

**ФГБОУ ВО «НОВОСИБИРСКИЙ ГАУ»**

**ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ**

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД**

Методические указания  
и задания к расчётно-графической работе для студентов  
заочной формы обучения

Новосибирск 2018

УДК

Кафедра техносферной безопасности и электротехнологий

Авторы: канд. техн. наук, доцент *А.Ю. Кузнецов*

канд. техн. наук, доцент *В.Л. Основич*

заведующий лабораториями, ассистент *С.А. Никонов*

аспирант *Д.С. Болотов*

Рецензент: доцент, канд. техн. наук *А.Т. Калужный*

Автоматизированный электропривод: метод. указания и задания к расчётно-графической работе для студентов заочной формы обучения / Новосибир. гос. аграр. ун-т. Инженер. ин-т; сост.: А.Ю. Кузнецов, В.Л. Основич, С.А. Никонов, Д.С. Болотов - Новосибирск, 2018. - 30 с.

В данных методических указаниях представлены варианты к расчётно-графической работе, а также методики и примеры решения заданий.

Методические указания предназначены для студентов НГАУ заочной формы обучения по направлению подготовки: Агроинженерия, (профиль: Электрооборудование и электротехнологии в агропромышленном комплексе).

Утверждены и рекомендованы к изданию учебно-методическим советом Инженерного института (протокол №5 от 12 декабря 2017 г.).

© Новосибирский государственный аграрный университет, 2018

© Кузнецов А.Ю., Основич В.Л., Никонов С.А., Болотов Д.С., 2018

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания содержат все сведения, необходимые для самостоятельного выполнения расчётно-графической работы по дисциплине «Автоматизированный электропривод». Они знакомят студентов с основными теоретическими положениями расчета и проектирования автоматизированного электропривода.

Задания к расчётно-графической работе посвящены вопросам оценки и расчета механических и регулировочных характеристик электроприводов с двигателями постоянного и переменного тока, в том числе с релейным управлением посредством регулируемых сопротивлений в цепях электродвигателей.

В процессе выполнения расчётно-графической работы студенты приобретают навыки управления координатами электропривода и их регулирования, умение исследовать и анализировать его характеристики.

Методические указания составлены в соответствии с программой курса дисциплины «Автоматизированный электропривод» для студентов вузов заочной формы обучения направления подготовки - Агроинженерия, по профилю - Электрооборудование и электротехнологии в агропромышленном комплексе. При подготовке методических указаний были использованы учебники по электроприводу Л.С. Цейтлина, В.В. Москаленко, В.М. Васина, Г.П. Хализева.

## 1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Индивидуальное задание для каждой расчётно-графической работы состоит из шести заданий.

**Первые задания** всех вариантов предусматривают построение естественных и искусственных механических или скоростных характеристик двигателей постоянного тока или асинхронных двигателей.

**Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения** механические и скоростные характеристики  $\omega=f(M)$  и  $\omega=f(I_a)$ , являются прямыми линиями. Для их построения достаточно знать две точки в прямоугольной системе координат.

Естественную механическую и скоростную характеристику можно построить по точкам с координатами (рисунок - 1):

1)  $\omega=\omega_n$  и  $M=M_n$  (механическая) или  $I=I_n$  (скоростная)

2)  $\omega=\omega_o$ ; и  $M=0$  (механическая) или  $I=0$  (скоростная)

где  $\omega_n$  - номинальная угловая скорость, рад/с

$$\omega_n = \frac{n_n}{9,55}, \quad (1)$$

$M_n$  - номинальный момент, Нм,

$$M_n = \frac{1000 P_n}{\omega_n}, \quad (2)$$

где  $P_n$  - номинальная мощность, кВт;

$\omega_o$  - угловая скорость идеального холостого хода, рад/с,

$$\omega_o = \frac{U_n \cdot \omega_n}{U_n - I_n r_d}, \quad (3)$$

Если внутреннее сопротивление двигателя  $r_d$  не задано, то его ориентировочно определяют по выражению:

$$r_d = 0,5(I - \eta_n) \frac{U_n}{I_n}, \quad (4)$$

Искусственную характеристику можно построить по точкам с координатами:

1)  $\omega=\omega_o$  и  $M=0$  (механическая) или  $I=0$  (скоростная)

2)  $\omega=\omega_u$  и  $M$  (механическая) или  $I$  (скоростная)

где  $\omega_u$  - угловая скорость на искусственной характеристике, соответствующая произвольному значению момента -  $M$ , рад/с или тока -  $I$

$$\omega_u = \omega_o \left(1 - \frac{I R}{U_n}\right), \quad (5)$$

где  $R$  - полное сопротивление якорной цепи, Ом.

$$R = (r_o + R_d), \quad (6)$$

где  $R_o$  - добавочное сопротивление в якорной цепи двигателя, Ом.

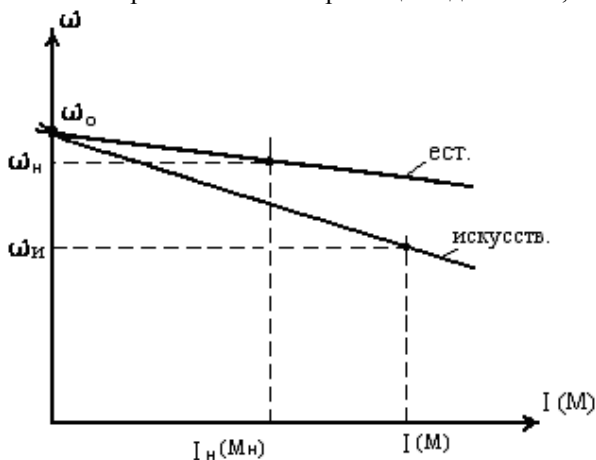


Рисунок - 1

Естественную механическую и скоростную характеристику двигателя постоянного тока последовательного возбуждения строят по данным универсальных характеристик, которые в табличной форме имеют следующий вид:

Таблица 1

$\omega^*$	1,6	1,1	0,8	0,65	0,5
$M^*$	0,3	0,75	1,2	2,0	3,2
$I^*$	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0

Здесь все величины выражаются в относительных единицах. Подобную форму выражения величин используют при расчете характеристик и сопротивлений двигателей как постоянного, так и переменного тока.

Относительные единицы служат для выражения основных размерных величин безразмерными числами, что оказывается целесообразным при расчете пусковых реостатов.

Относительные числа обозначаются так же, как и размерные, но им присваивается индекс \*.

При расчете относительных величин за базовое значение берется номинальное значение величины. Исключение составляет угловая скорость, при расчете относительного значения которой за базовое значение берется угловая скорость идеального холостого хода:

1) относительный ток

$$I^{\bullet} = \frac{I}{I_n}, \quad (7)$$

где  $I$  - текущее значение тока, А;  
 $I_n$  - номинальное значение тока, А.  
 2) относительный момент

$$M^{\bullet} = \frac{M}{M_n}, \quad (8)$$

где  $M$  - текущее значение момента, Нм;  
 $M_n$  - номинальное значение момента, Нм.  
 3) относительное сопротивление

$$R^{\bullet} = \frac{R}{R_n}, \quad (9)$$

где  $R$  - текущее значение сопротивления, Ом;  
 $R_n$  - номинальное значение сопротивления, Ом.  
 - для двигателей постоянного тока

$$R_n = \frac{U_n}{I_n}, \quad (10)$$

- для асинхронных двигателей с фазным ротором

$$R_n = \frac{E_{2n}}{\sqrt{3}I_{2n}}, \quad (11)$$

где  $E_{2n}$  - номинальное значение линейной ЭДС в роторе, В;  
 $I_{2n}$  - номинальный фазный ток в роторе, А.

