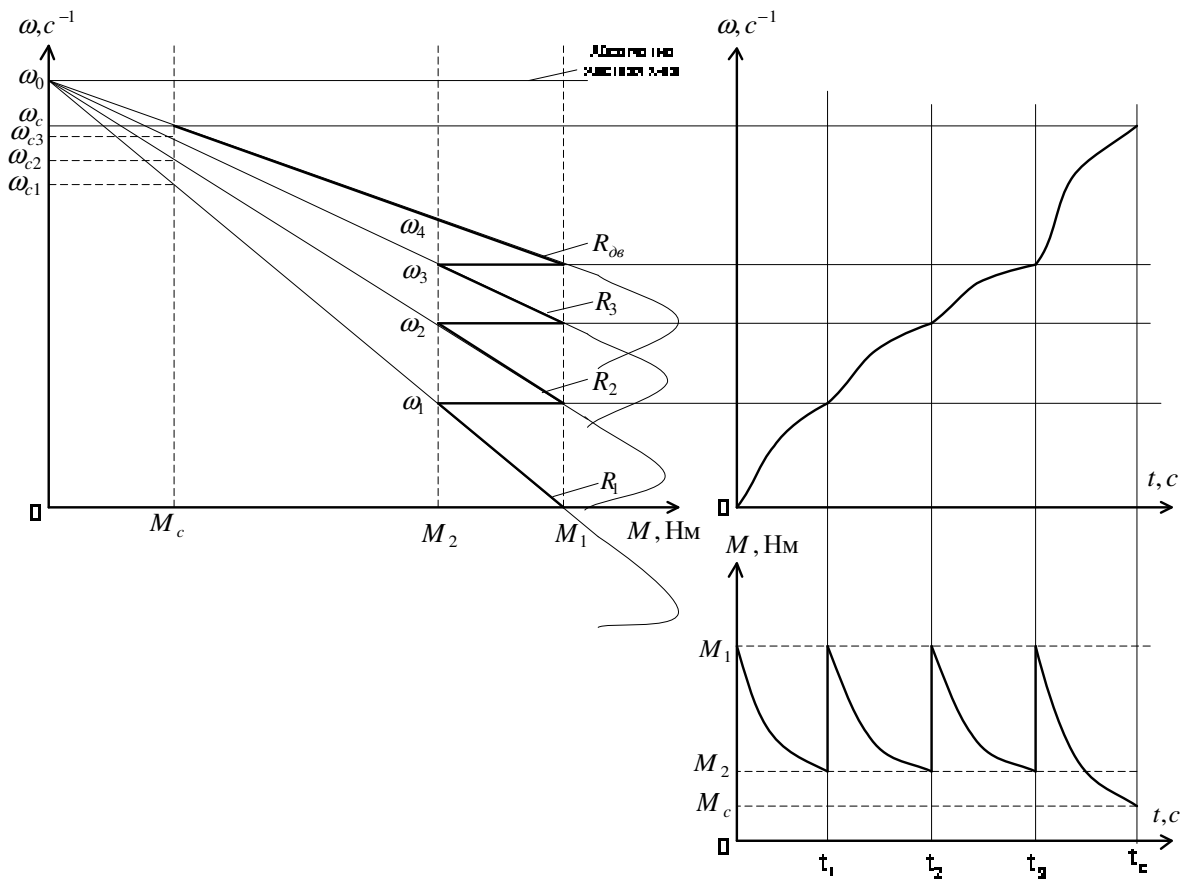


Рисунок 4.18 – Электромеханические характеристики и зависимости изменения скорости и момента во времени при многоступенчатом пуске АД

Методика расчета переходных процессов по скорости и моменту при пуске АД с фазным ротором с учетом нелинейности характеристики.

Для получения зависимости $\omega(t)$ и $M(t)$ при пуске АД воспользуемся методом Эйлера:

1. Строится механическая характеристика $\omega = f(M)$ АД и кривая измене-

ния статической нагрузки (см. рис. 4.19).

2. Ось ω от 0 до $M=M_c$ заменяется на ряд элементарных участков $\Delta\omega$ (не менее 12-ти). На элементарном участке величина статического момента M_c принимается постоянной (см. рис. 4.19).