4) относительная угловая скорость  
 для двигателей параллельного и независимого возбуждения:

$$\omega^{\bullet} = \frac{\omega}{\omega_o}, \quad (12)$$

для двигателей последовательного и смешанного возбуждения:

$$\omega^{\bullet} = \frac{\omega}{\omega_n}, \quad (13)$$

**Построение естественной механической или скоростной характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения производится табличным методом (таблица 2).**

Таблица 2

Естественная характеристика						Искусственная		
$I, A$	$I^*$	$\omega^*$	$\omega, \text{рад/с}$	$M^*$	$M, \text{Нм}$	$E_e, B$	$E_u, B$	$\omega_u, \text{рад/с}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

1. Последовательность решения:

1.1 Задаются значениями тока в якорной цепи (от минимального  $0,4 I_n$  до максимального  $2 I_n$ ) и эти значения вносят в графу 1 таблицы 2.

1.2 От размерных значений токов переходят к относительным значениям по формуле 7 и заполняют графу 2 таблицы 2.

1.3 Пользуясь универсальными кривыми, по относительным значениям  $I^*$  находят относительные значения угловых скоростей  $\omega^*$  и заполняют графу 3 таблицы 2.

1.4 От относительных значений угловых скоростей переходят к размерным значениям по формуле:  $\omega = \omega^* \omega_n$ , и заполняют графу 4 таблицы 2.

1.5 Пользуясь универсальными кривыми, по относительным значениям тока  $I^*$ , находят соответствующие значения моментов  $M^*$  и заполняют графу 5 таблицы 2.

1.6 От относительных значений моментов переходят к размерным по формуле:  $M = M^* M_n$  и заполняют графу 6 таблицы 2.

1.7 Рассчитывается ЭДС машины на естественной характеристике по формуле:

$$E_e = U_n - I r_\partial$$

и заполняется графа 7 таблицы 1.

1.8 Рассчитывается ЭДС машины на искусственной характеристике по формуле:

$$E_u = U_n - I(r_\partial + R_d)$$

и заполняется графа 8 таблицы 1.

1.9 По формуле 14 рассчитываются угловые скорости на искусственной характеристике и заполняется графа 9 таблицы 1.

$$\omega_u = \frac{E_u}{E_e} \omega_e, \quad (14)$$

Если внутреннее сопротивление двигателя последовательного возбуждения  $r_\partial$  не задано, то его ориентировочно рассчитывают по формуле:

$$r_\partial = 0,75(1 - \eta_n) \frac{U_n}{I_n}, \quad (15)$$

По данным граф 1 и 9 строится искусственная скоростная характеристика.

По данным граф 6 и 9 строится искусственная механическая характеристика

**Для асинхронного двигателя с фазным ротором естественная механическая характеристика  $\omega=f(M)$  строится по упрощенной формуле Клосса**

$$M = \frac{2M_{\kappa}}{\frac{s}{s_{\kappa}} + \frac{s_{\kappa}}{s}}, \quad (16)$$

где  $M_{\kappa}$  - критический момент, Нм;

$s_{\kappa}$  - критическое скольжение;

$$s_{\kappa} = s_n (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (17)$$

где  $s_n$  - номинальное скольжение;

$$s_n = \frac{\omega_o - \omega_n}{\omega_o}, \quad (18)$$

где  $\omega_n$  - номинальная угловая скорость, рад/с;

$\omega_o$  - синхронная угловая скорость, рад/с.

$$\omega_o = \frac{2\pi \cdot f}{p}, \quad (19)$$

где  $f$  - частота питающей сети, Гц;

$p$  - число пар полюсов;

$\lambda$  - перегрузочная способность асинхронного двигателя.

$$\lambda = \frac{M_{\kappa}}{M_n}, \quad (20)$$

где  $M_n$  - номинальный момент, Нм;

$$M_n = \frac{1000P_n}{\omega_n}, \quad (21)$$

где  $P_n$  - номинальная мощность, кВт.

Если число пар полюсов  $p$  не задано, то его можно определить из формулы (19), подставив в нее вместо  $\omega_o$  значение  $\omega_n$  и округлив полученное значение до ближайшего целого числа.



Изменяя значение скольжений  $s$  от 1 до 0, по формуле 16 рассчитывают значения момента, а по формуле  $\omega = \omega_0(1 - s)$  рассчитывают значения угловой скорости  $\omega$  и заполняют таблицу 3.

Таблица 3

$s$	1	0,9	...	0
$M$				
$\omega$				
$S_u$				

Для построения искусственной характеристики рассчитывается скольжение  $S_u$  по формуле:

$$S_u = \frac{s_e R_p}{r_p}, \quad (22)$$

где  $R_p = r_p + R_o$  - полное сопротивление роторной цепи, Ом;

$R_o$  - дополнительное сопротивление в цепи ротора, Ом;

$r_p$  - внутреннее сопротивление роторной обмотки, Ом.

$$r_p = s_n R_n, \quad (23)$$

где  $R_n$  - номинальное сопротивление роторной цепи, Ом. (см. формулу 11)

Заполняется последняя графа таблицы 3. Затем по расчетным данным  $S_u$ ,  $M$  (таблица 3) строится искусственная характеристика.

**Вторые задания** вариантов включают в себя задачи по расчету пусковых сопротивлений для двигателей постоянного тока независимого и последовательного возбуждения и для асинхронных двигателей с фазным ротором.

Расчет пусковых сопротивлений для асинхронных двигателей и для двигателей постоянного тока независимого возбуждения может быть произведен аналитическим или графическим методом (в задачах указан метод расчета). Для двигателей постоянного тока последовательного возбуждения используется графоаналитический метод расчета.

Если в условии задачи не указано количество ступеней пускового реостата, считая, что управление двигателем релейно-контакторное (независимо от типа двигателя), можно принять следующее число ступеней:

- для двигателя малой мощности (до 10кВт)  $m=1-2$ ;
- для двигателей средней мощности (до 50кВт)  $m=2-3$ ;
- для двигателя большой мощности (свыше 50кВт)  $m=3-4$ ,

где  $m$  - число ступеней пускового реостата,

Различают нормальный и форсированный пуск.

Форсированный пуск применяют для приводов, часто пускаемых или часто реверсируемых. В этом случае по условию задачи задается пусковой момент, который выбирается из условия:

$$M^*_{\Gamma} < (2-3)$$

Нормальный пуск применяют для приводов, редко пускаемых, но длительно работающих. В этом случае по условию задачи задается переключающий момент  $M_2^*$ , который выбирается из условия

$$M_2^* \geq (1,1 - 1,2) M_c^*,$$

где  $M_c^*$  - относительный статический момент.