3. Заполняется расчетная таблица

Таблица 4.5 – Расчетные данные для построения переходных процессов пуске АД с учетом нелинейности

$\Delta\omega_i$	ω_i	M_i	M_{ci}	Δt_i	t_i
$\Delta\omega_1$	$\omega_1 = \Delta\omega_1$	M_1	M_{c1}	Δt_1	$t_1 = \Delta t_1$
$\Delta\omega_2$	$\omega_2 = \omega_1 + \Delta\omega_2$	M_2	M_{c2}	Δt_2	$t_2 = t_1 + \Delta t_2$
$\Delta\omega_3$	$\omega_3 = \omega_2 + \Delta\omega_3$	M_3	M_{c3}	Δt_3	$t_3 = t_2 + \Delta t_3$
...
$\Delta\omega_i$	$\omega_i = \omega_{i-1} + \Delta\omega_i$	M_i	M_{ci}	Δt_i	$t_i = t_{i-1} + \Delta t_i$

4. По полученным расчетным значениям строятся зависимости $\omega(t)$ и $M(t)$ при пуске АД (см. рис. 4.19)

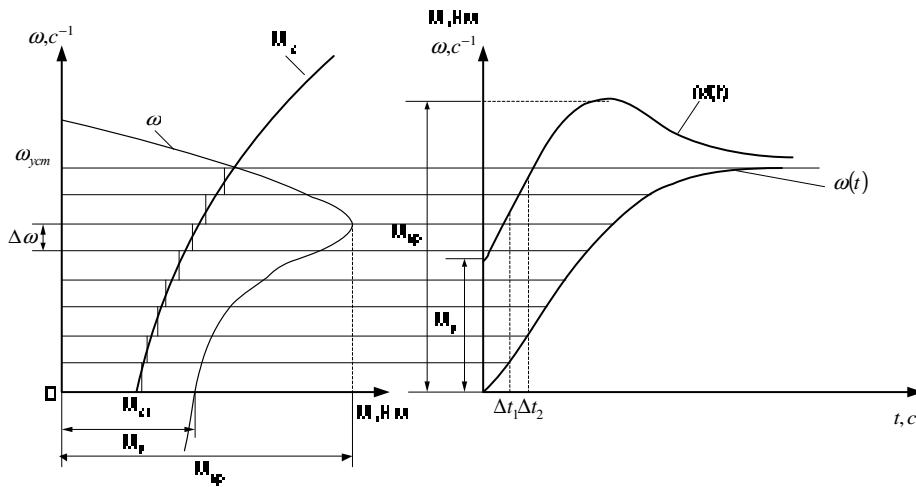


Рисунок 4.19 – Зависимости АД при пуске с учетом нелинейности

Приложение А. Паспортные данные электродвигателей постоянного и переменного тока

Таблица А.1 – Электродвигатели постоянного тока крановые и металлургические серии Д, закрытые

с естественным охлаждением

Исполнение	Тип двигателя	Возбуждение параллельное со стабилизирующей обмоткой и параллельное															
		Повторно – кратковременный режим															
		ПВ = 15 %				ПВ = 25 %				ПВ = 40 %				ПВ = 60 %			
		Мощность, Вт	Ток, А	Частота вращения со слаб. обмоткой об/мин	Частота вращения без слаб. обмотки об/мин	Мощность, Вт	Ток, А	Частота вращения со слаб. обмоткой об/мин	Частота вращения без слаб. обмотки об/мин	Мощность, Вт	Ток, А	Частота вращения со слаб. обмоткой об/мин	Частота вращения без слаб. обмотки об/мин	Мощность, Вт	Ток, А	Частота вращения со слаб. обмоткой об/мин	Частота вращения без слаб. обмотки об/мин
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Напряжение 220 В																	
Тихоходное	Д12	3,6	22,5	1100	1140	3,0	17,5	1100	130	2,4	14	1200	1230	2,0	11	1230	
	Д21	5,2	32	980	1020	4,5	26	980	1010	3,6	20,5	1060	1080	2,9	16	1100	
	Д22	7,2	41	1070	1120	6,0	33	1030	1060	4,8	26	1120	1150	3,6	20	1140	
	Д31	10,5	60	810	850	8,5	47	800	840	6,8	37	850	880	5,4	29	870	
	Д32	14,5	82	740	780	12	65	730	760	9,5	51	770	800	7,5	39	790	
	Д41	19	105	680	700	16	85	660	680	13	69,5	700	720	9,5	50	720	
Тихоходное	Д806	24,5	130	680	695	20	104	695	705	16	84	700	710	12	62	705	
	Д808	37	190	605	625	30	150	610	630	22	112	620	630	17	85	625	
	Д810	50	255	580	595	40	205	585	595	29	148	590	600	22,5	115	590	
	Д812	66,5	335	535	545	53,5	270	540	550	38	192	555	565	28,5	145	560	
	Д814	100	495	540	550	80	395	545	555	55	280	550	560	38,5	196	550	
	Д816	125	620	525	535	97	480	525	535	70	350	525	535	47	2540	530	
	Д818	165	820	460	470	130	650	460	470	83	415	460	470	58	292	465	