#### **Аналитический метод расчета**

Рассмотрим два возможных случая:

а) число ступеней пускового реостата  $m$  задано (например  $m = 3$ ), пуск форсированный, т.е. по условию задачи задан пусковой момент  $M_1^*$

1) рассчитывается отношение пускового момента к переключающему  $\lambda$  по формуле:

$$\lambda = \sqrt[m]{\frac{1}{r_\partial^* M_1^*}}, \quad (24)$$

где  $r_\partial^*$  - внутреннее сопротивление двигателя параллельного или независимого возбуждения в относительных единицах.

$$r_\partial^* = \frac{r_\partial}{R_n}, \quad (25)$$

2) проверяется переключающий момент:

$$M_2^* = \frac{M_1^*}{\lambda}, \quad (26)$$

3) далее по формулам 27, 28, 29 рассчитываются сопротивления отдельных секций пускового реостата  $r_1, r_2, r_3$ . Номер секции пускового реостата указывает на очередность, в которой они шунтируются в процессе пуска двигателя.

$$r_3 = r_\partial (\lambda - 1), \quad (27)$$

$$r_2 = r_3 \lambda, \quad (28)$$

$$r_1 = r_2 \lambda, \quad (29)$$

б) число ступеней пускового реостата  $m$  задано, пуск нормальный, т.е. по условию задачи задан переключающий момент  $M_2^*$ .

1) рассчитывается  $\lambda$  по формуле:

$$\lambda = \sqrt[m+1]{\frac{1}{r_\partial^* M_2^*}}, \quad (30)$$

2) проверяется пусковой момент:

$$M_1^* = M_2^* \lambda, \quad (31)$$

3) далее по формулам 27, 28, 29 рассчитываются сопротивления  $r_1, r_2, r_3$ .

Следует иметь в виду, что:

- для МПТ параллельного (независимого) возбуждения действительны соотношения

$$I_1^* = M_1^*, \quad (32)$$

$$I_2^* = M_2^*, \quad (33)$$

- формулы 27; 28; 29; действительны и для относительных значений величин.

4) Метод расчета пусковых реостатов для асинхронного двигателя аналогичен методу расчета для МПТ параллельного возбуждения. Разница состоит только в том, что в формулу 27 вместо  $r_o$  подставляется  $r_p$ , а в формулу 24 для расчета  $\lambda$  вместо  $r_o^*$  подставляется номинальное скольжение  $s_n$ .

**Графический метод расчета** базируется на следующих положениях:

1. Механические характеристики линейны и пересекаются в одной точке  $\omega_o$

2. На линии номинального момента относительный перепад угловой скорости  $\Delta\omega^*$  численно равен относительному сопротивлению в якорной цепи  $R^*$ :

$$\Delta\omega^* = R^*, \quad (34)$$

Построение пусковой диаграммы начинается с построения естественной характеристики по точкам с координатами:

$$1) \Delta\omega^* = r_o^*, M^* = I;$$

$$2) \omega^* = I, M^* = 0;$$

Задача состоит в том, чтобы, при принятых или заданных пусковом и переключающем моментах, через заданное число ступеней выйти на построенную естественную характеристику.

Если построение не получилось, то его производят заново, меняя в допустимых пределах тот момент, который был взят приблизительно.

На построенной пусковой диаграмме, на линии номинального момента, измеряются отрезки между смежными характеристиками. Это и есть сопротивления отдельных секций пускового реостата в относительных единицах. От относительных единиц переходят к размерным по формуле:

$$R = R^* R_n, \quad (35)$$

При расчете пускового реостата для асинхронного двигателя следует учитывать, что механические и скоростные характеристики двигателя прямолинейны и момент пропорционален току ротора при условии:

$$M_{I^*} \leq 0,75 M_{K^*}, \quad (36)$$

**Расчет пусковых реостатов для двигателя постоянного тока последовательного возбуждения** производится в следующей последовательности:

1. По универсальным характеристикам строится естественная скоростная характеристика и на оси абсцисс откладываются значения пускового тока -  $I_1$  и тока переключения -  $I_2$  (рисунок - 2);

2. Определяется общее сопротивление пускового реостата

$$R_1 = (1 - \omega_u / \omega_{e1}) * (U_n / I_1 - r_o) \quad (37)$$

Где  $\omega_u = 0$  (в момент пуска) и  $r_o$  определяется из (15)

3. Определяется значение  $\omega_{u1}$  при  $I = I_2$  по формуле:

$$\omega_u / \omega_{e2} = (U_n - I_2(r_o + R_1)) / (U_n - I_2 r_o) \quad (38)$$

4. По формуле (37), подставив  $\omega_u = \omega_{u1}$  определяется сопротивление пускового реостата  $R_2$  (после отключения первой секции)

5. По формуле (38) определяется  $\omega_{u2}$  и т. д., вплоть до выхода на естественную характеристику. Если построение не получилось, то его производят заново, меняя в небольших пределах то значение тока, которое было взято приблизительно.

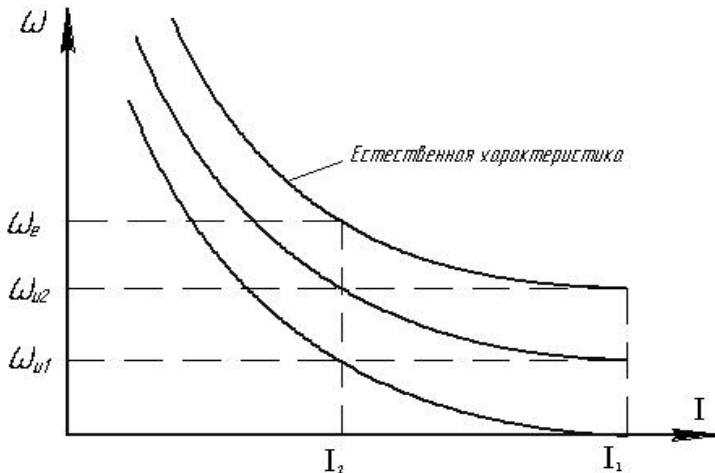


Рисунок 2

**Третье задание** - расчет мощностей двигателей для механизмов, работающих в длительном и повторно-кратковременном режимах.

Нагрузочные диаграммы представлены в виде зависимости мощности двигателя, тока или вращающего момента от времени.

При расчетах используется метод эквивалентных величин ( $I_{экв}$ ,  $M_{экв}$ ,  $P_{экв}$ ). В задачах, где графики нагрузки включают в себя участки трапецевидной или треугольной формы, каждый из таких участков заменяется, эк-

вивалентным по потерям мощности, участком с постоянной величиной  $I$ ,  $M$  или  $P$ .

Для трапеции с начальным током  $I_1$  и конечным  $I_2$ :

$$I_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_1 I_2 + I_2^2}{3}}, \quad (39)$$

Для треугольника с начальным током  $I_2$  и конечным, равным нулю:

$$I_{\text{экв}} = \frac{I_2}{\sqrt{3}}, \quad (40)$$

После сделанных пересчетов можно использовать одну из формул эквивалентных величин.

Эквивалентный ток:

$$I_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + \dots + I_n^2 t_n}{t_1 + \dots + t_n}}, \quad (41)$$

где  $I_1 \dots I_n$  - токи на отдельных участках нагрузочной диаграммы, А;  
 $t_1 \dots t_n$  время действия этих токов по отдельным участкам нагрузочной диаграммы включая и паузы в работе двигателя,

Методом эквивалентного момента и эквивалентной мощности можно пользоваться при условии постоянства магнитного потока машины, а расчетные формулы выглядят так:

Эквивалентный момент:

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + \dots + t_n}}, \quad (42)$$

где  $M_1 \dots M_n$  - моменты на отдельных участках нагрузочной диаграммы, Нм.

Эквивалентная мощность:

$$P_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + \dots + t_n}}, \quad (43)$$

где  $P_1 \dots P_n$  - мощности на отдельных участках нагрузочной диаграммы, кВт.

**Четвертое и пятое задания** теоретические, предполагают глубокий анализ литературных источников по предлагаемой тематике.

**Шестое задание** - расчетное задание произвольной тематики.

Выбор условий для всех шести заданий осуществляется согласно варианта студента в соответствии с таблицей 4, вариант соответствует порядковому номеру студента в списке группы. Всего предусмотрено 60 возможных вариантов. В случае одновременного обучения на одном курсе двух групп одного направления, распределение вариантов заданий осуществляется следующим образом: с 1 по 30 варианты распределяются среди студентов одной из групп, остальные с 31 по 60 среди второй группы. Либо по согласованию с ведущим преподавателем данной дисциплины.

Таблица 4

Варианты	Порядковый номер условия задания					
	Задание 1	Задание 2	Задание 3	Задание 4	Задание 5	Задание 6
1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10	10
11	1	1	1	2	2	2
12	2	2	2	3	3	3
13	3	3	3	4	4	4
14	4	4	4	5	5	5
15	5	5	5	6	6	6
16	6	6	6	7	7	7
17	7	7	7	8	8	8
18	8	8	8	9	9	9
19	9	9	9	10	10	10
20	10	10	10	1	1	1
21	1	1	2	2	2	2
22	2	2	3	3	3	3
23	3	3	4	4	4	4
24	4	4	5	5	5	5
25	5	5	6	6	6	6
26	6	6	7	7	7	7
27	7	7	8	8	8	8
28	8	8	9	9	9	9
29	9	9	10	10	10	10
30	1	1	1	1	2	2
31	2	2	2	2	3	3
32	3	3	3	3	4	4
33	4	4	4	4	5	5
34	5	5	5	5	6	6
35	6	6	6	6	7	7
36	7	7	7	7	8	8
37	8	8	8	8	9	9
38	9	9	9	9	10	10
39	10	10	10	10	1	1
40	1	2	2	2	2	2
41	2	3	3	3	3	3
42	3	4	4	4	4	4
43	4	5	5	5	5	5
44	5	6	6	6	6	6
45	6	7	7	7	7	7
46	7	8	8	8	8	8
47	8	9	9	9	9	9
48	9	10	10	10	10	10
49	10	1	1	1	1	1
50	1	1	1	1	1	2
51	2	2	2	2	2	3
52	3	3	3	3	3	4
53	4	4	4	4	4	5
54	5	5	5	5	5	6
55	6	6	6	6	6	7
56	7	7	7	7	7	8
57	8	8	8	8	8	9
58	9	9	9	9	9	10
59	10	10	10	10	10	1
60	1	2	3	4	5	6

## 2. СПИСОК УСЛОВИЙ ДЛЯ ЗАДАНИЙ

### 2.1. Условия для задания №1

1. Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения, имеющего  $\omega_n = 78,53$  рад/с,  $I_A = 3,0$  А,  $U_n = 220$  В,  $\eta_n = 0,62$ , определить добавочное сопротивление цепи якоря, при котором двигатель будет вращаться с установившейся скоростью  $\omega_c = 63$  рад/с при моменте статического сопротивления  $M_c^* = 0,8$ .

Построить естественную и искусственную механические характеристики  $\omega^* = f(M^*)$ .

2. Построить естественную характеристику  $\omega = f(M)$  для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего данные:  $P_n = 30$  кВт,  $n_n = 935$  мин<sup>-1</sup>,  $M_{кр}/M_n = 2,5$ .

3. С помощью универсальных характеристик построить естественную механическую и скоростную характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего данные:  $P_n = 18$  кВт,  $n_n = 960$  мин<sup>-1</sup>,  $I_n = 98$  А.

4. Построить естественную механическую характеристику  $\omega = f(M)$  для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего данные:  $P_n = 15$  кВт,  $n_n = 710$  мин<sup>-1</sup>,  $M_{кр}/M_n = 3$ .

5. Построить естественную и искусственную механические характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения, имеющего следующие данные:  $P_n = 12,0$  кВт,  $U_n = 220$  В,  $\omega_n = 142$  рад/с,  $\eta_n = 84\%$ .

Добавочное сопротивление в цепи якоря для получения искусственной характеристики  $R_d = 0,6$  Ом.

6. Построить естественную и искусственную скоростные характеристики двигателя постоянного тока последовательного возбуждения, имеющего следующие данные:  $P_n = 17$  кВт,  $U_n = 220$  В,  $\omega_n = 64,4$  рад/с,  $\eta_n = 0,8$ ,  $R_d = 0,2$  Ом.

Универсальная характеристика задана таблицей:

$I_A^*$	0,4	0,8	1,6	2	2,4
$\omega^*$	1,6	1,1	0,85	0,70	0,65

Построение произвести в размерных единицах.

7. Для двигателя постоянного тока параллельного возбуждения определить, с какой угловой скоростью будет работать двигатель при номинальном токе якоря, если  $R_{доо} = 1,5$  Ом,  $I_n = 19$  А,  $U_n = 440$  В,  $\omega_n = 91,6$  рад/с,  $r_d = 1,97$ .

Построить естественную и искусственную характеристики  $\omega = f(I)$ .

8. Определить какой момент  $M_c^*$  разовьет двигатель параллельного возбуждения, если при добавочном сопротивлении якорной цепи  $R_d = 1,2$  Ом он работает со скоростью  $\omega_c = 68$  рад/с. Двигатель имеет следующие данные:  $P_n = 15$  кВт,  $U_n = 440$  В,  $\omega_n = 74,3$  рад/с,  $\eta_n = 85\%$ .

Результат получить в относительной форме и построить естественную и искусственную характеристики  $\omega^* = f(M)^*$ .

9. Построить естественную и искусственную механические характеристики  $\omega = f(M)$  для асинхронного двигателя, имеющего данные:  $P_n = 11$  кВт,  $I_n = 41$  А,  $E_{2n} = 179$  В,  $\omega_n = 95,3$  рад/с,  $M_{кр}/M_n = 2,5$ . Добавочное сопротивление в цепи ротора для получения искусственной характеристики  $R_\delta = 0,1$  Ом.

10. Пользуясь универсальными характеристиками двигателя последовательного возбуждения построить естественную и искусственную скоростные характеристики  $\omega = f(I)$ .

Данные двигателя:  $P_n = 16$  кВт,  $I_n = 89$  А,  $\omega_n = 68$  рад/с,  $\eta_n = 81\%$ ,  $U_n = 220$  В.

Добавочное сопротивление в цепи якоря  $R_\delta = 0,4$  Ом. Построение произвести в размерных единицах.

## 2.2. Условия для задания №2

1. Для асинхронного двигателя, имеющего  $P_n = 7,5$  кВт,  $\omega_n = 97,9$  рад/с,  $E_{2n} = 242$  В,  $I_{2n} = 20,7$  А, рассчитать аналитически сопротивление отдельных секций пускового реостата и полное сопротивление роторной цепи на отдельных ступенях пуска, считая  $M_2^* = 1,2$

2. Для двигателя постоянного тока независимого возбуждения рассчитать графически сопротивления отдельных секций пускового трехступенчатого реостата, если  $P_n = 13$  кВт,  $U_n = 220$  В,  $\omega_n = 221,98$  рад/с,  $M_1^* = 2$ ,  $\eta_n = 0,86$ .