Продолжение табл. А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

Быстроходное	Д21	6,8	39	1370	1420	5,5	31	1380	1400	4,4	24,5	1460	1500	3,4	19	1500
	Д22	10	56	1480	1560	8,0	44	1430	1490	6,6	34	1510	1570	5,0	28	1520
	Д31	15	82	1320	1390	12	64	1300	1350	9,5	50,5	1360	1420	7,0	38	1410
	Д32	20	106	1180	1230	16	84	1130	1180	13	68	1190	1240	10	52	1200
	Д41	27	140	1090	1160	22	114	1060	1110	17,5	90,5	1120	1160	13	68	1130
	Д806	33	170	1050	1060	27,5	140	1050	1060	21	110	1050	1060	15	80	1050
	Д808	43	220	790	825	35	175	800	825	26	134	810	825	19	96	815
Напряжение 440 В																
Тихоходное	Д21	4,7	15	1200	1220	4,0	12	1190	1210	3,1	9,5	1280	1300	2,5	7,5	1310
	Д31	8,6	25,5	845	865	7,0	20	830	850	5,2	14,5	890	910	4,3	12,5	900
	Д41	18	49,5	685	700	15	40	670	680	12,5	34	710	720	9,0	23,5	725
	Д808	37	95	605	625	30	75	610	630	22	56	620	630	17	42,5	625
Тихоходное	Д810	50	127	580	595	40	102	585	595	29	74	590	600	22,5	57	590
	Д812	63	160	540	550	51	130	545	555	36	92	560	570	27	69,5	565
	Д814	100	246	540	550	80	196	545	555	55	138	550	560	38,5	98	550
	Д816	125	310	525	535	97	250	525	535	70	175	530	540	47	120	530
	Д818	165	410	460	470	130	325	460	470	83	205	460	470	58	146	465
Быстро-	Д22	9,0	25	1480	1530	7,0	19,5	1420	1460	5,6	15,5	1510	1550	4,0	12	1520
	Д32	19	50,5	1200	1250	15	40	1160	1200	12	31,5	1200	1240	9,0	24,5	1240
	Д806	33	85	1050	1060	27,5	70	1050	1060	21	55	1050	1060	15	40	1050

Таблица А.2 – Технические данные двигателей 4МТНФ с независимой вентиляцией (продуваемые) с фазным ротором

на частоту 50 Гц, ПВ = 100%, $U_H = 380 В$

Тип двигателя	Мощность на валу, кВт	Частота вращения, об/мин	Ток статора при 380 В, А	$\cos\varphi$	КПД, %	Ток ротора, А	Напряжение между кольцами, В
4МТНФ 225М6	37	950	81	0,80	87	71	305
	55	960	119	0,81	87	117	290
	30	715	75	0,72	84	70	272
	37	720	89	0,74	85	78	300
	75	955	151	0,86	88	174	269
	110	970	216	0,86	90	156	434
	55	710	119	0,82	86	180	196

	75	720	166	0,79	87	168	277
	90	720	192	0,81	88	168	335
	45	565	109	0,74	85	166	176
	60	570	143	0,74	86	160	235
	75	570	177	0,74	87	140	312

Таблица А.3 – Технические данные двигателей 4МТН с фазным ротором на частоту 50 Гц, $U_H = 380 В$

Тип двигателя	ПВ 15%	ПВ 25%	ПВ 40%	ПВ 60%	ПВ 100%	Частота вращения, об/мин	Ток статора при 380 В, А	$\cos\varphi$	η	Ток ротора, А	Напр м кол
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	
4МТН225М6	52					940	110	0,84	85	112	
		43				945	93	0,82	86	90	
			37			950	81	0,8	87	71	
				30		960	69	0,76	87	60	
					22	970	56	0,7	86	43	
4МТН225L6	75					945	161	0,83	85	167	
		65				950	140	0,82	86	142	
			55			960	119	0,81	87	117	
				44		965	100	0,78	86	93	
					33	970	82	0,72	85	70	
4МТН280S6	105					945	211	0,88	86	256	
		90				950	181	0,87	87	216	
			75			955	151	0,86	88	174	
				60		960	123	0,83	89	140	
					45	970	102	0,76	88	105	
4МТН280L6	154					960	299	0,89	88	233	

Продолжение табл. А.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		132				965	256	0,88	89	188
			110			970	216	0,86	90	156
				88		975	181	0,83	89	127
					66	980	146	0,77	89	96
						750				
4MTH225M8	42					700	98	0,79	82	103
		36				705	87	0,76	83	86
			30			715	75	0,72	84	70
				24		720	65	0,67	84	55
					15	730	55	0,51	81	33
4MTH225L8	52					705	118	0,8	84	114
		44				715	101	0,78	85	93
			37			720	89	0,74	85	78
				30		725	78	0,69	85	62
					22	730	66	0,6	84	44
4MTH280S8	77					700	166	0,84	84	270
		66				705	142	0,83	85	220
			55			710	119	0,82	86	180
				44		715	99	0,79	86	140
					33	720	82	0,72	85	105
4MTH280M8	105					710	224	0,84	85	240

Продолжение табл.А.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
		90				715	194	0,82	86	204
			75			720	166	0,79	87	168
				60		725	143	0,74	86	130
					45	730	115	0,7	85	100
	125					710	260	0,85	86	240
		108				715	226	0,83	87	204
			90			720	192	0,81	88	168
				72		725	159	0,78	88	130
					54	730	131	0,72	87	100
						600				
4MTH280S10	63					555	146	0,8	82	244

		54				560	127	0,77	84	201	
			45			565	109	0,74	85	166	
				36		570	92	0,69	86	128	
					27	575	78	0,62	85	95	
4МТН280М10	84					555	190	0,8	84	256	
		72				565	165	0,78	85	200	
			60			570	146	0,74	86	160	
				48		575	121	0,69	87	124	
					36	580	105	0,6	87	92	

Продолжение табл.А.3

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	
4МТН280L10	105					560	232	0,8	86	217	
		90				565	204	0,77	87	180	
			75			570	177	0,74	87	146	
				60		575	150	0,7	87	115	

Таблица А.4 – Технические данные электродвигателей с фазным ротором

4МТФ(Н), ПВ = 40%, 380 В, 50 Гц

Тип	Число полюсов	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Ток статора, А	cos φ	Ток ротора А
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
4МТФ(Н)112L4	4	3,7	1370	10,5	0,82	-
4МТФ(Н)112LB4	4	5,5	1390	15	0,81	-
4МТФ(Н)132L4	4	7,5	1400	19	0,84	-
4МТФ(Н)132LB4	4	11	1410	28	0,86	-
4МТФ(Н)112L6	6	2,2	810	7,2	0,76	11
4МТФ(Н)112LB6	6	3,7	900	11,2	0,79	13,8
4МТФ(Н)132L6	6	5,5	915	14,8	0,74	18,3
4МТФ(Н)132LB6	6	7,5	935	18,2	0,77	20,7
4МТФ(Н)160L6	6	11	910	32	0,76	41
4МТФ(Н)160LB6	6	15	930	39	0,77	48
4МТФ(Н)200L6	6	22	935	55	0,79	60
4МТФ(Н)200LB6	6	30	935	75	0,78	73
4МТФ(Н)225M6	6	37	965	78	0,818	77
4МТН225L6	6	55	970	115	0,9	115
4МТН280S6	6	75	970	142	0,89	178
4МТН280M6	6	110	975	205	0,89	160
4МТФ(Н)160L8	8	7.5	695	25	0,73	22