3. Асинхронный двигатель с фазным ротором имеет следующие данные:  $P_n = 45$  кВт,  $E_{2n} = 181$  В,  $I_{2n} = 146$  А,  $\omega_n = 60,31$  рад/с. Для данного двигателя рассчитать аналитически сопротивления отдельных секций пускового реостата и полные сопротивления роторной цепи на отдельных ступенях пуска, если ток переключения  $I_2^* = 1,1$

4. Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения имеет следующие данные:  $P_n = 17$  кВт,  $\omega_n = 124$  рад/с,  $U_n = 440$  В,  $\eta_n = 86\%$ , ток переключения  $I_2^* = 1,15$ .

Рассчитать, графически сопротивления отдельных секций пускового трехступенчатого реостата.

5. Асинхронный двигатель имеет следующие данные:  $P_n = 11$  кВт,  $E_{2n} = 185$  В,  $I_{2n} = 39$  А,  $\omega_n = 74$  рад/с. Для данного двигателя рассчитать аналитически сопротивления отдельных секций пускового трехступенчатого реостата и полное сопротивление роторной цепи на отдельных ступенях пуска, если  $M_1^* = 1,5$ .

6. Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения имеет следующие данные:  $P_n = 12$  кВт,  $U_n = 220$  В,  $\omega_n = 142$  рад/с,  $\eta_n = 84\%$ . Рассчитать аналитически сопротивления отдельных секций пускового реостата



и полное сопротивление якорной цепи, если  $M_I^* = 2,2$ ; число пусковых ступеней – как можно меньше.

7. Определить число пусковых ступеней -  $m$  и величину сопротивления каждой ступени двигателя постоянного тока последовательного возбуждения при условии, что  $I_I^* = 2,5$ ,  $I_2 = 250$  А. Данные двигателя:  $P_n = 33$  кВт,  $U_n = 220$ В,  $\eta_n = 0,85$ .

Естественная характеристика двигателя задана таблицей:

$I$ , А	70	105	140	175	263	350	525
$\omega$ , рад/с	115	86	74	66	53	49	40

8. Определить число пусковых ступеней  $m$  и величину сопротивления каждой ступени двигателя постоянного тока последовательного возбуждения при условии, что  $I_I^* = 2$ ,  $I_2^* = 1,35$ . Данные двигателя:  $P_n = 16$  кВт,  $U_n = 220$ В,  $\eta_n = 0,81$ ,  $I_H = 89$  А,  $\omega_n = 68$  рад/с.

Данные универсальной характеристики:

$I^*$	0,4	0,6	1	1,4	1,8	2	2,4
$\Omega^*$	1,6	1,2	1	0,85	0,75	0,7	0,65

9. Рассчитать аналитически сопротивления отдельных секций пускового реостата для двигателя постоянного тока параллельного возбуждения, имеющего данные:  $P_n = 32$  кВт,  $U_n = 440$  В,  $\omega_n = 142$  рад/с,  $\eta_n = 88\%$ , число пусковых ступеней  $m = 3$ , ток переключения  $I_2^* = 1,2$

10. Для асинхронного двигателя с фазным ротором, имеющего данные:  $P_n = 30$  кВт,  $E_{2n} = 235$  В,  $I_{2n} = 73$  А,  $\omega_n = 98$  рад/с, рассчитать аналитически сопротивления отдельных секций пускового реостата и полное сопротивление роторной цепи на отдельных ступенях пуска. Пуск форсированный при  $M_I^* = 1,8$ .

### 2.3. Условия для задания № 3

1. Определить мощность двигателя, работающего по графику:

$$M_1 = 60 \text{ Нм}$$

$$t_1 = 5 \text{ с.}$$

$$M_2 = 35 \text{ Нм}$$

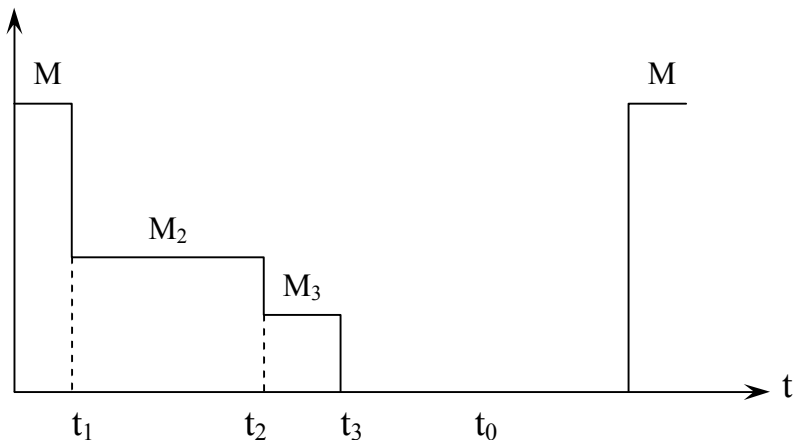
$$t_2 = 18 \text{ с.}$$

$$M_3 = 25 \text{ Нм}$$

$$t_3 = 15 \text{ с.}$$

$$t_0 = 33 \text{ с.}$$

$$n = 730 \text{ мин}^{-1}$$



2. Определить мощность двигателя, работающего по графику:

$$M_1 = 90 \text{ Нм}$$

$$t_1 = 10 \text{ с}$$

$$M_2 = 46 \text{ Нм}$$

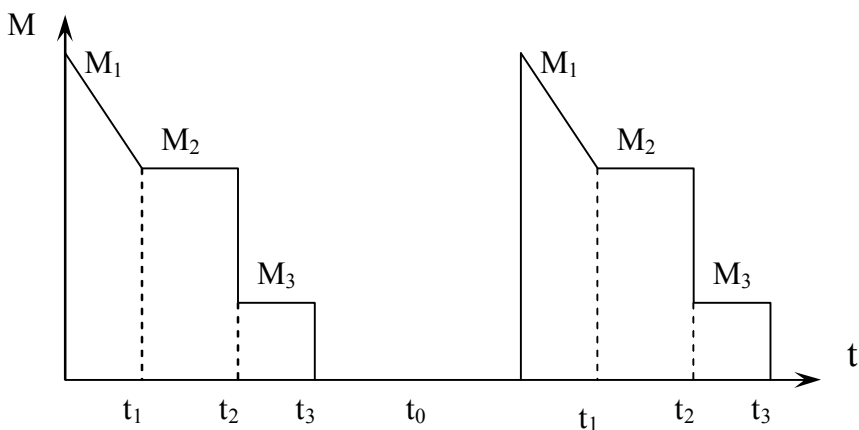
$$t_2 = 16 \text{ с}$$

$$M_3 = 20 \text{ Нм}$$

$$t_3 = 8 \text{ с}$$

$$\omega = 63 \text{ рад/с}$$

$$t_0 = 130 \text{ с}$$



3. Определить мощность двигателя, работающего по графику:

$$M_1 = 40 \text{ Нм}$$

$$t_1 = 10 \text{ с}$$

$$M_2 = 38 \text{ Нм}$$

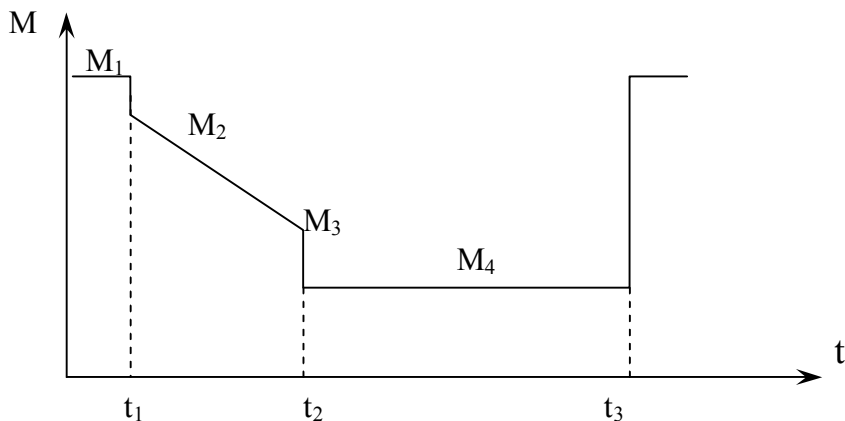
$$t_2 = 30 \text{ с}$$

$$M_3 = 17 \text{ Нм}$$

$$t_3 = 46 \text{ с}$$

$$M_4 = 8 \text{ Нм}$$

$$n = 720 \text{ мин}^{-1}$$



4. Определить мощность двигателя, работающего по графику:

$$I_1 = 50 \text{ А}$$

$$t_1 = 4 \text{ с}$$

$$I_2 = 32 \text{ А}$$

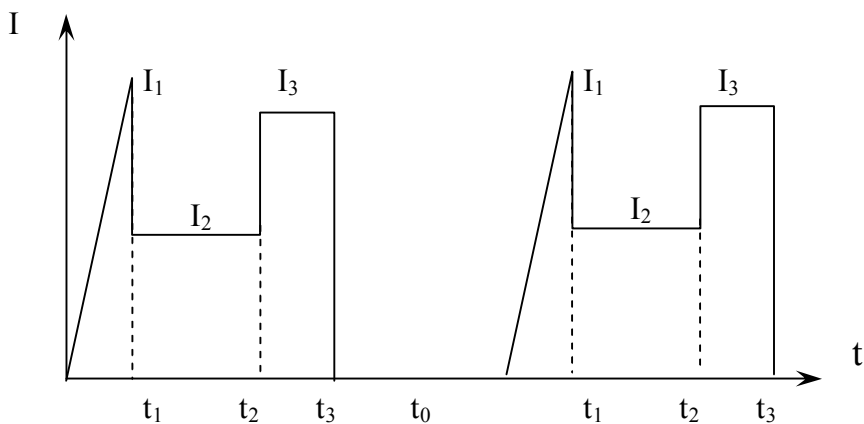
$$t_2 = 12 \text{ с}$$

$$I_3 = 46 \text{ А}$$

$$t_3 = 5 \text{ с}$$

$$U_n = 220 \text{ В}$$

$$t_0 = 36 \text{ с}$$



5. Определить мощность двигателя, работающего по графику:

$$M_1 = 140 \text{ Нм}$$

$$t_1 = 14 \text{ с}$$

$$t_0 = 19 \text{ с}$$

$$M_2 = 210 \text{ Нм}$$

$$t_0 = 2 \text{ с}$$

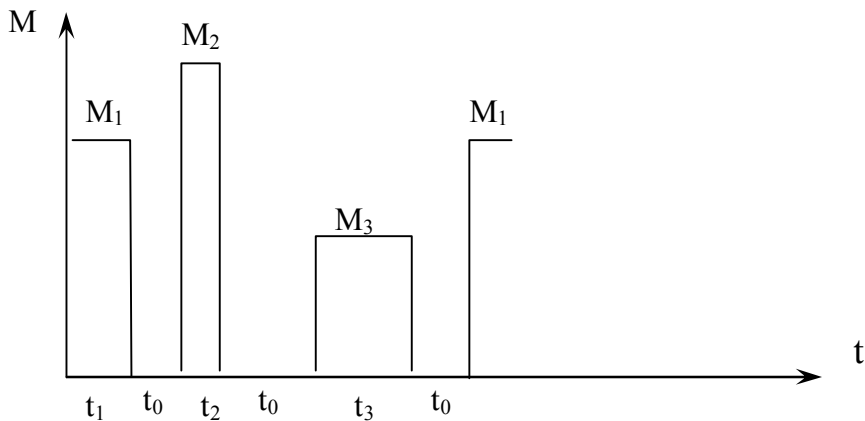
$$t_3 = 23 \text{ с}$$

$$M_3 = 95 \text{ Нм}$$

$$t_2 = 3 \text{ с}$$

$$t_0 = 12 \text{ с}$$

$$n = 665 \text{ мин}^{-1}$$



6. Определить мощность двигателя, работающего по графику:

$$I_1 = 35 \text{ А}$$

$$t_1 = 3 \text{ с}$$

$$t_4 = 15 \text{ с}$$

$$I_2 = 17 \text{ А}$$

$$t_2 = 20 \text{ с}$$

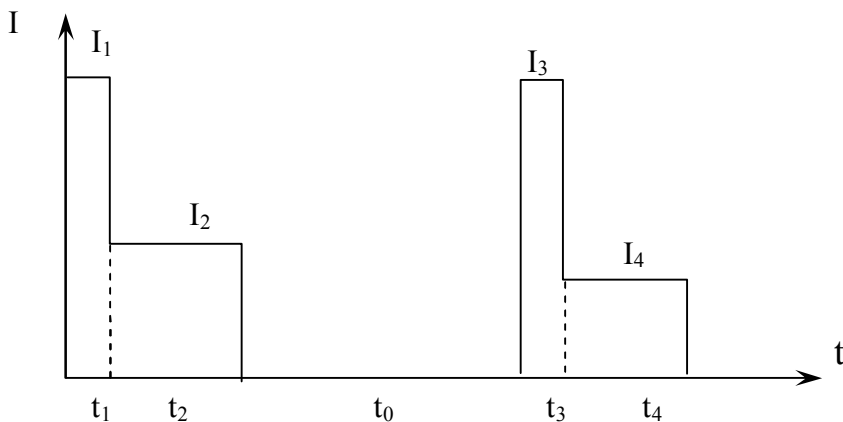
$$U_H = 220 \text{ В}$$

$$I_3 = 35 \text{ А}$$

$$t_0 = 37 \text{ с}$$

$$I_4 = 13 \text{ А}$$

$$t_3 = 2 \text{ с}$$



7. Определить мощность двигателя, работающего по графику:

$$P_1 = 21 \text{ кВт}$$

$$t_1 = 16 \text{ с}$$

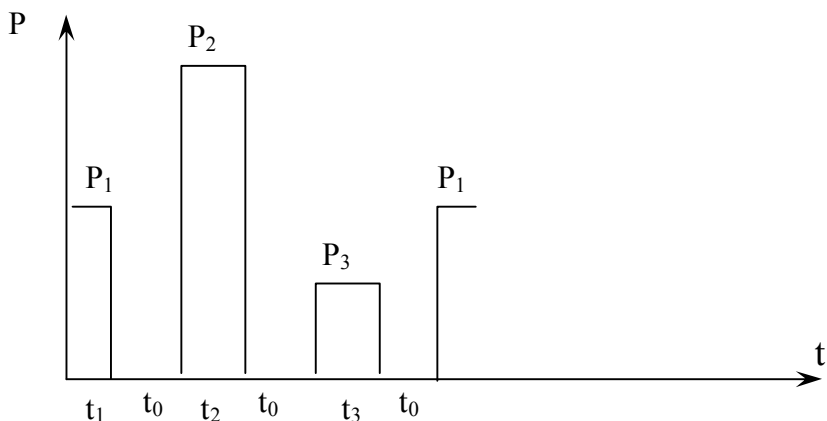
$$t_3 = 15 \text{ с}$$

$$P_2 = 39 \text{ кВт}$$

$$t_2 = 25 \text{ с}$$

$$t_0 = 20 \text{ с}$$

$$P_3 = 7 \text{ кВт}$$



8. Определить мощность двигателя, работающего по графику:

$$M_1 = 160 \text{ Нм}$$

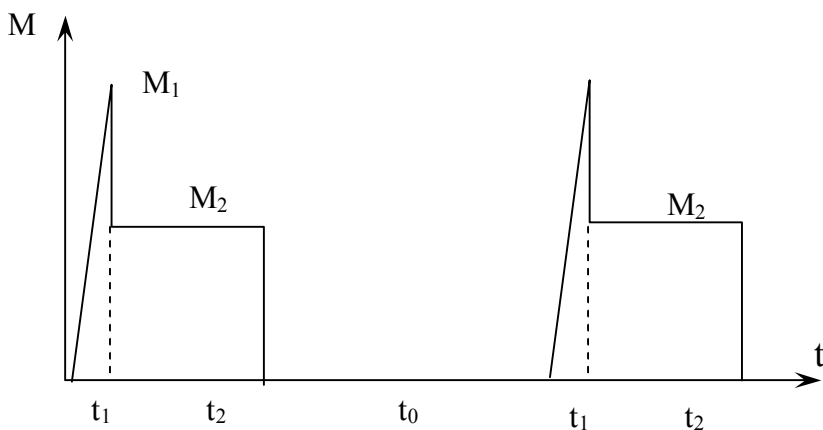
$$t_1 = 5 \text{ с}$$

$$M_2 = 100 \text{ Нм}$$

$$t_2 = 40 \text{ с}$$

$$n = 720 \text{ мин}^{-1}$$

$$t_0 = 100 \text{ с}$$



9. Определить мощность двигателя, работающего по графику:

$$I_1 = 80 \text{ A}$$

$$t_1 = 9 \text{ c}$$

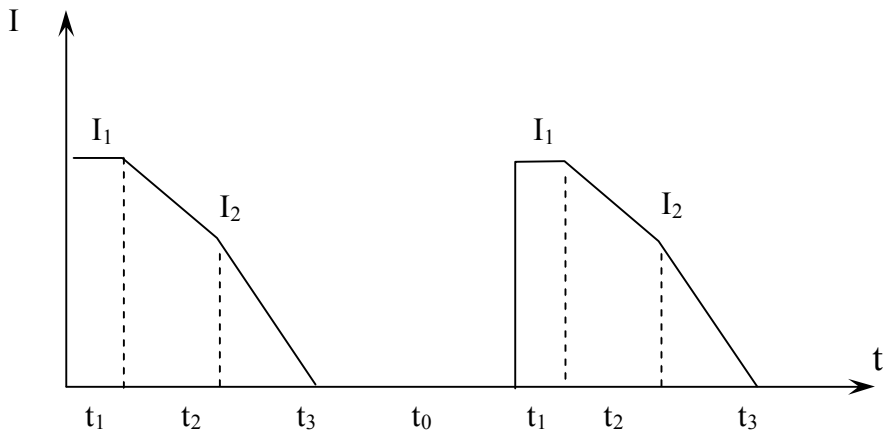
$$I_2 = 35 \text{ A}$$

$$t_2 = 12 \text{ c}$$

$$U_H = 220 \text{ В}$$

$$t_3 = 6 \text{ c}$$

$$t_0 = 150 \text{ c}$$



10. Определить мощность двигателя, работающего по графику:

$$P_1 = 16 \text{ кВт}$$

$$P_4 = 10 \text{ кВт}$$

$$t_1 = 10 \text{ c}$$

$$P_2 = 8 \text{ кВт}$$

$$P_5 = 9 \text{ кВт}$$

$$t_2 = 6 \text{ c}$$

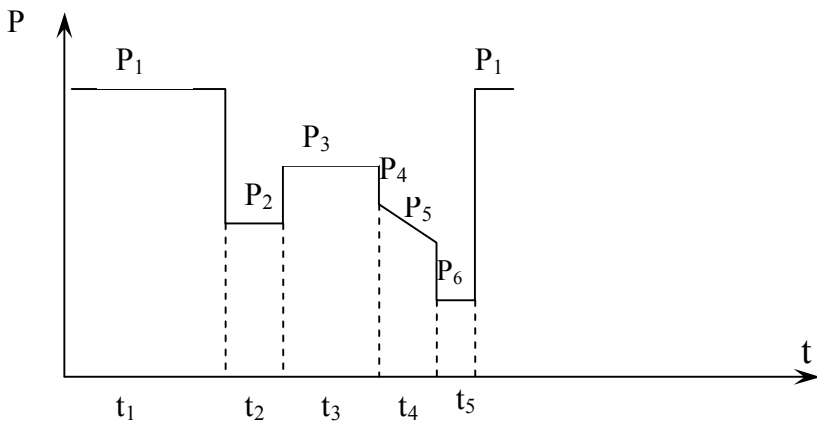
$$P_3 = 12 \text{ кВт}$$

$$P_6 = 6 \text{ кВт}$$

$$t_3 = 8 \text{ c}$$

$$t_4 = 5 \text{ c}$$

$$t_5 = 3 \text{ c}$$



#### **2.4. Условия для задания № 4**

1. Регулирование частоты вращения двигателя независимого возбуждения в системе Г-Д (привести схему).
2. Регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока независимого возбуждения в системе УВ-Д.
3. Регулирование частоты вращения электроприводов. Общие понятия о регулировании частоты вращения. Достоинства и недостатки систем Г-Д и УВ-Д.
4. Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока путем изменения сопротивления в якорной цепи.
5. Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока посредством изменения потока возбуждения.
6. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей путем изменения числа пар полюсов.
7. Способы регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока последовательного возбуждения.
8. Регулирование частоты вращения асинхронного двигателя посредством изменения сопротивления роторной цепи.
9. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей путем изменения частоты питающего напряжения.
10. Регулирование частоты вращения двигателя постоянного тока изменением подводимого к якору напряжения.

#### **2.5. Условия для задания № 5**

1. Начертить возможные узлы схем включения реле времени при управлении электроприводом в функции времени. Пояснить работу схем.
2. Начертить узлы схем силовой электрической цепи для динамического торможения и торможения противовключением двигателей постоянного и переменного тока. Пояснить схемы.
3. Начертить схему прямого пуска синхронного двигателя низкого напряжения. Пояснить работу схемы.
4. Начертить схему управления двигателем постоянного тока параллельного возбуждения с динамическим торможением. Пояснить работу схемы.
5. Начертить узлы схем силовой цепи двигателей, предусмотрев в них максимальную токовую защиту; защиту от перегрузки. Пояснить схемы.
6. Начертить узлы схем, включающие элементы защиты двигателей от самозапуска; защиты при обрыве цепи возбуждения двигателей постоянного тока и синхронного.

7. Начертить схему управления асинхронным двигателем (или двигателем постоянного тока) в функции тока. Описать работу схемы.

8. Начертить реверсивную схему управления двигателем постоянного тока последовательного возбуждения с торможением противовключением. Пояснить работу схемы.