Продолжение табл. А.4

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
4МТФ(Н)160LB8	8	11	705	38	0,74	39
4МТФ(Н)200L8	8	15	710	42	0,71	48,8
4МТН200LB8	8	22	715	57	0,7	59
4МТН225M8	8	30	720	74,6	0,72	71
4МТН225L8	8	37	725	87,4	0,74	79
4МТН280S8	8	55	720	112	0,84	170
4МТН280M8	8	75	725	154	0,82	165
4МТН280L8	8	90	730	179	0,84	162

4MTH355S8	8	132	710	270	0,85	-
4MTH355M8	8	160	715	320	0,87	-
4MTH355L8	8	200	730	400	0,86	-
4MTH280S10	10	45	576	103	0,76	146
4MTH280M10	10	60	580	124	0,76	135
4MTH280L10	10	75	582	166	0,77	142
4MTH355S10	10	110	584	266	0,7	250
4MTH355M10	10	132	585	315	0,68	250
4MTH355L10	10	160	586	392	0,61	245

Таблица 5 – Технические данные электродвигателей 4MTF(H) ПВ = 40%, 380 В, 50 Гц

Тип	Число полюсов	Мощность, кВт	Частота вращения, об/мин	Ток статора, А	$\cos \varphi$	Ток ротора А
4MTKF(H)112L4	4	3,7	1390	10,5	0,83	56
4MTKF(H)112LB4	4	5,5	1400	15,2	0,82	91
4MTKF(H)132L4	4	7,5	1390	18,5	0,85	131
4MTKF(H)132LB4	4	11	1410	27,5	0,87	215
4MTKF(H)112L6	6	2,2	880	6,8	0,73	64
4MTKF(H)112LB6	6	3,7	870	10,6	0,75	114
4MTKF(H)132L6	6	5,5	900	13,6	0,75	155
4MTKF(H)132LB6	6	7,5	900	18,3	0,7	225
4MTKF(H)160L6	6	11	910	29	0,76	39,5
4MTKF(H)160LB6	6	15	930	36,5	0,78	560
4MTKF(H)200L6	6	22	935	51	0,79	760
4MTKF(H)200LB6	6	30	935	70	0,78	980
4MTKF(H)160L8	8	7,5	690	24	0,71	310
4MTKF(H)160LB8	8	11	700	33,5	0,74	500
4MTKF(H)200L8	8	15	695	40	0,71	657
4MTKF(H)200LB8	8	22	700	60	0,69	981

4MTKH225L8	8	30	700	68	0,77	1128
4MTKH225L8	8	37	710	86	0,78	1470

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Чиликин М.Г., Сандлер А.С. Общий курс электропривода. - М.: Энергоиздат, 1981. - 560 с.
- 2 Ключев В.И., Терехов В.М. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов. - М.: Энергия, 1960. - 360 с.
- 3 Москаленко В.В. Автоматизированный электропривод. - М.: Энергоатомиздат, 1986. - 415 с.
- 4 Фотиев М.М. Электрооборудование предприятий черной металлургии. - М.: Металлургия, 1980. - 312 с.
- 5 Иванченко Ф.К. Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин. - Киев: Вища шк., 1978. - 576 с.
- 6 Ключев В.И. Выбор электродвигателей для производственных механизмов. - М.: Энергия, 1974. - 96 с.
- 7 Хализев Г.Л., Серов В.И. Расчет пусковых, тормозных и регулировочных устройств для электродвигателей. - М.: Высш. шк., 1966. - 280 с.
- 8 Рапутов Б.М., Электрооборудование металлургических кранов. - М.: Металлургия, 1968. - 223 с.
- 9 Кравчик Э.А., Стрельбицкий, Э.К., Шлаф М. М. Выбор и применение асинхронных двигателей. - М.: Энергоатомиздат, 1967. - 93 с.
- 10 Брусникин Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины, ч.1,2. - М.: Энергоиздат, 1987.

Учебное издание

Методические указания

к выполнению контрольной работы по курсу

«Основы теории электропривода»

для студентов специальности 7.092501

«Автоматизация и компьютерно-интегрированные технологии»

заочной формы обучения

Составитель

А. В. Разживин, ассистент, каф. АПП

Отв. за выпуск

О. В. Субботин, к.т.н., зав. каф. АПП

Подп. к печати

Формат 60×84/16

Офсетная печать. Усл. печ. л.

Уч.-изд. л.

Тираж 50

Зак. №

ДГМА, 83913, Донецкая обл., г. Краматорск, ул. Шкадинова, 72