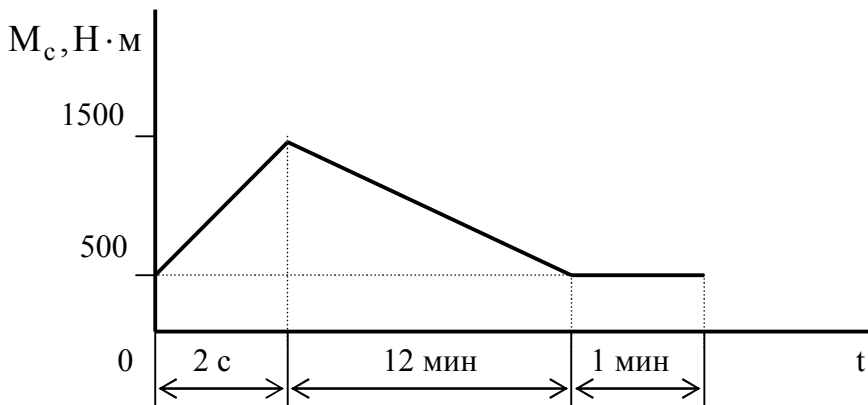
9. Начертить схему управления двигателем постоянного тока с использованием управляющего командоконтроллера. Пояснить работу схемы.

10. Начертить схему управления двухскоростным асинхронным двигателем. Пояснить работу схемы.

### 2.6. Условия для задания № 6

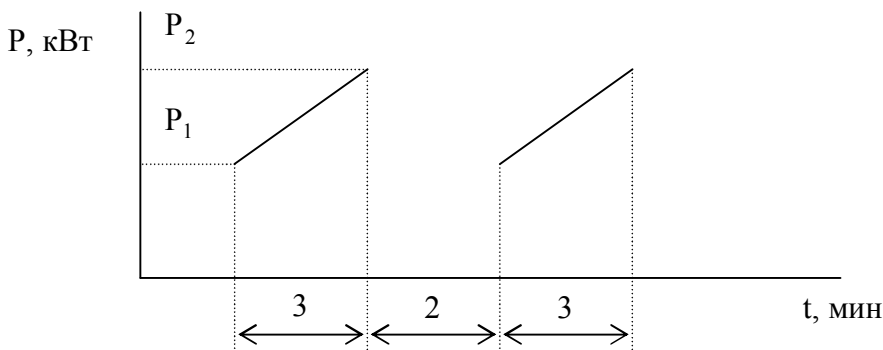
1. Рассчитать и выбрать автоматический выключатель с электромагнитным расцепителем и магнитный пускатель для двигателя 4А90Л6У3 ( $P_H = 1,5 \text{ кВт}$ ;  $\eta_H = 75\%$ ;  $\cos\varphi_H = 0,74$ ;  $I_{\text{пуск}}/I_H = 5,5$ ).

2. Рассчитать момент двигателя, необходимый для привода навозоуборочного транспортера кругового движения, нагрузочная диаграмма которого дана на валу рабочей машины.  $\eta_p = 0,95$ ;  $i_p = 70$ .

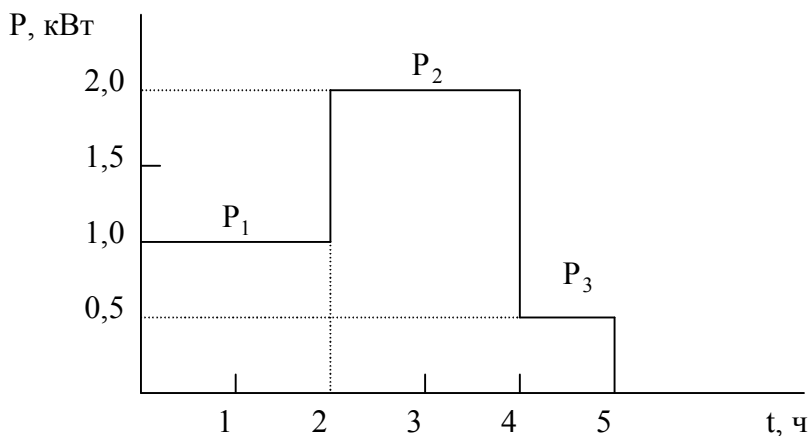


3. Рассчитать мощность двигателя центробежного насоса водоснабжающей установки, нагрузочная диаграмма которого дана:  $P_1 = 1,5 \text{ кВт}$ ;  $P_2 = 2,0 \text{ кВт}$ .





4. Рассчитать мощность двигателя рабочей машины, нагрузочная диаграмма которой приведена. Рабочая скорость агрегата 900 об/мин.  
 $P_1 = 1 \text{ кВт}$ ;  $P_2 = 2 \text{ кВт}$ ;  $P_3 = 0,5 \text{ кВт}$ .



5. Асинхронный двигатель с номинальным напряжением 380/660В пускается в работу при соединении обмоток в “звезду” и напряжении сети 380В. Запустится ли агрегат в работу, если  $M_{\text{трог}} = 0,75M_n$ , а  $m_{\text{пн}} = 2,0$ ?

6. Асинхронный двигатель транспортера при пуске преодолевает момент трогания, равный  $1,3M_n$ . Запустится ли двигатель в работу при понижении напряжения сети на 10% от номинального, если  $m_{\text{пн}} = 2,0$ ?

7. Асинхронный двигатель 4А132М4У3 пускается в работу с моментом трогания, равным номинальному. Запустится ли агрегат, если в сети напряжение понижается на 30%, а  $m_{\pi} = 2,0$  ?

8. Асинхронный двигатель ( $P_n = 3,0 \text{ кВт}$ ;  $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$ ) центробежного вентилятора вышел из строя. Какой мощности двигатель нужно установить, если скорость нового двигателя будет больше на 25% ?

9. Электрический двигатель ( $P_n = 3,0 \text{ кВт}$ ;  $n_0 = 1000 \text{ об/мин}$ ) ленточного транспортера загружен до номинального момента. Необходимо определить номинальную мощность нового двигателя при повышении скорости на 35%.

10. Рассчитать и выбрать мощность двигателя для скребкового транспортера, работающего продолжительно с постоянной нагрузкой, если скорость цепи  $V_{\text{тр}} = 0,2 \text{ м/с}$ ; необходимое усилие для перемещения цепи  $F = 5000$ ;  $\eta_{\text{ред}} = 0,9$ ;  $i_p = 10$ . Пускается на холостом ходу.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цейтлин Л.С. Электропривод, электрооборудование и основы управления. - М.: Высшая школа, 1985.
2. Москаленко В.В. Электрический привод. - М.: Высшая школа, 1984.
3. Васин В.М. Электрический привод. - М.: Высшая школа, 1984.
4. Хализев Г.П. Электрический привод. - М.: Высшая школа, 1977.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ .....	4
2. СПИСОК УСЛОВИЙ ДЛЯ ЗАДАНИЙ .....	15
2.1. Условия для задания №1 .....	15
2.2. Условия для задания №2 .....	16
2.3. Условия для задания №3 .....	18
2.4. Условия для задания №4 .....	23
2.5. Условия для задания №5 .....	23
2.6. Условия для задания №6 .....	24
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	26

Составители:  
Кузнецов Андрей Юрьевич  
Основич Виктор Леонидович  
Никонов Сергей Александрович  
Болотов Денис Сергеевич

## **АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД**

Методические указания  
и задания к расчётно-графической работе для студентов  
заочной формы обучения

Редактор М.Г. Девищенко  
Компьютерная верстка В. Н. Зенина

Подписано к печати 2018 г.

Объем 1,8 уч.-изд.л., усл. печ. л. 1.8 Формат 60×84<sup>1/16</sup>

Тираж 100 экз. Изд. № \_\_ Заказ № \_\_

---

Отпечатано в Издательском центре НГАУ «Золотой колос»  
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, кааб. 106.  
Тел./факс (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru