

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
МАШИН И УСТАНОВОК
ГОРНОГО ПРИЗВОДСТВА
МЕХАНИКА И ЭНЕРГЕТИКА
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра электроэнергетики и электромеханики

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
МАШИН И УСТАНОВОК
ГОРНОГО ПРИЗВОДСТВА
МЕХАНИКА И ЭНЕРГЕТИКА
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов специальности 21.05.04*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2019

УДК 621.31 (073)

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД МАШИН И УСТАНОВОК ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА. Механика и энергетика автоматизированного электропривода: Методические указания к самостоятельной работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *Б.Ю. Васильев, Ю.Л. Жуковский*. СПб, 2019. 56 с.

Рассмотрены три типа основных задач по механике и энергетике автоматизированного электропривода. Представлен расчет приведенных сил и моментов, масс и моментов инерции электропривода с барабаном и редуктором (на примере электропривода клетевой шахтной подъемной установки), установившегося режима работы электропривода (на примере электропривода водоотливной установки) и скоростной и нагрузочной диаграммы электропривода (на примере электропривода мотор-колес карьерного самосвала). Представлен расчет энергетических характеристик асинхронных электроприводов с реостатным, параметрическим и частотным регулированием.

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Электрификация и автоматизация горного производства», а также могут быть полезны для студентов других направлений подготовки при выполнении самостоятельных, практических и выпускных квалификационных работ.

Научный руководитель проф. *В.А. Шпенст*

Рецензент А.И. Ивановский (АО «Новая ЭРА»)

1. ПРИВЕДЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ПЕРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С БАРАБАНОМ И РЕДУКТОРОМ

1.1. Расчет приведенных величин электропривода с барабаном и редуктором

Для расчета приведенных сил и моментов, масс и моментов инерции электропривода с барабаном и редуктором на примере электропривода клетевой подъемной установки необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. Построить кинематическую схему;
2. Рассчитать приведенный момент инерции;
3. Рассчитать приведенный момент;

Исходные данные для расчета сил и моментов, масс и моментов инерции электропривода с барабаном и редуктором:

– номинальная мощность	$P_{\text{ном}} = 17,5 \text{ кВт}$
– номинальная скорость	$n_{\text{ном}} = 1440 \text{ об/мин}$
– момент инерции двигателя	$J = 0,1 \text{ кгм}^2$
– масса груза	$m_1 = 500 \text{ кг}$
– масса клетки	$m_2 = 50 \text{ кг}$
– скорость подъема клетки	$0,5 \text{ м/сек}$
– радиус приведения барабана	$\rho_b = 0,02$
– коэффициент полезного действия барабана	$\eta_b = 0,98$
– момент инерции барабана	$J_b = 2,5 \text{ кгм}^2$
– коэффициент полезного действия первой ступени	$\eta_1 = 0,99$
– коэффициент полезного действия второй ступени	$\eta_2 = 0,98$
– коэффициент полезного действия третьей ступени	$\eta_3 = 0,97$
– передаточное число первой ступени	$i_1 = 4$
– передаточное число второй ступени	$i_2 = 3$
– передаточное число третьей ступени	$i_3 = 2$
– момент инерции первого вала	$J_1 = 0,01 \text{ кгм}^2$
– момент инерции второго вала	$J_2 = 0,02 \text{ кгм}^2$
– момент инерции третьего вала	$J_3 = 0,03 \text{ кгм}^2$
– момент инерции четвертого вала	$J_4 = 0,04 \text{ кгм}^2$

Функциональная схема автоматизированного электропривода клетевой подъемной установки представлена на рис. 1.1.

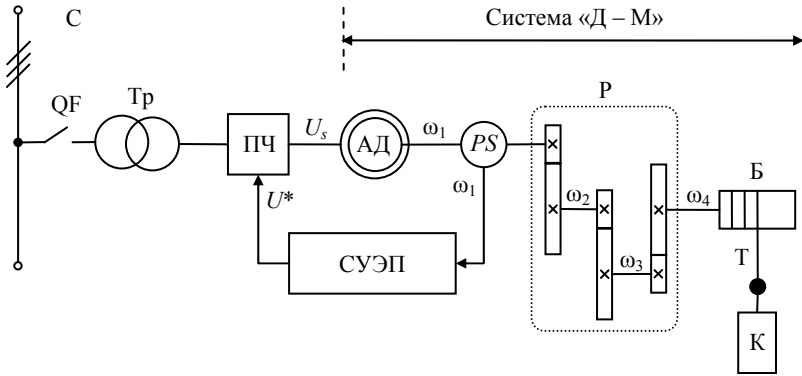


Рис. 1.1. Функциональная схема электропривода клетевой подъемной установки (С – сеть; Тр – трансформатор; ПЧ – преобразователь частоты; СУЭП – система управления электропривода; Р – редуктор; Б – барабан; Т – трос; К – клеть)

Построение кинематической схемы электропривода

Кинематическая схема электропривода клетевой подъемной установки представлена на рис. 1.2.

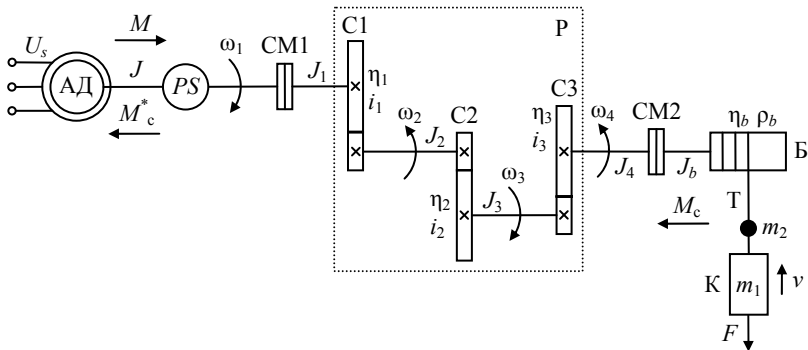


Рис. 1.2. Кинематическая схема электропривода клетевой подъемной установки

На рис. 1.2 приняты следующие обозначения:

- U_s – напряжение статора асинхронного двигателя;
- M – момент асинхронного двигателя;
- M_c – момент нагрузки асинхронного двигателя;
- M_c^* – приведенный момент нагрузки асинхронного двигателя;
- ω_1 – частота вращения вала асинхронного двигателя;
- ω_2 – частота вращения первого вала редуктора;
- ω_3 – частота вращения второго вала редуктора;
- ω_4 – частота вращения барабана;
- F – сила, действующая на клеть;
- $J, J_1, J_2, J_3, J_4, J_b$ – момент инерции асинхронного двигателя, валов редуктора и барабана.

Расчет приведенного момента инерции электропривода с редуктором и барабаном

Определим передаточное число редуктора

$$i_r = i_1 i_2 i_3 = 4 \cdot 3 \cdot 2 = 24$$

Определим приведенный момент инерции второго вала редуктора к частоте вращения асинхронного двигателя

$$J_{12}^* = \frac{J_2}{i_1^2} = \frac{0,02}{4^2} = 0,00125 \text{ кгм}^2$$

Определим приведенный момент инерции третьего вала редуктора к частоте вращения асинхронного двигателя

$$J_{13}^* = \frac{J_3}{(i_1 i_2)^2} = \frac{0,03}{(4 \cdot 3)^2} = 0,00021 \text{ кгм}^2$$

Определим приведенный момент инерции четвертого вала редуктора к частоте вращения асинхронного двигателя

$$J_{14}^* = \frac{J_4}{i_r^2} = \frac{0,04}{24^2} = 0,00007 \text{ кгм}^2$$

Определим приведенный момент инерции барабана

$$J_{21}^* = \frac{J_b}{i_r^2} = \frac{2,5}{24^2} = 0,0043 \text{ кгм}^2$$

Определим приведенный момент инерции клетки и груза

$$J_{22}^* = (m_1 + m_2) \left(\frac{\rho_b}{i_r} \right)^2 = (500 + 50) \left(\frac{0,02}{24} \right)^2 = 0,0004 \text{ кгм}^2$$

Определим приведенный момент инерции электропривода

$$\begin{aligned} J^* &= J + J_1 + J_{12}^* + J_{13}^* + J_{14}^* + J_{21}^* + J_{22}^* = \\ &= 0,1 + 0,01 + 0,00125 + 0,00021 + 0,00007 + 0,0043 \\ &\quad + 0,0004 = \\ &= 0,117 \text{ кгм}^2 \end{aligned}$$

Расчет приведенного момента электропривода с редуктором и барабаном

Определим коэффициент полезного действия редуктора

$$\eta_r = \eta_1 \eta_2 \eta_3 = 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,97 = 0,94$$

Определим силу тяжести

$$F = (m_1 + m_2)g = (500 + 50)9,8 = 5390 \text{ Н}$$

Определим приведенный момент электропривода

$$M_c^* = F \left(\frac{\rho_b}{i_r} \right) \left(\frac{1}{\eta_r \eta_b} \right) = 5390 \left(\frac{0,02}{24} \right) \left(\frac{1}{0,94 \cdot 0,98} \right) = 4,87 \text{ Нм}$$

Выводы

Выводы по результатам расчетов студентам необходимо выполнить самостоятельно.

1.2. Исходные данные для задачи

№	m_1	m_2	J	J_1	J_2	J_3	J_4	ρ_b	i_1	i_2	i_3	η_a	η_b	η_c	η_d	η_e
1.	300	40	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	4	3	2	0.99	0.98	0.98	0.97	0.97
2.	350	50	0.11	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	5	2	5	0.98	0.99	0.97	0.97	0.98
3.	400	60	0.12	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	2	3	5	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97
4.	450	40	0.13	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	4	3	2	0.98	0.99	0.97	0.97	0.98
5.	500	50	0.14	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	2	4	3	0.97	0.98	0.98	0.98	0.97
6.	550	60	0.15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	3	5	2	0.96	0.99	0.97	0.97	0.98
7.	600	40	0.10	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	3	2	3	0.95	0.98	0.98	0.98	0.97
8.	300	50	0.11	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	4	3	3	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97
9.	350	60	0.12	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	5	2	5	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97
10.	400	40	0.13	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	2	3	5	0.98	0.99	0.97	0.97	0.98
11.	450	50	0.14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	4	3	5	0.97	0.98	0.98	0.98	0.97
12.	500	60	0.15	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	2	5	2	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97
13.	550	40	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	3	4	3	0.98	0.99	0.97	0.97	0.98
14.	600	50	0.11	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	2	5	2	0.97	0.98	0.98	0.98	0.97
15.	300	60	0.12	0.03	0.03	0.03	0.03	0.05	3	2	3	0.96	0.99	0.97	0.97	0.98
16.	350	40	0.13	0.04	0.04	0.04	0.04	0.06	3	4	3	0.95	0.98	0.98	0.98	0.97
17.	400	50	0.14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.07	2	5	5	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97
18.	450	60	0.15	0.02	0.02	0.02	0.02	0.08	3	4	5	0.98	0.99	0.97	0.97	0.98
19.	500	40	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.09	2	5	5	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97
20.	550	50	0.11	0.02	0.02	0.02	0.02	0.10	3	2	2	0.98	0.99	0.97	0.97	0.98
21.	600	60	0.12	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	3	2	5	0.97	0.98	0.98	0.98	0.97
22.	300	40	0.13	0.04	0.04	0.04	0.04	0.02	2	3	4	0.96	0.99	0.97	0.97	0.98
23.	350	50	0.14	0.05	0.05	0.05	0.05	0.03	3	5	5	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97
24.	400	60	0.15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	3	5	2	0.98	0.99	0.97	0.97	0.98
25.	450	40	0.10	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	5	2	4	0.97	0.98	0.98	0.98	0.97
26.	500	50	0.11	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	4	3	5	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97
27.	550	60	0.12	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	5	3	5	0.98	0.99	0.97	0.97	0.98
28.	600	40	0.13	0.03	0.03	0.03	0.03	0.04	2	5	2	0.97	0.98	0.98	0.98	0.97
29.	300	50	0.14	0.04	0.04	0.04	0.04	0.05	3	4	3	0.96	0.99	0.97	0.97	0.98
30.	350	60	0.15	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	3	5	2	0.95	0.98	0.98	0.98	0.97

2. УСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

2.1. Расчет установившегося режима работы электропривода

Для расчета установившегося режима работы электропривода, на примере насосной водоотливной установки, необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. Построить кинематическую схему электропривода;
2. Рассчитать и построить механическую характеристику асинхронного двигателя;
3. Рассчитать приведенный момент и момент инерции;
4. Рассчитать и построить механическую характеристику насоса;
5. Рассчитать установившийся режим работы (аналитическим и графическим способами);
6. Выводы.

Исходные данные для расчета установившегося режима работы электропривода:

– номинальная мощность двигателя	$P_{\text{ном}} = 17,5 \text{ кВт}$
– номинальная скорость двигателя	$n_{\text{ном}} = 1440 \text{ об/мин}$
– момент инерции двигателя	$J = 0,01 \text{ кгм}^2$
– перегрузочная способность	$\lambda = 2$
– номинальная мощность насоса	$N = 15 \text{ кВт}$
– номинальная скорость насоса	$n = 360 \text{ об/мин}$
– момент инерции насоса	$J_{\text{н}} = 0,1 \text{ кгм}^2$
– коэффициент полезного действия первой ступени	$\eta_1 = 0,99$
– коэффициент полезного действия второй ступени	$\eta_2 = 0,98$
– передаточное число первой ступени	$i_1 = 2$
– передаточное число второй ступени	$i_2 = 2$
– момент инерции первого вала	$J_1 = 0,01 \text{ кгм}^2$
– момент инерции второго вала	$J_2 = 0,02 \text{ кгм}^2$
– момент инерции третьего вала	$J_3 = 0,01 \text{ кгм}^2$

Функциональная схема автоматизированного электропривода насосной установки представлена на рис. 2.1.

Построение кинематической схемы электропривода насосной водоотливной установки

Для расчета системы двигатель – механизм электропривода водоотливной установки необходимо построить кинематическую схему технологического комплекса насосной установки с обозначением всех координат (сил и моментов) и параметров (масс и моментов инерции). Кинематическая схема электропривода водоотливной установки представлена на рис. 2.2.

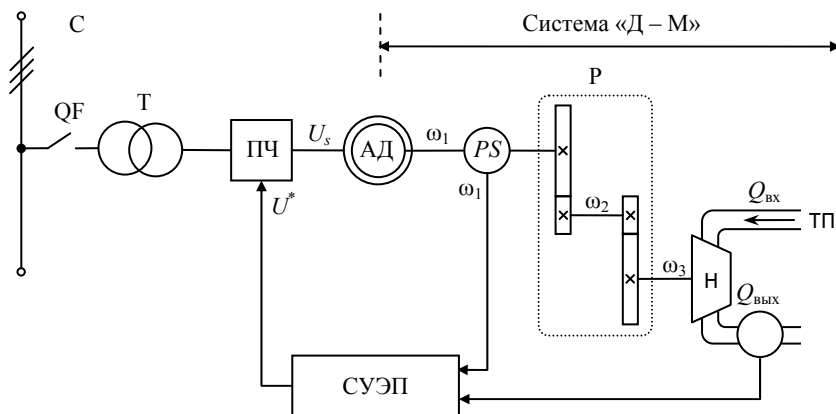


Рис. 2.1. Функциональная схема электропривода
насоса водоотливной установки
(Н – насос; ТП – трубопровод; *PP* – датчик давления)

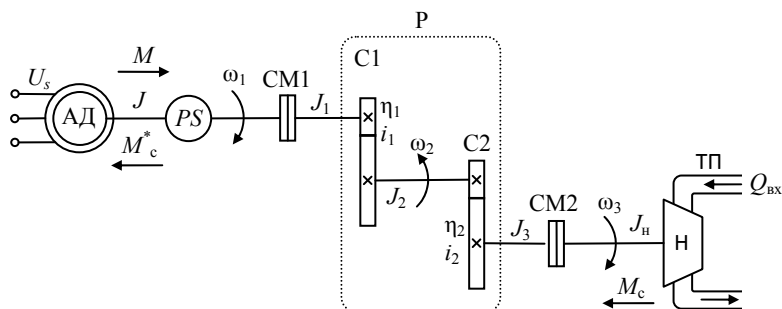


Рис. 2.2. Кинематическая схема электропривода
насоса водоотливной установки

На рис. 2.2 приняты следующие обозначения:

- U_s – напряжение статора АД;
- M – момент АД;
- M_c – статический момент АД (момент сопротивления Н);
- $M_{c\text{пр}}$ – приведенный статический момент АД;
- ω_1 – частота вращения вала асинхронного двигателя;
- ω_2 – частота вращения промежуточного вала редуктора;
- ω_3 – частота вращения насоса;
- J, J_1, J_2, J_3, J_n – момент инерции АД, валов Р и Н;
- $Q_{\text{вх}}$ – величина входного расхода Н;
- $Q_{\text{вых}}$ – величина выходного расхода Н.
- СМ (1 и 2) – соединительная муфта (1 и 2);
- С (1 и 2) – ступень Р (1 и 2).

Расчет и построение механической характеристики асинхронного двигателя

Определим номинальную частоту вращения двигателя

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{\pi}{30} n_{\text{ном}} = \frac{\pi}{30} 1440 = 150,7 \text{ рад/с}$$

Определим синхронную частоту вращения двигателя

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_0}{z} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{2} = 157 \text{ рад/с}$$

Определим номинальный момент двигателя

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{17,5 \cdot 10^3}{150,7} = 116 \text{ Нм}$$

Определим номинальное скольжение

$$s_{\text{ном}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{ном}}}{\omega_0} = \frac{157 - 150,7}{157} = 0,04$$

Определим критическое скольжение

$$s_k = s_{\text{ном}}(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,04(2 + \sqrt{2^2 - 1}) = 0,15$$

Определим критический момент

$$M_k = \lambda M_{\text{ном}} = 2 \cdot 116 = 232 \text{ Нм}$$

Рассчитаем механическую характеристику асинхронного двигателя с использованием формулы Клосса

$$M(s) = \frac{2M_k}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s}} = \frac{2 \cdot 232}{\frac{s}{0,15} + \frac{0,15}{s}} = \frac{464}{\frac{s}{0,15} + \frac{0,15}{s}}$$

Результаты расчета механической характеристики асинхронного двигателя приведены в табл. 2.1. Механическая характеристика асинхронного двигателя построена на рис. 2.3.

Таблица 2.1

Результаты расчета механической характеристики

s	0	$s_{\text{ном}}$	s_k	0,2	0,3	0,4
M , Нм	0	116	232	233	185	152
ω , рад/с	157	151	134	126	110	94

S	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
M , Нм	127	109	95	84	75	68
ω , рад/с	79	63	47	31	16	0

Расчет приведенного момента и момент инерции

Определим приведенный момент инерции насоса

$$J_s = J + J_1 + \frac{J_2}{i_1^2} + \frac{J_3 + J_H}{(i_1 i_2)^2} = 0,01 + 0,01 + \frac{0,02}{2^2} + \frac{0,01 + 0,1}{(2 \cdot 2)^2} =$$

$$= 0,0379 \text{ кгм}^2$$

Определим номинальную частоту вращения насоса

$$\omega_n^{\text{НОМ}} = \frac{\pi}{30} n = \frac{\pi}{30} 360 = 37,7 \text{ рад/с}$$

Определим номинальный момент нагрузки насоса

$$M_c^{\text{НОМ}} = \frac{N}{\omega_n^{\text{НОМ}}} = \frac{15 \cdot 10^3}{37,7} = 398 \text{ Нм}$$

Определим приведенное значение момента нагрузки насоса к частоте вращения вала асинхронного двигателя при работе первого в номинальном режиме

$$M_c^* = \frac{M_c^{\text{НОМ}}}{\eta_1 \eta_2 i_1 i_2} = \frac{398}{0,99 \cdot 0,98 \cdot 2 \cdot 2} = 102 \text{ Нм}$$

Определим частоту вращения асинхронного двигателя при работе насоса в номинальном режиме

$$\omega_n^* = \omega_n^{\text{НОМ}} i_1 i_2 = 37,7 \cdot 2 \cdot 2 = 150,7 \text{ рад/с}$$

Расчет и построение механической характеристики насоса

Определим конструктивный коэффициент насоса

$$k = \frac{M_c^{\text{НОМ}}}{(\omega_n^{\text{НОМ}})^2} = \frac{398}{37,7^2} = 0,28$$

Рассчитаем механическую характеристику насоса с использованием следующего выражения

$$M_c(\omega_n) = k \omega_n^2$$

Рассчитаем механическую характеристику насоса с использованием вентиляторного уравнения

$$M_c(\omega_n) = 0,28 \omega_n^2$$

Результаты расчета механической характеристики насоса приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты расчета механической характеристики насоса

ω_n , рад/с	0	2	4	6	11	15	19	23	26	30	34	38
M_c , Нм	0	1	5	10	34	63	101	148	189	252	324	405
ω_n^* , рад/с	0	8	16	24	44	60	76	92	104	120	136	152
M_c^* , Нм	0	0,3	1,15	2,6	8,7	16,3	26	38	49	65	84	104

Для построения механической характеристики насоса рассчитанные в табл. 2.2 значения частот вращения и моментов сопротивления насоса необходимо привести к частоте вращения асинхронного двигателя. Это можно сделать с помощью следующих выражений

$$\omega_n^* = i_1 i_2 \omega_n = 2 \cdot 2 \omega_n = 4 \omega_n$$

$$M_c^*(\omega_n^*) = \frac{k}{\eta_1 \eta_2 i_1 i_2} (\omega_n)^2 = \frac{0,28}{0,99 \cdot 0,98 \cdot 2 \cdot 2} (\omega_n)^2 = 0,072 (\omega_n)^2$$

Результаты расчета механической характеристики насоса с приведены в табл. 2.2. Используя данные результаты расчетов механическую характеристику насоса можно построить на одной координатной плоскости с механической характеристикой асинхронного двигателя. Механическая характеристика насоса представлена на рис. 2.3.

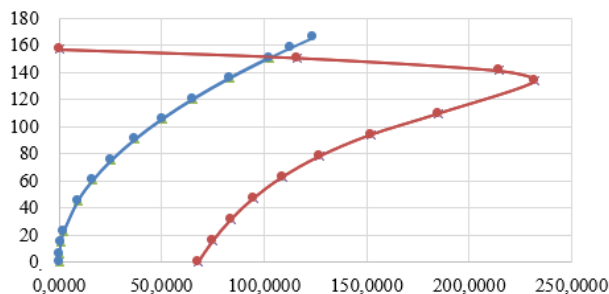


Рис. 2.3. Механические характеристики

Расчет значения частоты вращения асинхронного двигателя при работе насоса в установившемся режиме

1. Определим (графически) частоту вращения и момент асинхронного двигателя при работе водоотливной насосной установки в установившемся номинальном режиме. Для этого воспользуемся механическими характеристиками асинхронного двигателя и насоса, построенными на рис. 2.3. Установившаяся частота вращения и момент имеют значения

$$\begin{aligned}\omega^{\text{уст}} &= 37,7 \text{ рад/с.} \\ M^{\text{уст}} &= 102 \text{ Нм}\end{aligned}$$

2. Определим (аналитически) частоту вращения и момент асинхронного двигателя при работе насоса водоотливной установки в установившемся номинальном режиме. В этом случае должно выполняться следующее условие

$$\omega_{\text{н}}^{\text{уст}} = \omega^{\text{ном}} = 37,7 \text{ рад/с.}$$

Определим частоту вращения и скольжение асинхронного двигателя при работе насоса в установившемся режиме

$$\begin{aligned}\omega_{\text{дв}}^{\text{уст}} &= \omega_{\text{н}}^{\text{ном}} i_1 i_2 = 37,7 \cdot 2 \cdot 2 = 150,7 \text{ рад/с} \\ s^{\text{уст}} &= \frac{\omega_0 - \omega_{\text{дв}}^{\text{уст}}}{\omega_0} = \frac{157 - 150,7}{157} = 0,04\end{aligned}$$

Определим момент сопротивления насоса

$$M_{\text{н}}^{\text{уст}} = \frac{k}{\eta_1 \eta_2 i_1 i_2} (\omega_{\text{н}}^{\text{уст}})^2 = \frac{0,28}{0,99 \cdot 0,98 \cdot 2 \cdot 2} 37,7^2 = 102 \text{ Нм}$$

Определим разницу между номинальным моментом асинхронного двигателя и установившемся моментом

$$\Delta M = \frac{2M_K}{\frac{s_{уст}}{s_K} + \frac{s_K}{s_{уст}}} - M_H^{уст} = \frac{2 \cdot 232}{\frac{0,04}{0,15} + \frac{0,15}{0,04}} - 102 = 14 \text{ Нм}$$

Определим момент асинхронного двигателя при работе насоса водоотливной установки в установившемся номинальном режиме

$$M_H^{уст} = \Delta M - M_{ном} = 14 - 116 = -102 \text{ Нм}$$

Как видно по результатам расчета и построения, при частоте вращения 150,7 Нм момент асинхронного двигателя водоотливной установки равен моменту нагрузки насоса. Причем установившаяся частота вращения равна номинальной частоте вращения асинхронного двигателя, а статический момент равен номинальному. Отсюда можно делать вывод, что мощность приводного двигателя выбрана правильно, энергопотребление будет находиться на удовлетворительном уровне.

Выводы

Выводы по результатам расчетов студентам необходимо выполнить самостоятельно.

2.2. Исходные данные для задачи

№	$P_{\text{ном}}$	$n_{\text{ном}}$	J	λ	N	n	J_n	η_1	η_2	i_1	i_2	J_1	J_2	J_3
1.	15	1440	0.10	2,0	11	220	0.14	0.98	0.98	2	3	0.02	0.02	0.02
2.	18,5	1460	0.11	2,5	17	210	0.15	0.98	0.98	3	2	0.03	0.03	0.03
3.	22	1420	0.12	3,0	20	150	0.10	0.98	0.98	3	3	0.04	0.04	0.04
4.	30	1480	0.13	2,0	27	230	0.11	0.99	0.97	2	3	0.05	0.05	0.05
5.	45	1450	0.14	2,5	40	240	0.12	0.98	0.98	3	2	0.01	0.01	0.01
6.	55	1470	0.15	3,0	50	220	0.13	0.98	0.98	2	3	0.02	0.02	0.02
7.	75	1490	0.10	2,0	70	210	0.14	0.98	0.98	3	2	0.01	0.01	0.01
8.	90	1440	0.11	2,5	80	140	0.15	0.98	0.98	3	3	0.02	0.02	0.02
9.	110	1460	0.12	3,0	90	220	0.10	0.99	0.97	2	3	0.03	0.03	0.03
10.	15	1420	0.13	2,0	14	210	0.11	0.98	0.98	3	2	0.04	0.04	0.04
11.	18,5	1480	0.14	2,5	16	200	0.12	0.98	0.98	2	3	0.05	0.05	0.05
12.	22	1450	0.15	3,0	19	230	0.13	0.98	0.98	3	2	0.01	0.01	0.01
13.	30	1470	0.10	2,0	25	240	0.14	0.99	0.97	2	3	0.02	0.02	0.02
14.	45	1440	0.11	2,5	35	230	0.15	0.98	0.98	3	2	0.01	0.01	0.01
15.	55	1460	0.12	3,0	45	160	0.10	0.98	0.98	3	3	0.02	0.02	0.02
16.	75	1420	0.13	2,0	65	220	0.14	0.99	0.97	2	3	0.03	0.03	0.03
17.	90	1440	0.14	2,5	85	210	0.15	0.98	0.98	2	3	0.04	0.04	0.04
18.	110	1460	0.15	3,0	95	200	0.10	0.98	0.98	3	2	0.01	0.01	0.01
19.	15	1420	0.10	2,0	13	230	0.11	0.98	0.98	2	3	0.02	0.02	0.02
20.	18,5	1480	0.11	2,5	16	240	0.12	0.99	0.97	2	3	0.03	0.03	0.03
21.	22	1450	0.12	3,0	19	220	0.13	0.98	0.98	3	2	0.04	0.04	0.04
22.	30	1470	0.13	2,0	27	210	0.14	0.98	0.98	2	3	0.05	0.05	0.05
23.	45	1490	0.14	2,5	40	200	0.15	0.99	0.97	3	2	0.01	0.01	0.01
24.	55	1430	0.15	3,0	45	230	0.14	0.98	0.98	3	3	0.02	0.02	0.02
25.	75	1440	0.10	2,0	67	240	0.15	0.98	0.98	2	3	0.01	0.01	0.01
26.	90	1460	0.11	2,5	81	230	0.10	0.98	0.98	2	3	0.02	0.02	0.02
27.	110	1420	0.12	3,0	97	240	0.11	0.99	0.97	3	2	0.02	0.02	0.02
28.	15	1480	0.13	2,0	10	220	0.12	0.98	0.98	2	3	0.03	0.03	0.03
29.	18,5	1450	0.14	2,5	14	210	0.13	0.98	0.98	3	2	0.04	0.04	0.04
30.	22	1470	0.15	3,0	20	160	0.14	0.98	0.98	3	3	0.05	0.05	0.05

3. СКОРОСТНАЯ И НАГРУЗОЧНАЯ ДИАГРАММЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

3.1. Расчет скоростной и нагрузочной диаграмм электропривода

Для расчета скоростной и нагрузочной диаграмм, выбора и проверки электродвигателя, на примере мотор-колес карьерного самосвала необходимо выполнить следующие действия:

1. Дать описание технологического процесса;
2. Рассчитать скоростную и нагрузочную диаграммы;
3. Выполнить предварительный выбор электродвигателя;
4. Рассчитать скоростную и нагрузочную диаграммы электропривода;
5. Выполнить проверку электродвигателя;
6. Выводы.

Исходные данные для расчета установившегося режима работы электропривода:

– номинальная скорость движения самосвала	$v_{\text{ном}}=18$ м/с
– скорость движения в карьере	$v_1 = 8$ м/с
– скорость движения с грузом	$v_2 = 16$ м/с
– скорость движения без груза	$v_3 = 18$ м/с
– допустимое ускорение	$a = 0.2$ м/с ²
– время загрузки	12 мин
– время груженого движения в карьере	10 мин
– время груженого движения до разгрузки	20 мин
– время разгрузки	5 мин
– время пустого движения до карьера	20 мин
– время пустого движения в карьере	10 мин
– масса самосвала с грузом	$m_1=240\ 000$ кг
– масса самосвала без груза	$m_2 = 110000$ кг
– радиус ступицы ходового колеса	$r = 0,6$ м
– коэффициент трения в подшипниках	$\mu = 0.025$
– коэффициент трения колес	$f = 0.02$
– радиус колеса	$R = 1,5$ м
– коэффициент охлаждения	$\beta = 1$
– коэффициент полезного действия редуктора	$\eta = 0,9$

Описание технологического процесса

Технологический процесс транспортировки добытого сырья из карьера можно представить следующим образом:

- загрузка 12 мин;
- груженное движение в карьере 10 мин;
- груженое движение до разгрузки 20 мин;
- разгрузка 5 мин;
- пустое движение до карьера 20 мин;
- пустое движение в карьере 10 мин.

Расчёт диаграммы движения карьерного самосвала

Рассчитаем интервалы движения карьерного самосвала на всех интервалах технологического процесса:

$$t_0 = 12 \cdot 60 = 720 \text{ с}$$

$$t_1 = \frac{v_1}{a} = \frac{8}{0,2} = 40 \text{ с}$$

$$t_2 = 10 \cdot 60 = 600 \text{ с}$$

$$t_3 = \frac{v_2 - v_1}{a} = \frac{16 - 8}{0,2} = 40 \text{ с}$$

$$t_4 = 20 \cdot 60 = 1200 \text{ с}$$

$$t_5 = \frac{v_4}{a} = \frac{16}{0,2} = 80 \text{ с}$$

$$t_6 = 5 \cdot 60 = 300 \text{ с}$$

$$t_7 = \frac{v_8}{a} = \frac{18}{0,2} = 90 \text{ с}$$

$$t_8 = 20 \cdot 60 = 1200 \text{ с}$$

$$t_9 = \frac{v_8 - v_{10}}{a} = \frac{18 - 8}{0,2} = 50 \text{ с}$$

$$t_{10} = 10 \cdot 60 = 600 \text{ с}$$

$$t_{11} = \frac{v_{10}}{a} = \frac{8}{0,2} = 40 \text{ с}$$

Рассчитаем общее время технологического процесса

$$t_{\text{ц}} = \sum_{i=0}^{11} t_i = 720 + 40 + 600 + 40 + 1200 + 80 + \\ + 300 + 90 + 1200 + 50 + 600 + 40 = 4960 \text{ с}$$

Диаграмма движения карьерного самосвала построена на рис. 3.1.

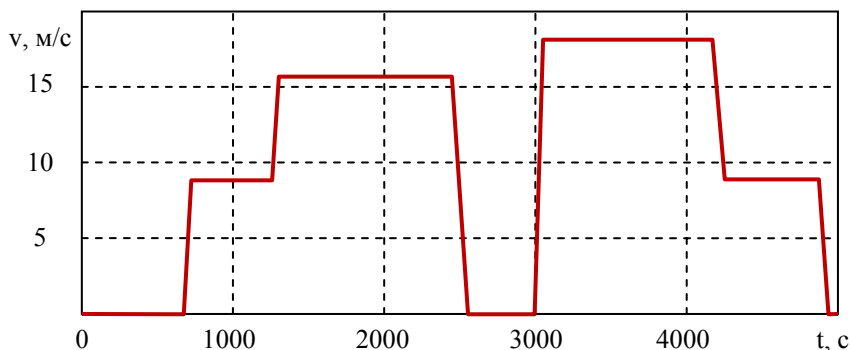


Рис. 3.1. Диаграмма движения карьерного самосвала

Расчёт скоростной и нагрузочной диаграмм мотор-колеса

Статическая сила, действующая на мотор-колеса самосвала:

– с грузом

$$F_{ст1} = \frac{m_1 g (\mu r + f)}{R} = \frac{240000 \cdot 9,8 \cdot (0,025 \cdot 0,6 + 0,02)}{1,5} = 55 \text{ кН}$$

– без груза:

$$F_{ст2} = \frac{m_2 g (\mu r + f)}{R} = \frac{110000 \cdot 9,8 \cdot (0,025 \cdot 0,6 + 0,02)}{1,5} = 25 \text{ кН}$$

Динамическая сила, действующая на мотор-колеса самосвала

– с грузом

$$F_{дин1} = m_1 a = 240000 \cdot 0,2 = 48 \text{ кН}$$

– без груза

$$F_{дин2} = m_2 a = 110000 \cdot 0,2 = 22 \text{ кН}$$

Силы, действующие на мотор-колеса самосвала, на всех интервалах технологического процесса:

$$F_0 = 0 \text{ кН}$$

$$F_2 = F_{ст1} = 55 \text{ кН}$$

$$F_4 = F_{ст1} = 55 \text{ кН}$$

$$F_6 = 0 \text{ кН}$$

$$F_8 = F_{ст2} = 25 \text{ кН}$$

$$F_{10} = F_{ст2} = 25 \text{ кН}$$

$$F_1 = F_{ст1} + F_{дин1} = 55 + 48 = 103 \text{ кН}$$

$$F_3 = F_{ст1} + F_{дин1} = 55 + 48 = 103 \text{ кН}$$

$$F_5 = F_{ст1} - F_{дин1} = 55 - 48 = 7 \text{ кН}$$

$$F_7 = F_{ст2} + F_{дин2} = 25 + 22 = 47 \text{ кН}$$

$$F_9 = F_{ст2} - F_{дин2} = 25 - 22 = 3 \text{ кН}$$

$$F_{11} = F_{ст2} - F_{дин2} = 25 - 22 = 3 \text{ кН}$$

Скоростная и нагрузочная диаграммы мотор-колес карьерного самосвала представлена на рис. 3.2 и рис. 3.3, соответственно.

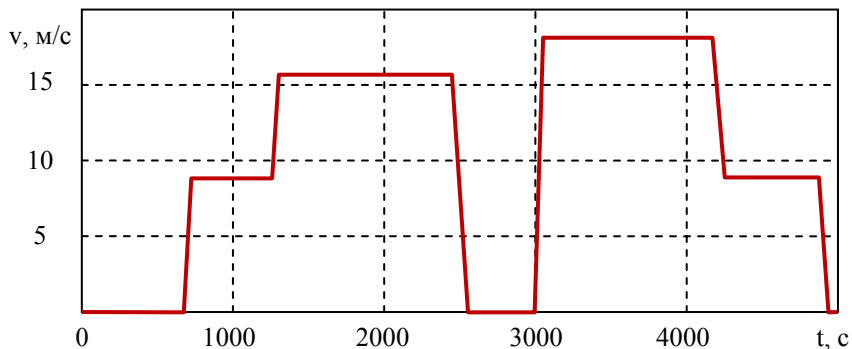


Рис. 3.2. Скоростная диаграмма мотор-колес

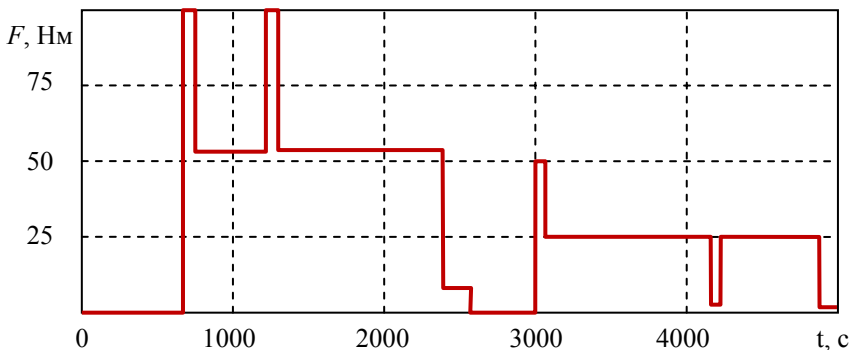


Рис. 3.3. Нагрузочная диаграмма мотор-колес

Предварительный выбор асинхронного двигателя мотор-колеса

Мотор-колеса работают в длительном режиме с переменной нагрузкой. Рассчитаем эквивалентную силу

$$F_3 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{11} F_i^2 t_i}{t_{ц}}} = \sqrt{\frac{7611643}{4960}} = 39 \text{ кН}$$

Рассчитаем эквивалентную мощность

$$P_3 = F_3 v_{ном} = 39 \cdot 18 = 705 \text{ кВт}$$

Примем коэффициент запаса

$$K_3 = 1,1 \div 1,3 = 1,3$$

Определим расчетную мощность

$$P_p = K_3 P_3 = 1,3 \cdot 705 = 917 \text{ кВт}$$

В соответствии со значением расчетной мощности выберем тяговый асинхронный двигатель ТАД-5, номинальные параметры которого приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1
Параметры тягового асинхронного двигателя ТАД-5

Наименование параметра	Норма
Номинальная мощность, кВт	610/1000
Номинальная частота вращения	1480
Номинальная скорость вращения, об/мин	850
Максимальная скорость вращения, об/мин	3400
Коэффициент полезного действия двигателя, %	94
Номинальное тяговое усилие, кГ	29400
Максимальное тяговое усилие, кГ	75000
Режим работы	S1
Перегрузочная способность	1,25

Расчёт скоростной и нагрузочной диаграммы электропривода

Определим угловое ускорение

$$\varepsilon = \frac{a}{\rho} = \frac{0,2}{0,116} = 1,72 \text{ рад/с}^2$$

Определим радиус проведения корзины мотор-колесо

$$\rho = \frac{v_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{18}{155} = 0,116 \text{ м}$$

Определим передаточное число редуктора мотор-колесо

$$i = \frac{2n_{\text{ном}}(2\pi R)}{v_{\text{ном}}60} = \frac{1480 \cdot 2 \cdot (2\pi \cdot 1,5)}{18 \cdot 60} = 25,8 \Rightarrow 26$$

Рассчитаем момент инерции карьерного самосвала – с грузом

$$J_1 = m_2 \rho^2 = 240000 \cdot 0,116^2 = 3238 \text{ кгм}^2$$

– без груза

$$J_2 = m_1 \rho^2 = 110000 \cdot 0,116^2 = 1484 \text{ кгм}^2$$

Динамические моменты нагрузки карьерного самосвала – с грузом

$$M_{\text{дин1}} = J_1 \varepsilon = 3238 \cdot 1,72 = 5575 \text{ Нм}$$

– без груза

$$M_{\text{дин2}} = J_2 \varepsilon = 1484 \cdot 1,72 = 2555 \text{ Нм}$$

Статические моменты нагрузки карьерного самосвала – с грузом

$$M_{\text{ст1}} = \frac{F_{\text{ст1}} R}{i\eta} = \frac{55 \cdot 1000 \cdot 1,5}{26 \cdot 0,9} = 3518 \text{ Нм}$$

– без груза

$$M_{\text{ст2}} = \frac{F_{\text{ст2}} R_{\text{к}}}{i\eta} = \frac{25 \cdot 1000 \cdot 1,5}{26 \cdot 0,9} = 1612 \text{ Нм}$$

Моменты нагрузки карьерного самосвала, соответствующие интервалам технологического процесса:

$$\begin{aligned}
 M_1 &= 0 \text{ Нм} & M_1 &= M_{\text{ст1}} + M_{\text{дин1}} = 3518 + 5575 = 9093 \text{ Нм} \\
 M_2 &= M_{\text{ст1}} = 3518 \text{ Нм} & M_3 &= M_{\text{ст1}} + M_{\text{дин1}} = 9093 \text{ Нм} \\
 M_4 &= M_{\text{ст1}} = 3518 \text{ Нм} & M_5 &= M_{\text{ст1}} - M_{\text{дин1}} = 3518 - 5575 = -2057 \\
 M_6 &= 0 \text{ Нм} & M_7 &= M_{\text{ст2}} + M_{\text{дин2}} = 1612 + 2555 = 4167 \text{ Нм} \\
 M_8 &= M_{\text{ст2}} = 1612 \text{ Нм} & M_9 &= M_{\text{ст2}} - M_{\text{дин2}} = 1612 - 2555 = -943 \text{ Нм} \\
 M_{10} &= M_{\text{ст2}} = 1612 \text{ Нм} & M_{11} &= M_{\text{ст2}} - M_{\text{дин2}} = -950 \text{ Нм}
 \end{aligned}$$

Скоростная и нагрузочная диаграммы асинхронного двигателя электропривода мотор-колес карьерного самосвала представлены на рис. 3.4 и рис. 3.5, соответственно.

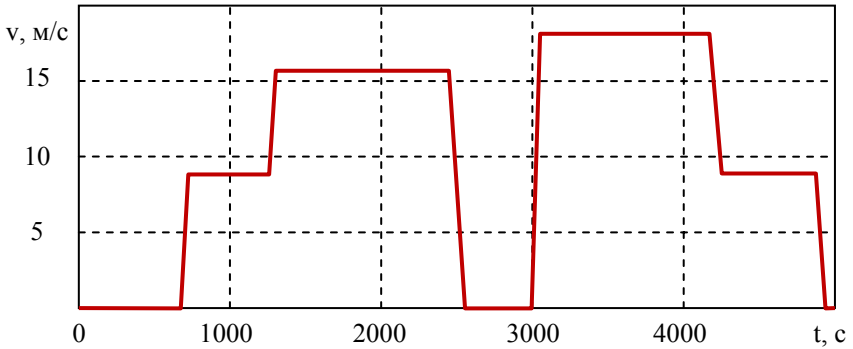


Рис. 3.4. Скоростная диаграмма мотор-колес

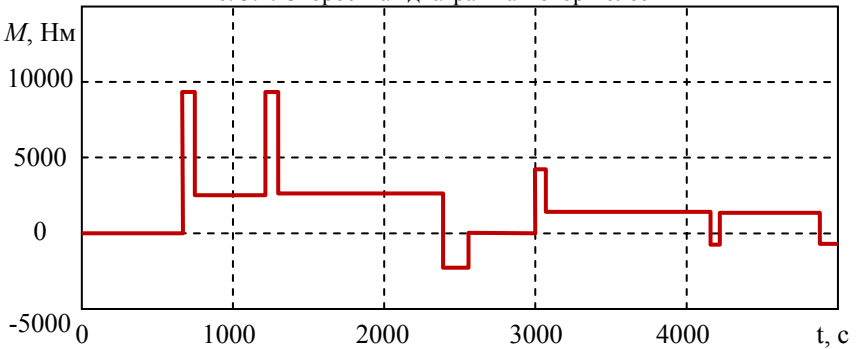


Рис. 3.5. Нагрузочная диаграмма мотор-колес

Проверка асинхронного двигателя по нагреву и перегрузочной способности

Рассчитаем эквивалентный момент

$$M_э = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n M_i^2 t_i}{\beta \sum_{i=1}^n t_i}} = \sqrt{\frac{35,553 \cdot 10^6}{1 \cdot 4960}} = 3000 \text{ Нм}$$

Рассчитаем номинальную частоту вращения двигателя

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{\pi n_{\text{НОМ}}}{30} = \frac{\pi 1480}{30} = 155 \text{ рад/с}$$

Рассчитаем номинальный момент двигателя

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{610000}{155} = 3936 \text{ Нм}$$

Так как эквивалентный момент (3000 Нм) меньше номинального момента асинхронного двигателя мотор-колеса (3936), следовательно, двигатель выбран правильно.

Рассчитаем максимальный момент одного двигателя

$$M_{\text{max1}} = \frac{M_{\text{НОМ}}^*}{\lambda} = \frac{P_{\text{НОМ}}^*}{\omega_{\text{НОМ}} \lambda} = \frac{1000000}{155 \cdot 1,25} = 5162 \text{ Нм}$$

Рассчитаем максимальный момент двух двигателей

$$M_{\text{max2}} = 2M_{\text{max1}} = 2 \cdot 5162 = 10324 \text{ Нм}$$

Так как максимальный момент нагрузки карьерного самосвала (9093 Нм) меньше момента двух асинхронных двигателя мотор-колес (10324 Нм), следовательно, двигатель выбран правильно.

Выводы

Выводы по результатам расчетов студентам необходимо выполнить самостоятельно.

3.2. Исходные данные для задачи

№	v_1	v_2	v_3	t_0	t_2	t_4	t_6	t_8	t_{10}	η
1.	6	14	18	10	15	20	5	26	10	0,9
2.	7	15	18	11	14	22	6	16	9	0,85
3.	8	16	18	10	15	20	5	26	10	0,9
4.	6	14	18	11	14	22	6	16	9	0,85
5.	7	14	18	12	13	18	7	24	11	0,95
6.	8	15	18	13	12	24	8	18	8	0,8
7.	9	14	18	14	11	16	9	22	12	0,9
8.	6	15	18	15	10	26	10	20	7	0,8
9.	7	16	18	12	13	18	7	24	11	0,95
10.	8	14	18	13	12	24	8	18	8	0,8
11.	9	15	18	10	15	20	5	26	10	0,9
12.	10	16	18	11	14	22	6	16	9	0,85
13.	6	14	18	10	15	20	5	26	10	0,9
14.	7	15	18	11	14	22	6	16	9	0,85
15.	8	14	18	12	13	18	7	24	11	0,95
16.	6	15	18	13	12	24	8	18	8	0,8
17.	7	16	18	14	11	16	9	22	12	0,9
18.	8	14	18	10	15	20	5	26	10	0,9
19.	9	15	18	11	14	22	6	16	9	0,85
20.	10	16	18	10	15	20	5	26	10	0,9
21.	9	14	18	11	14	22	6	16	9	0,85
22.	6	15	18	12	13	18	7	24	11	0,95
23.	6	16	18	13	12	24	8	18	8	0,8
24.	7	14	18	14	11	16	9	22	12	0,9
25.	8	15	18	15	10	26	10	20	7	0,8
26.	9	16	18	14	11	16	9	22	12	0,9
27.	6	14	18	15	10	26	10	20	7	0,8
28.	7	15	18	10	15	20	5	26	10	0,9
29.	8	16	18	11	14	22	6	16	9	0,85
30.	9	14	18	12	13	18	7	24	11	0,95

4. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С РЕОСТАТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

4.1. Расчет энергетических характеристик асинхронного электропривода с реостатным регулированием

Для расчета энергетических характеристик асинхронного электропривода с реостатным регулированием необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. рассчитать энергетические характеристики асинхронного двигателя при работе электропривода на естественной характеристике;
2. рассчитать энергетические характеристики асинхронного двигателя при работе электропривода на промежуточной характеристике;
3. рассчитать энергетические характеристики асинхронного двигателя при работе электропривода на пусковой характеристике;
4. построить механические характеристики асинхронного двигателя;
5. построить зависимость коэффициента полезного действия асинхронного двигателя от коэффициента загрузки;
6. построить зависимость коэффициента мощности асинхронного двигателя от коэффициента загрузки;
7. выводы.

Исходные данные для расчета энергетических характеристик асинхронного электропривода с реостатным регулированием:

1. Схема асинхронного электропривода с реостатным регулированием приведена на рис. 4.1:

- на пусковой характеристике, когда $K_1 = 0, K_2 = 0$;
- на промежуточной характеристике, когда $K_1 = 0, K_2 = 1$;
- на естественной характеристике, когда $K_1 = 1, K_2 = 1$.

2. Технические данные асинхронного двигателя:

- номинальная мощность двигателя $P_{\text{НОМ}} = 185 \text{ кВт}$;
- номинальное напряжение двигателя $U_{\text{НОМ}} = 380 \text{ В}$;
- номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{НОМ}} = 0,87$;
- номинальная скорость $n_{\text{НОМ}} = 2850 \text{ об/мин}$;
- перегрузочная способность $\lambda = 2$;
- коэффициент загрузки $\beta_1 = 0,50$;
 $\beta_2 = 0,75$;
 $\beta_3 = 1,00$.

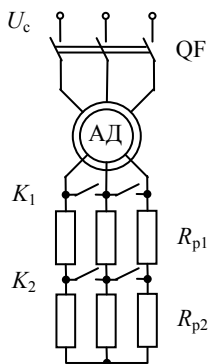


Рис. 4.1. Схема асинхронного электропривода с реостатным регулированием

3. Частота вращения при номинальной нагрузке:

- естественная характеристика $\omega = \omega_{\text{НОМ}}$;
- промежуточная характеристика $\omega^* = 0,75 \omega_{\text{НОМ}}$;
- пусковая характеристика $\omega^{**} = 0,5 \omega_{\text{НОМ}}$.

Расчет энергетических характеристик асинхронного двигателя при работе электропривода на естественной характеристике

Определим номинальную частоту вращения, номинальный и критический моменты асинхронного двигателя

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{\pi n_{\text{НОМ}}}{30} = \frac{\pi \cdot 2850}{30} = 298,3 \text{ рад/с}$$

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{185}{298,3} = 0,62 \text{ кНм}$$

$$M_{\text{к}} = \lambda M_{\text{НОМ}} = 2 \cdot 0,62 = 1,24 \text{ кНм}$$

Определим номинальное и критическое скольжения асинхронного двигателя

$$s_{\text{НОМ}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{НОМ}}}{\omega_0} = \frac{314 - 298,3}{314} = 0,05$$

$$s_{\text{к}} = s_{\text{НОМ}} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,05 \cdot (2 + \sqrt{2^2 - 1}) = 0,187$$

Определим значения моментов сопротивления

$$M_1 = \beta_1 M_{\text{НОМ}} = 0,5 \cdot 0,62 = 0,31 \text{ кНм}$$

$$M_2 = \beta_2 M_{\text{НОМ}} = 0,75 \cdot 0,62 = 0,47 \text{ кНм}$$

$$M_3 = \beta_3 M_{\text{НОМ}} = 1 \cdot 0,62 = 0,62 \text{ кНм}$$

Определим скольжения и частоты вращения ротора асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$s_1 = \beta_1 s_{\text{НОМ}} = 0,5 \cdot 0,05 = 0,025$$

$$s_2 = \beta_2 s_{\text{НОМ}} = 0,75 \cdot 0,05 = 0,0375$$

$$s_3 = s_{\text{НОМ}} = 0,05$$

$$\omega_1 = \omega_0 (1 - s_1) = 314 (1 - 0,025) = 306,2 \text{ рад/с}$$

$$\omega_2 = \omega_0 (1 - s_2) = 314 (1 - 0,0375) = 302,2 \text{ рад/с}$$

$$\omega_3 = \omega_{\text{НОМ}} = 298,3 \text{ рад/с}$$

Определим значение потребляемой мощности асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$P_{11} = M_1 \omega_0 = 0,31 \cdot 314 = 97,4 \text{ кВт}$$

$$P_{12} = M_2 \omega_0 = 0,47 \cdot 314 = 146,1 \text{ кВт}$$

$$P_{13} = M_3 \omega_0 = 0,62 \cdot 314 = 194,8 \text{ кВт}$$

Определим значение мощности на валу асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$P_{21} = M_1 \omega_1 = 0,31 \cdot 306,2 = 94,9 \text{ кВт}$$

$$P_{22} = M_2 \omega_2 = 0,47 \cdot 302,2 = 140,6 \text{ кВт}$$

$$P_{23} = M_3 \omega_3 = 0,62 \cdot 298,3 = 185 \text{ кВт}$$

Определим величину потерь мощности при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$\Delta P_1 = P_{11} - P_{21} = 97,4 - 94,9 = 2,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_2 = P_{12} - P_{22} = 146,1 - 140,6 = 5,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_3 = P_{13} - P_{23} = 194,8 - 185 = 9,8 \text{ кВт}$$

Определим значение коэффициента полезного действия асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$\eta_1 = \frac{P_{21}}{P_{11}} = \frac{94,9}{97,4} = 0,975 \qquad \eta_2 = \frac{P_{22}}{P_{12}} = \frac{140,6}{146,1} = 0,962$$

$$\eta_3 = \eta_{\text{ном}} = \frac{P_{23}}{P_{13}} = \frac{185}{194,8} = 0,95$$

Определим полную мощность, потребляемую асинхронным двигателем, в номинальном режиме

$$S_{\text{ном}} = S_3 = \frac{P_{13}}{\cos \varphi_{\text{ном}}} = \frac{194,8}{0,87} = 223,9 \text{ кВА}$$

Определим реактивную мощность, потребляемую асинхронным двигателем, в номинальном режиме

$$Q_{\text{ном}} = Q_3 = \sqrt{S_3^2 - P_{13}^2} = \sqrt{223,9^2 - 194,8^2} = 110,4 \text{ кВар}$$

Примем значение реактивной мощности в режиме холостого хода

$$Q_{\text{хх}} = 0,5Q_{\text{ном}} = 0,5 \cdot 110,4 = 55,2 \text{ кВар}$$

Определим реактивную мощность, потребляемую двигателем, при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$Q_1 = Q_{xx} + (Q_{ном} - Q_{xx}) \left(\frac{P_{11}}{P_{13}} \right)^2 = 55,2 + (110,4 - 55,2) \left(\frac{97,4}{194,8} \right)^2 = 69 \text{ кВар}$$

$$Q_2 = Q_{xx} + (Q_{ном} - Q_{xx}) \left(\frac{P_{12}}{P_{13}} \right)^2 = 55,2 + (110,4 - 55,2) \left(\frac{146,1}{194,8} \right)^2 = 86,3 \text{ кВар}$$

$$Q_3 = Q_{ном} = 110,4 \text{ кВар}$$

Определим полную мощность, потребляемую асинхронным двигателем, при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$S_1 = \sqrt{(P_{11})^2 + (Q_1)^2} = \sqrt{97,4^2 + 69^2} = 119,4 \text{ кВА}$$

$$S_2 = \sqrt{(P_{12})^2 + (Q_2)^2} = \sqrt{146,1^2 + 86,3^2} = 169,7 \text{ кВА}$$

$$S_3 = S_{ном} = 223,8 \text{ кВА}$$

Определим коэффициент мощности асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_{11}}{S_1} = \frac{97,4}{119,4} = 0,816 \qquad \cos \varphi_2 = \frac{P_{12}}{S_2} = \frac{146,1}{169,7} = 0,861$$

$$\cos \varphi_3 = \cos \varphi_{ном} = 0,87$$

Результаты расчета сведены в табл. 4.1.

Расчет энергетических характеристик асинхронного двигателя при работе электропривода на промежуточной характеристике

Определим частоту вращения и скольжение асинхронного двигателя при работе на промежуточной механической характеристике при снижении частоты до уровня 75 % от номинальной частоты и номинальной нагрузки

$$\omega^* = 0,75 \omega_{ном} = 0,75 \cdot 298,3 = 223,7 \text{ рад/с}$$

$$s^* = \frac{\omega_0 - \omega^*}{\omega_0} = \frac{314 - 223,7}{314} = 0,288$$

Определим критическое скольжение асинхронного двигателя при работе на промежуточной механической характеристике

$$s_k^* = s^* (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,288(2 + \sqrt{2^2 - 1}) = 1,073$$

Определим скольжения и частоту вращения при работе асинхронного двигателя на промежуточной механической характеристике с разной нагрузкой

$$s_1^* = \beta_1 s^* = 0,5 \cdot 0,288 = 0,144$$

$$s_2^* = \beta_2 s^* = 0,75 \cdot 0,288 = 0,216$$

$$s_3^* = s^* = 0,288$$

$$\omega_1^* = \omega_0(1 - s_1^*) = 314(1 - 0,144) = 268,9 \text{ рад/с}$$

$$\omega_2^* = \omega_0(1 - s_2^*) = 314(1 - 0,216) = 246,3 \text{ рад/с}$$

$$\omega_3^* = \omega^* = 223,7 \text{ рад/с}$$

Для расчета энергетических характеристик асинхронного двигателя при работе на промежуточной механической характеристике воспользуемся методикой, приведенной в пункте 1 настоящей задачи.

Результаты расчета сведены в табл. 4.1.

Расчет энергетических характеристик асинхронного двигателя при работе электропривода на пусковой характеристике

Определим частоту вращения и скольжение асинхронного двигателя при работе на пусковой механической характеристике при снижении частоты до уровня 50 % от номинальной частоты и номинальной нагрузки

$$\omega^{**} = 0,5\omega_{\text{ном}} = 0,5 \cdot 298,3 = 149,2 \text{ рад/с}$$

$$s^{**} = \frac{\omega_0 - \omega^{**}}{\omega_0} = \frac{314 - 149,2}{314} = 0,525$$

Определим критическое скольжение асинхронного двигателя при работе на пусковой механической характеристике

$$s_{\text{к}}^{**} = s^{**} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,525(2 + \sqrt{2^2 - 1}) = 1,959$$

Определим скольжения и частоту вращения при работе асинхронного двигателя на пусковой механической характеристике с разной нагрузкой

$$s_1^{**} = \beta_1 s^{**} = 0,5 \cdot 0,525 = 0,263$$

$$s_2^{**} = \beta_2 s^{**} = 0,75 \cdot 0,525 = 0,394$$

$$s_3^{**} = s^{**} = 0,525$$

$$\omega_1^{**} = \omega_0(1 - s_1^{**}) = 314(1 - 0,263) = 231,6 \text{ рад/с}$$

$$\omega_2^{**} = \omega_0(1 - s_2^{**}) = 314(1 - 0,394) = 190,4 \text{ рад/с}$$

$$\omega_3^{**} = \omega^{**} = 149,2 \text{ рад/с}$$

Для расчета энергетических характеристик асинхронного двигателя при работе на пусковой механической характеристике воспользуемся методикой, приведенной в пункте 1 настоящей задачи.

Результаты расчета сведены в табл. 4.1.

Замечание: построение механических характеристик асинхронного электропривода с реостатным регулированием, построение зависимостей коэффициента полезного действия асинхронного двигателя от коэффициента загрузки, построение зависимостей коэффициента мощности асинхронного двигателя от коэффициента загрузки выполняется самостоятельно.

Таблица 4.1

Результаты расчета энергетических характеристик
асинхронного электропривода с реостатным регулированием

Характеристика	Коэффициент загрузки, о.е.		
	0,5	0,75	1
Энергетические характеристики асинхронного двигателя при работе электропривода на естественной характеристике			
Мощность на валу, кВт	97,4	146,1	194,8
Потребляемая мощность, кВт	94,9	140,6	185,0
Потери мощности, кВт	2,5	5,5	9,8
Коэффициент полезного действия	0,975	0,962	0,950
Реактивная мощность, кВар	69,0	86,3	110,4
Полная мощность, кВА	119,4	169,7	223,9
Коэффициент мощности	0,816	0,861	0,870
Энергетические характеристики асинхронного двигателя при работе электропривода на промежуточной характеристике			
Мощность на валу, кВт	130	194,7	259,6
Потребляемая мощность, кВт	111,1	152,7	185
Потери мощности, кВт	18,7	42	74,6
Коэффициент полезного действия	0,86	0,78	0,71
Реактивная мощность, кВар	92	115	147,1
Полная мощность, кВА	159	226,1	298,4
Коэффициент мощности	0,816	0,861	0,870
Энергетические характеристики асинхронного двигателя при работе электропривода на пусковой характеристике			
Мощность на валу, кВт	194,7	292,1	389,5
Потребляемая мощность, кВт	143,6	177	185
Потери мощности, кВт	51,1	115	204,5
Коэффициент полезного действия	0,7	0,6	0,5
Реактивная мощность, кВар	138	172,4	220,7
Полная мощность, кВА	238,6	339,2	447,7
Коэффициент мощности	0,816	0,861	0,870

4.2. Исходные данные для задачи

№	$P_{\text{НОМ}}$	$\cos \varphi_{\text{НОМ}}$	$n_{\text{НОМ}}$	λ	β_1	β_2	β_3	ω	ω^*	ω^{**}
1.	45	0.81	1460	2.0	0.50	0.75	1.0	1.0	0.75	0.50
2.	55	0.81	1480	2.5	0.40	0.7	1.0	1.0	0.7	0.5
3.	75	0.82	1440	3.0	0.60	0.8	1.0	1.0	0.8	0.4
4.	90	0.82	1420	2.0	0.50	0.65	1.0	1.0	0.75	0.4
5.	110	0.83	1450	2.5	0.50	0.75	1.0	1.0	0.8	0.5
6.	132	0.84	1460	3.0	0.40	0.7	1.0	1.0	0.75	0.50
7.	150	0.84	1480	2.0	0.60	0.8	1.0	1.0	0.7	0.5
8.	160	0.85	1440	2.5	0.50	0.65	1.0	1.0	0.8	0.4
9.	185	0.85	1420	3.0	0.50	0.75	1.0	1.0	0.75	0.4
10.	200	0.86	1450	2.0	0.40	0.7	1.0	1.0	0.8	0.5
11.	220	0.86	1460	2.5	0.60	0.8	1.0	1.0	0.75	0.50
12.	250	0.87	1480	3.0	0.50	0.65	1.0	1.0	0.7	0.5
13.	280	0.87	1440	2.0	0.50	0.75	1.0	1.0	0.8	0.4
14.	300	0.88	1460	2.5	0.40	0.7	1.0	1.0	0.75	0.4
15.	350	0.88	1480	3.0	0.50	0.8	1.0	1.0	0.8	0.5
16.	45	0.81	1440	2.0	0.40	0.65	1.0	1.0	0.75	0.4
17.	55	0.81	1420	2.5	0.60	0.75	1.0	1.0	0.8	0.5
18.	75	0.82	1450	2.0	0.50	0.7	1.0	1.0	0.75	0.50
19.	90	0.82	1460	2.5	0.50	0.8	1.0	1.0	0.7	0.5
20.	110	0.83	1480	3.0	0.40	0.65	1.0	1.0	0.8	0.4
21.	132	0.84	1440	2.0	0.60	0.75	1.0	1.0	0.75	0.4
22.	150	0.84	1460	2.5	0.50	0.65	1.0	1.0	0.75	0.4
23.	160	0.85	1480	2.5	0.50	0.75	1.0	1.0	0.8	0.5
24.	185	0.85	1440	3.0	0.40	0.7	1.0	1.0	0.75	0.50
25.	200	0.86	1420	2.0	0.50	0.8	1.0	1.0	0.7	0.5
26.	220	0.86	1460	2.5	0.50	0.65	1.0	1.0	0.8	0.4
27.	250	0.87	1480	2.5	0.40	0.75	1.0	1.0	0.75	0.4
28.	280	0.87	1440	3.0	0.60	0.7	1.0	1.0	0.8	0.5
29.	300	0.88	1420	2.0	0.50	0.65	1.0	1.0	0.75	0.4
30.	350	0.88	1450	2.5	0.40	0.75	1.0	1.0	0.8	0.5

5. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПАРАМЕТРИЧЕСКИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

5.1. Расчет энергетических характеристик асинхронного электропривода с параметрическим регулированием

Для расчета энергетических характеристик асинхронного электропривода с параметрическим регулированием необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. рассчитать энергетические характеристики асинхронного двигателя при работе электропривода на естественной характеристике;
2. рассчитать энергетические характеристики асинхронного двигателя при работе электропривода на искусственной характеристике;
3. определить изменение перегрузочной способности асинхронного двигателя при параметрическом регулировании;
4. построить механические характеристики асинхронного двигателя;
5. построить зависимость коэффициента полезного действия асинхронного двигателя от коэффициента загрузки;
6. построить зависимость коэффициента мощности асинхронного двигателя от коэффициента загрузки;
7. выводы.

Исходные данные для расчета энергетических характеристик асинхронного электропривода с параметрическим регулированием:

1. Схема асинхронного электропривода с параметрическим регулированием приведена на рис. 5.1:

- | | |
|------------------------------------|---|
| – номинальная мощность двигателя | $P_{\text{ном}} = 185 \text{ кВт};$ |
| – номинальное напряжение двигателя | $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В};$ |
| – номинальный коэффициент мощности | $\cos \varphi_{\text{ном}} = 0,87;$ |
| – номинальная скорость | $n_{\text{ном}} = 2850 \text{ об/мин};$ |
| – перегрузочная способность | $\lambda = 2;$ |

– коэффициент загрузки

$$\beta_1 = 0,50;$$

$$\beta_2 = 0,75;$$

$$\beta_3 = 1,00.$$

2. Частота вращения при номинальной нагрузке:

– естественная характеристика

$$\omega = \omega_{\text{НОМ}};$$

– промежуточная характеристика

$$\omega^* = 0,9 \omega_{\text{НОМ}}.$$

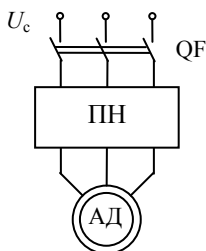


Рис. 5.1. Схема асинхронного электропривода с параметрическим регулированием

Расчет энергетических характеристик асинхронного электропривода на естественной характеристике

Определим номинальную частоту вращения, номинальный и критический моменты асинхронного двигателя

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{\pi n_{\text{НОМ}}}{30} = \frac{\pi \cdot 2850}{30} = 298,3 \text{ рад/с}$$

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{185}{298,3} = 0,62 \text{ кНм}$$

$$M_{\text{к}} = \lambda M_{\text{НОМ}} = 2 \cdot 0,62 = 1,24 \text{ кНм}$$

Определим номинальное и критическое скольжения асинхронного двигателя

$$s_{\text{НОМ}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{НОМ}}}{\omega_0} = \frac{314 - 298,3}{314} = 0,05$$

$$s_k = s_{\text{НОМ}} \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) = 0,05 \cdot \left(2 + \sqrt{2^2 - 1} \right) = 0,187$$

Определим значения моментов сопротивления

$$M_1 = \beta_1 M_{\text{НОМ}} = 0,5 \cdot 0,62 = 0,31 \text{ кНм}$$

$$M_2 = \beta_2 M_{\text{НОМ}} = 0,75 \cdot 0,62 = 0,47 \text{ кНм}$$

$$M_3 = \beta_3 M_{\text{НОМ}} = 1 \cdot 0,62 = 0,62 \text{ кНм}$$

Определим скольжения и частоты вращения ротора асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$s_1 = \beta_1 s_{\text{НОМ}} = 0,5 \cdot 0,05 = 0,025$$

$$s_2 = \beta_2 s_{\text{НОМ}} = 0,75 \cdot 0,05 = 0,0375$$

$$s_3 = s_{\text{НОМ}} = 0,05$$

$$\omega_1 = \omega_0(1 - s_1) = 314(1 - 0,025) = 306,2 \text{ рад/с}$$

$$\omega_2 = \omega_0(1 - s_2) = 314(1 - 0,0375) = 302,2 \text{ рад/с}$$

$$\omega_3 = \omega_{\text{НОМ}} = 298,3 \text{ рад/с}$$

Определим значение потребляемой мощности асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$P_{11} = M_1 \omega_0 = 0,31 \cdot 314 = 97,4 \text{ кВт}$$

$$P_{12} = M_2 \omega_0 = 0,47 \cdot 314 = 146,1 \text{ кВт}$$

$$P_{13} = M_3 \omega_0 = 0,62 \cdot 314 = 194,8 \text{ кВт}$$

Определим значение мощности на валу асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$P_{21} = M_1 \omega_1 = 0,31 \cdot 306,2 = 94,9 \text{ кВт}$$

$$P_{22} = M_2 \omega_2 = 0,47 \cdot 302,2 = 140,6 \text{ кВт}$$

$$P_{23} = M_3 \omega_3 = 0,62 \cdot 298,3 = 185 \text{ кВт}$$

Определим величину потерь мощности при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$\Delta P_1 = P_{11} - P_{21} = 97,4 - 94,9 = 2,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_2 = P_{12} - P_{22} = 146,1 - 140,6 = 5,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_3 = P_{13} - P_{23} = 194,8 - 185 = 9,8 \text{ кВт}$$

Определим значение коэффициента полезного действия асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$\eta_1 = \frac{P_{21}}{P_{11}} = \frac{94,9}{97,4} = 0,975 \qquad \eta_2 = \frac{P_{22}}{P_{12}} = \frac{140,6}{146,1} = 0,962$$

$$\eta_3 = \eta_{\text{ном}} = \frac{P_{23}}{P_{13}} = \frac{185}{194,8} = 0,95$$

Определим полную мощность, потребляемую асинхронным двигателем, в номинальном режиме

$$S_{\text{ном}} = S_3 = \frac{P_{13}}{\cos \varphi_{\text{ном}}} = \frac{194,8}{0,87} = 223,9 \text{ кВА}$$

Определим реактивную мощность, потребляемую асинхронным двигателем, в номинальном режиме

$$Q_{\text{ном}} = Q_3 = \sqrt{S_3^2 - P_{13}^2} = \sqrt{223,9^2 - 194,8^2} = 110,4 \text{ кВар}$$

Примем значение реактивной мощности в режиме холостого хода

$$Q_{\text{хх}} = 0,5Q_{\text{ном}} = 0,5 \cdot 110,4 = 55,2 \text{ кВар}$$

Определим реактивную мощность, потребляемую двигателем, при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$Q_1 = Q_{\text{хх}} + (Q_{\text{ном}} - Q_{\text{хх}}) \left(\frac{P_{11}}{P_{13}} \right)^2 = 55,2 + (110,4 - 55,2) \left(\frac{97,4}{194,8} \right)^2 = 69 \text{ кВар}$$

$$Q_2 = Q_{\text{хх}} + (Q_{\text{ном}} - Q_{\text{хх}}) \left(\frac{P_{12}}{P_{13}} \right)^2 = 55,2 + (110,4 - 55,2) \left(\frac{146,1}{194,8} \right)^2 = 86,3 \text{ кВар}$$

$$Q_3 = Q_{\text{ном}} = 110,4 \text{ кВар}$$

Определим полную мощность, потребляемую асинхронным двигателем, при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$S_1 = \sqrt{(P_{11})^2 + (Q_1)^2} = \sqrt{97,4^2 + 69^2} = 119,4 \text{ кВА}$$

$$S_2 = \sqrt{(P_{12})^2 + (Q_2)^2} = \sqrt{146,1^2 + 86,3^2} = 169,7 \text{ кВА}$$

$$S_3 = S_{\text{ном}} = 223,8 \text{ кВА}$$

Определим коэффициент мощности асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_{11}}{S_1} = \frac{97,4}{119,4} = 0,816 \qquad \cos \varphi_2 = \frac{P_{12}}{S_2} = \frac{146,1}{169,7} = 0,861$$

$$\cos \varphi_3 = \cos \varphi_{\text{ном}} = 0,87$$

Результаты расчета сведены в табл. 5.1.

Расчет энергетических характеристик асинхронного электропривода на искусственной характеристике

Определим частоту вращения и скольжение асинхронного двигателя при снижении напряжения на 10 % и работе электропривода с номинальной нагрузкой

$$\omega^* = 0,9\omega_{\text{ном}} = 0,9 \cdot 298,3 = 268,5 \text{ рад/с}$$

$$s^* = \frac{\omega_0 - \omega^*}{\omega_0} = \frac{314 - 268,5}{314} = 0,145$$

Определим критическое скольжение асинхронного двигателя

$$s_{\text{к}}^* = s_{\text{к}} = 0,187$$

Определим критический момент асинхронного двигателя

$$M_{\text{к}}^* = \frac{M_{\text{ном}}}{2} \left(\frac{s^*}{s_{\text{к}}} + \frac{s_{\text{к}}}{s^*} \right) = \frac{0,62}{2} \left(\frac{0,187}{0,145} + \frac{0,145}{0,187} \right) = 0,64 \text{ кНм}$$

Определим скольжения и частоту вращения ротора асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$s_1^* = \beta_1 s^* = 0,5 \cdot 0,145 = 0,073$$

$$s_2^* = \beta_2 s^* = 0,75 \cdot 0,145 = 0,109$$

$$s_3^* = s^* = 0,145$$

$$\omega_1^* = \omega_0(1 - s_1^*) = 314(1 - 0,073) = 291,2 \text{ рад/с}$$

$$\omega_2^* = \omega_0(1 - s_2^*) = 314(1 - 0,109) = 279,9 \text{ рад/с}$$

$$\omega_3^* = \omega^* = 268,5 \text{ рад/с}$$

Определим значение потребляемой мощности асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$P_{11}^* = P_{11} = M_1 \omega_0 = 0,31 \cdot 314 = 97,4 \text{ кВт}$$

$$P_{12}^* = P_{11} = M_2 \omega_0 = 0,47 \cdot 314 = 146,1 \text{ кВт}$$

$$P_{13}^* = P_{11} = M_3 \omega_0 = 0,62 \cdot 314 = 194,8 \text{ кВт}$$

Определим значение мощности на валу асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$P_{21}^* = M_1 \omega_1^* = 0,31 \cdot 291,2 = 90,3 \text{ кВт}$$

$$P_{22}^* = M_2 \omega_2^* = 0,47 \cdot 279,9 = 130,2 \text{ кВт}$$

$$P_{23}^* = M_3 \omega_3^* = 0,62 \cdot 268,5 = 166,5 \text{ кВт}$$

Определим величину потерь мощности при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$\Delta P_1^* = P_{11}^* - P_{21}^* = 97,4 - 90,3 = 7,1 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_2^* = P_{12}^* - P_{22}^* = 146,1 - 130,2 = 15,9 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_3^* = P_{13}^* - P_{23}^* = 195,8 - 166,5 = 28,2 \text{ кВт}$$

Определим значение коэффициента полезного действия асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$\eta_1^* = \frac{P_{21}^*}{P_{11}^*} = \frac{90,3}{97,4} = 0,928$$

$$\eta_2^* = \frac{P_{22}^*}{P_{12}^*} = \frac{130,2}{146,1} = 0,891$$

$$\eta_3^* = \frac{P_{23}^*}{P_{13}^*} = \frac{166,5}{194,8} = 0,855$$

Примем значение реактивной мощности в режиме холостого хода

$$Q_{xx}^* = 0,9Q_{xx} = 0,9 \cdot 55,2 = 49,7 \text{ кВар}$$

Определим реактивную мощность, потребляемую двигателем, при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$Q_1^* = Q_{xx}^* + (Q_{ном} - Q_{xx}^*) \left(\frac{P_{11}^*}{P_{13}^*} \right)^2 = 49,7 + (110,4 - 49,7) \left(\frac{97,4}{194,8} \right)^2 = 64,8 \text{ кВар}$$

$$Q_2^* = Q_{xx}^* + (Q_{ном} - Q_{xx}^*) \left(\frac{P_{12}^*}{P_{13}^*} \right)^2 = 49,7 + (110,4 - 49,7) \left(\frac{146,1}{194,8} \right)^2 = 83,8 \text{ кВар}$$

$$Q_3^* = Q_{ном} = 110,4 \text{ кВар}$$

Определим полную мощность, потребляемую асинхронным двигателем, при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$S_1^* = \sqrt{(P_{11}^*)^2 + (Q_1^*)^2} = \sqrt{97,4^2 + 64,8^2} = 117 \text{ кВА}$$

$$S_2^* = \sqrt{(P_{12}^*)^2 + (Q_2^*)^2} = \sqrt{146,1^2 + 83,8^2} = 168,4 \text{ кВА}$$

$$S_3^* = S_{ном} = 223,8 \text{ кВА}$$

Определим коэффициент мощности асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$\cos \varphi_1^* = \frac{P_{11}^*}{S_1^*} = \frac{97,4}{117} = 0,832 \quad \cos \varphi_2^* = \frac{P_{12}^*}{S_2^*} = \frac{146,1}{168,4} = 0,867$$

$$\cos \varphi_3^* = \cos \varphi_{ном} = 0,87$$

Результаты расчета сведены в табл. 5.1.

Определение перегрузочной способности асинхронного двигателя при параметрическом регулировании

Определим перегрузочную способность асинхронного двигателя с параметрическим регулированием. При работе на естественной характеристике перегрузочная способность асинхронного двигателя

$$\lambda_{\text{ном}} = \frac{M_{\text{к}}}{M_{\text{ном}}} = \frac{1240}{620} = 2$$

При снижении напряжения на 10 % от номинального значения перегрузочная способность асинхронного двигателя

$$\lambda^* = \frac{M_{\text{к}}^*}{M_{\text{ном}}} = \frac{640}{620} = 1,03$$

Замечание: построение механических характеристик асинхронного электропривода с реостатным регулированием выполняется самостоятельно.

Таблица 5.1

Результаты расчета энергетических характеристик асинхронного электропривода с параметрическим регулированием

Характеристика	Коэффициент загрузки, о.е.		
	0,5	0,75	1
Энергетические характеристики асинхронного двигателя на естественной характеристике			
Мощность на валу, кВт	97,4	146,1	194,8
Потребляемая мощность, кВт	94,9	140,6	185,0
Потери мощности, кВт	2,5	5,5	9,8
Коэффициент полезного действия	0,975	0,962	0,950
Реактивная мощность, кВар	69,0	86,3	110,4
Полная мощность, кВА	119,4	169,7	223,9
Коэффициент мощности	0,816	0,861	0,870
Энергетические характеристики асинхронного двигателя на искусственной характеристике			
Мощность на валу, кВт	97,4	146,1	194,8
Потребляемая мощность, кВт	90,3	130,2	166,5
Потери мощности, кВт	7	15,9	28,2
Коэффициент полезного действия	0,93	0,89	0,85
Реактивная мощность, кВар	64,8	83,8	110,4
Полная мощность, кВА	117	168,4	223,8
Коэффициент мощности	0,832	0,867	0,870

5.2. Исходные данные для задачи

№	$P_{\text{НОМ}}$	$\cos \varphi_{\text{НОМ}}$	$n_{\text{НОМ}}$	λ	β_1	β_2	β_3	ω	ω^*
1.	45	0.81	1460	2.0	0.50	0.75	1.0	1.0	0.90
2.	55	0.81	1480	2.5	0.40	0.7	1.0	1.0	0.88
3.	75	0.82	1440	3.0	0.60	0.8	1.0	1.0	0.91
4.	90	0.82	1420	2.0	0.50	0.65	1.0	1.0	0.89
5.	110	0.83	1450	2.5	0.50	0.75	1.0	1.0	0.92
6.	132	0.84	1460	3.0	0.40	0.7	1.0	1.0	0.9
7.	150	0.84	1480	2.0	0.60	0.8	1.0	1.0	0.90
8.	160	0.85	1440	2.5	0.50	0.65	1.0	1.0	0.88
9.	185	0.85	1420	3.0	0.50	0.75	1.0	1.0	0.91
10.	200	0.86	1450	2.0	0.40	0.7	1.0	1.0	0.89
11.	220	0.86	1460	2.5	0.60	0.8	1.0	1.0	0.92
12.	250	0.87	1480	3.0	0.50	0.65	1.0	1.0	0.9
13.	280	0.87	1440	2.0	0.50	0.75	1.0	1.0	0.90
14.	300	0.88	1460	2.5	0.40	0.7	1.0	1.0	0.88
15.	350	0.88	1480	3.0	0.50	0.8	1.0	1.0	0.91
16.	45	0.81	1440	2.0	0.40	0.65	1.0	1.0	0.89
17.	55	0.81	1420	2.5	0.60	0.75	1.0	1.0	0.92
18.	75	0.82	1450	2.0	0.50	0.7	1.0	1.0	0.9
19.	90	0.82	1460	2.5	0.50	0.8	1.0	1.0	0.90
20.	110	0.83	1480	3.0	0.40	0.65	1.0	1.0	0.88
21.	132	0.84	1440	2.0	0.60	0.75	1.0	1.0	0.91
22.	150	0.84	1460	2.5	0.50	0.65	1.0	1.0	0.89
23.	160	0.85	1480	2.5	0.50	0.75	1.0	1.0	0.92
24.	185	0.85	1440	3.0	0.40	0.7	1.0	1.0	0.9
25.	200	0.86	1420	2.0	0.50	0.8	1.0	1.0	0.90
26.	220	0.86	1460	2.5	0.50	0.65	1.0	1.0	0.88
27.	250	0.87	1480	2.5	0.40	0.75	1.0	1.0	0.91
28.	280	0.87	1440	3.0	0.60	0.7	1.0	1.0	0.89
29.	300	0.88	1420	2.0	0.50	0.65	1.0	1.0	0.92
30.	350	0.88	1450	2.5	0.40	0.75	1.0	1.0	0.9

6. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЧАСТОТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ

6.1. Расчет энергетических характеристик асинхронного электропривода с частотным регулированием

Для расчета энергетических характеристик асинхронного электропривода с частотным регулированием необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. рассчитать энергетические характеристики асинхронного двигателя при работе электропривода на естественной характеристике;
2. рассчитать энергетические характеристики асинхронного двигателя при работе электропривода на промежуточной характеристике;
3. рассчитать энергетические характеристики асинхронного двигателя при работе электропривода на сниженной характеристике;
4. построить механические характеристики асинхронного двигателя;
5. построить зависимость коэффициента полезного действия асинхронного двигателя от коэффициента загрузки;
6. построить зависимость коэффициента мощности асинхронного двигателя от коэффициента загрузки;
7. выводы.

Исходные данные для расчета энергетических характеристик асинхронного электропривода с частотным регулированием:

1. Схема асинхронного электропривода с частотным регулированием приведена на рис. 6.1:

- | | |
|------------------------------------|---|
| – номинальная мощность двигателя | $P_{\text{ном}} = 185 \text{ кВт};$ |
| – номинальное напряжение двигателя | $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В};$ |
| – номинальный коэффициент мощности | $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,87;$ |
| – номинальная скорость | $n_{\text{ном}} = 2850 \text{ об/мин};$ |
| – перегрузочная способность | $\lambda = 2;$ |

– коэффициент загрузки

$$\beta_1 = 0,50;$$

$$\beta_2 = 0,75;$$

$$\beta_3 = 1,00.$$

2. Частота вращения при номинальной нагрузке:

– естественная характеристика

$$\omega = \omega_{\text{НОМ}};$$

– промежуточная характеристика

$$\omega^* = 0,75 \omega_{\text{НОМ}};$$

– пусковая характеристика

$$\omega^{**} = 0,5 \omega_{\text{НОМ}}.$$

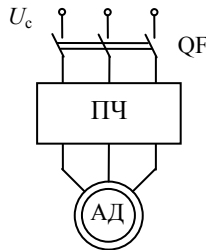


Рис. 6.1. Схема асинхронного электропривода с частотным регулированием

1. Расчет энергетических характеристик асинхронного двигателя при работе электропривода на естественной характеристике

Определим номинальную частоту вращения, номинальный и критический моменты асинхронного двигателя

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{\pi n_{\text{НОМ}}}{30} = \frac{\pi \cdot 2850}{30} = 298,3 \text{ рад/с}$$

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} = \frac{185}{298,3} = 0,62 \text{ кНм}$$

$$M_{\text{К}} = \lambda M_{\text{НОМ}} = 2 \cdot 0,62 = 1,24 \text{ кНм}$$

Определим номинальное и критическое скольжения асинхронного двигателя

$$s_{\text{НОМ}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{НОМ}}}{\omega_0} = \frac{314 - 298,3}{314} = 0,05$$

$$s_k = s_{\text{НОМ}} \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) = 0,05 \cdot \left(2 + \sqrt{2^2 - 1} \right) = 0,187$$

Определим значения моментов сопротивления

$$M_1 = \beta_1 M_{\text{НОМ}} = 0,5 \cdot 0,62 = 0,31 \text{ кНм}$$

$$M_2 = \beta_2 M_{\text{НОМ}} = 0,75 \cdot 0,62 = 0,47 \text{ кНм}$$

$$M_3 = \beta_3 M_{\text{НОМ}} = 1 \cdot 0,62 = 0,62 \text{ кНм}$$

Определим скольжения и частоты вращения ротора асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$s_1 = \beta_1 s_{1\text{НОМ}} = 0,5 \cdot 0,05 = 0,025$$

$$s_2 = \beta_2 s_{1\text{НОМ}} = 0,75 \cdot 0,05 = 0,0375$$

$$s_3 = s_{1\text{НОМ}} = 0,05$$

$$\omega_1 = \omega_0 (1 - s_1) = 314 (1 - 0,025) = 306,2 \text{ рад/с}$$

$$\omega_2 = \omega_0 (1 - s_2) = 314 (1 - 0,0375) = 302,2 \text{ рад/с}$$

$$\omega_3 = \omega_{\text{НОМ}} = 298,3 \text{ рад/с}$$

Определим значение потребляемой мощности асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$P_{11} = M_1 \omega_0 = 0,31 \cdot 314 = 97,4 \text{ кВт}$$

$$P_{12} = M_2 \omega_0 = 0,47 \cdot 314 = 146,1 \text{ кВт}$$

$$P_{13} = M_3 \omega_0 = 0,62 \cdot 314 = 194,8 \text{ кВт}$$

Определим значение мощности на валу асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$P_{21} = M_1 \omega_1 = 0,31 \cdot 306,2 = 94,9 \text{ кВт}$$

$$P_{22} = M_2 \omega_2 = 0,47 \cdot 302,2 = 140,6 \text{ кВт}$$

$$P_{23} = M_3 \omega_3 = 0,62 \cdot 298,3 = 185 \text{ кВт}$$

Определим величину потерь мощности при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$\Delta P_1 = P_{11} - P_{21} = 97,4 - 94,9 = 2,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_2 = P_{12} - P_{22} = 146,1 - 140,6 = 5,5 \text{ кВт}$$

$$\Delta P_3 = P_{13} - P_{23} = 194,8 - 185 = 9,8 \text{ кВт}$$

Определим значение коэффициента полезного действия асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$\eta_1 = \frac{P_{21}}{P_{11}} = \frac{94,9}{97,4} = 0,975 \qquad \eta_2 = \frac{P_{22}}{P_{12}} = \frac{140,6}{146,1} = 0,962$$

$$\eta_3 = \eta_{\text{ном}} = \frac{P_{23}}{P_{13}} = \frac{185}{194,8} = 0,95$$

Определим полную мощность, потребляемую асинхронным двигателем, в номинальном режиме

$$S_{\text{ном}} = S_3 = \frac{P_{13}}{\cos \varphi_{\text{ном}}} = \frac{194,8}{0,87} = 223,9 \text{ рад/с}$$

Определим реактивную мощность, потребляемую асинхронным двигателем, в номинальном режиме

$$Q_{\text{ном}} = Q_3 = \sqrt{S_3^2 - P_{13}^2} = \sqrt{223,9^2 - 194,8^2} = 110,4 \text{ кВар}$$

Примем значение реактивной мощности в режиме холостого хода

$$Q_{\text{xx}} = 0,5 Q_{\text{ном}} = 0,5 \cdot 110,4 = 55,2 \text{ кВар}$$

Определим реактивную мощность, потребляемую двигателем, при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$Q_1 = Q_{\text{xx}} + (Q_{\text{ном}} - Q_{\text{xx}}) \left(\frac{P_{11}}{P_{13}} \right)^2 = 55,2 + (110,4 - 55,2) \left(\frac{97,4}{194,8} \right)^2 \\ = 69 \text{ кВар}$$

$$Q_2 = Q_{\text{xx}} + (Q_{\text{ном}} - Q_{\text{xx}}) \left(\frac{P_{12}}{P_{13}} \right)^2 = 55,2 + (110,4 - 55,2) \left(\frac{146,1}{194,8} \right)^2 \\ = 86,3 \text{ кВар}$$

$$Q_3 = Q_{\text{ном}} = 110,4 \text{ кВар}$$

Определим полную мощность, потребляемую асинхронным двигателем, при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$S_1 = \sqrt{(P_{11})^2 + (Q_1)^2} = \sqrt{97,4^2 + 69^2} = 119,4 \text{ кВА}$$

$$S_2 = \sqrt{(P_{12})^2 + (Q_2)^2} = \sqrt{146,1^2 + 86,3^2} = 169,7 \text{ кВА}$$

$$S_3 = S_{\text{ном}} = 223,8 \text{ кВА}$$

Определим коэффициент мощности асинхронного двигателя при работе на естественной характеристике с разной нагрузкой

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_{11}}{S_1} = \frac{97,4}{119,4} = 0,816 \quad \cos \varphi_2 = \frac{P_{12}}{S_2} = \frac{146,1}{169,7} = 0,861$$

$$\cos \varphi_3 = \cos \varphi_{\text{ном}} = 0,87$$

Результаты расчета сведены в табл. 6.1.

Расчет энергетических характеристик асинхронного двигателя при работе электропривода на промежуточной характеристике

Определим синхронную частоту вращения и соответствующее ей скольжение асинхронного двигателя при снижении частоты до уровня 75 % от номинальной частоты

$$\omega_0^* = 0,75\omega_0 = 0,75 \cdot 314 = 235,5 \text{ рад/с}$$

$$s_0^* = \frac{\omega_0 - \omega_0^*}{\omega_0} = \frac{314 - 235,5}{314} = 0,25$$

Определим частоту вращения и скольжение асинхронного двигателя при работе на промежуточной механической характеристике

$$\omega^* = 0,75\omega_{\text{ном}} = 0,75 \cdot 298,3 = 223,7 \text{ рад/с}$$

$$s^* = \frac{\omega_0 - \omega^*}{\omega_0} = \frac{314 - 223,7}{314} = 0,288$$

Определим критическое скольжение асинхронного двигателя при работе на промежуточной механической характеристике

$$s_k^* = s^* \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) = 0,288(2 + \sqrt{2^2 - 1}) = 1,073$$

Определим скольжения и частоту вращения при работе асинхронного двигателя на промежуточной механической характеристике с разной нагрузкой

$$s_1^* = \beta_1 s^* = 0,5 \cdot 0,288 = 0,144$$

$$s_2^* = \beta_2 s^* = 0,75 \cdot 0,288 = 0,216$$

$$s_3^* = s^* = 0,288$$

$$\omega_1^* = 0,75 \omega_1 = 0,75 \cdot 306,2 = 229,7 \text{ рад/с}$$

$$\omega_2^* = 0,75 \omega_2 = 0,75 \cdot 302,2 = 226,7 \text{ рад/с}$$

$$\omega_3^* = \omega^* = 223,7 \text{ рад/с}$$

Для расчета энергетических характеристик асинхронного двигателя при работе на промежуточной механической характеристике воспользуемся методикой, приведенной в пункте 1 настоящей задачи. Результаты расчета сведены в табл. 6.1.

Расчет энергетических характеристик асинхронного двигателя при работе электропривода на сниженной характеристике

Определим синхронную частоту вращения и соответствующее ей скольжение асинхронного двигателя при снижении частоты до уровня 50 % от номинальной частоты

$$\omega_0^{**} = 0,5 \omega_0 = 0,5 \cdot 314 = 157 \text{ рад/с}$$

$$s_0^{**} = \frac{\omega_0 - \omega_0^*}{\omega_0} = \frac{314 - 157}{314} = 0,5$$

Определим частоту вращения и скольжение асинхронного двигателя при работе на пусковой механической характеристике при снижении частоты до уровня 50 % от номинальной частоты и номинальной нагрузки

$$\omega^{**} = 0,5\omega_{\text{НОМ}} = 0,5 \cdot 298,3 = 149,2 \text{ рад/с}$$

$$s^{**} = \frac{\omega_0 - \omega^{**}}{\omega_0} = \frac{314 - 149,2}{314} = 0,525$$

Определим критическое скольжение асинхронного двигателя при работе на пусковой механической характеристике

$$s_{\text{к}}^{**} = s^{**} (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,525(2 + \sqrt{2^2 - 1}) = 1,959$$

Определим скольжения и частоту вращения при работе асинхронного двигателя на пусковой механической характеристике с разной нагрузкой

$$s_1^{**} = \beta_1 s^{**} = 0,5 \cdot 0,525 = 0,263$$

$$s_2^{**} = \beta_2 s^{**} = 0,75 \cdot 0,525 = 0,394$$

$$s_3^{**} = s^{**} = 0,525$$

$$\omega_1^{**} = \omega_1 \cdot 0,5 \cdot 306,2 = 153,1 \text{ рад/с}$$

$$\omega_2^{**} = \omega_2 \cdot 0,5 \cdot 302,2 = 151,1 \text{ рад/с}$$

$$\omega_3^{**} = \omega^* = 149,2 \text{ рад/с}$$

Для расчета энергетических характеристик асинхронного двигателя при работе на сниженной механической характеристике воспользуемся методикой, приведенной в пункте 1 настоящей задачи. Результаты расчета сведены в табл. 6.1.

Замечание: построение механических характеристик асинхронного электропривода с реостатным регулированием, построение зависимостей коэффициента полезного действия асинхронного двигателя от коэффициента загрузки, построение зависимостей коэффициента мощности асинхронного двигателя от коэффициента загрузки выполняется самостоятельно.

Таблица 6.1

Результаты расчета энергетических характеристик
асинхронного электропривода с частотным регулированием

Характеристика	Коэффициент загрузки, о.е.		
	0,5	0,75	1
Расчет энергетических характеристик асинхронного двигателя при работе электропривода на естественной характеристике			
Мощность на валу, кВт	97,4	147,6	194,8
Потребляемая мощность, кВт	94,9	140,6	185,0
Потери мощности, кВт	2,5	5,5	9,8
Коэффициент полезного действия	0,975	0,962	0,95
Реактивная мощность, кВар	69,0	86,3	110,4
Полная мощность, кВА	119,4	169,7	223,9
Коэффициент мощности	0,816	0,861	0,870
Расчет энергетических характеристик асинхронного двигателя при работе электропривода на промежуточной характеристике			
Мощность на валу, кВт	97,4	146	194,7
Потребляемая мощность, кВт	94,95	140,6	185
Потери мощности, кВт	2,4	5,5	9,7
Коэффициент полезного действия	0,97	0,962	0,95
Реактивная мощность, кВар	41,98	60,14	82,78
Полная мощность, кВА	106,84	157,95	223,8
Коэффициент мощности	0,91	0,92	0,87
Расчет энергетических характеристик асинхронного двигателя при работе электропривода на сниженной характеристике			
Мощность на валу, кВт	97,4	146	194,7
Потребляемая мощность, кВт	94,95	140,5	185
Потери мощности, кВт	2,42	5,49	9,74
Коэффициент полезного действия	0,975	0,962	0,95
Реактивная мощность, кВар	24,15	37,1	55,18
Полная мощность, кВА	103,3	152,28	223,84
Коэффициент мощности	0,97	0,97	0,87

6.2. Исходные данные для задачи

№	$P_{\text{НОМ}}$	$\cos \varphi_{\text{НОМ}}$	$n_{\text{НОМ}}$	λ	β_1	β_2	β_3	ω	ω^*	ω^{**}
1.	220	0.85	1420	2.0	0.60	0.80	1.0	1.0	0.7	0.5
2.	250	0.85	1450	2.5	0.50	0.65	1.0	1.0	0.8	0.4
3.	280	0.86	1460	3.0	0.50	0.75	1.0	1.0	0.75	0.4
4.	300	0.86	1480	2.0	0.40	0.70	1.0	1.0	0.8	0.5
5.	350	0.87	1440	2.5	0.60	0.80	1.0	1.0	0.75	0.5
6.	45	0.87	1460	3.0	0.50	0.65	1.0	1.0	0.7	0.5
7.	55	0.88	1480	2.0	0.50	0.75	1.0	1.0	0.8	0.4
8.	75	0.88	1440	2.5	0.40	0.70	1.0	1.0	0.75	0.4
9.	90	0.85	1420	3.0	0.50	0.80	1.0	1.0	0.8	0.5
10.	110	0.85	1450	2.0	0.40	0.65	1.0	1.0	0.75	0.4
11.	220	0.86	1460	2.5	0.60	0.75	1.0	1.0	0.8	0.5
12.	250	0.86	1420	2.0	0.50	0.70	1.0	1.0	0.75	0.5
13.	280	0.87	1450	2.5	0.50	0.80	1.0	1.0	0.7	0.5
14.	300	0.87	1460	2.5	0.40	0.70	1.0	1.0	0.75	0.4
15.	350	0.88	1480	3.0	0.50	0.8	1.0	1.0	0.8	0.5
16.	45	0.88	1440	2.0	0.40	0.65	1.0	1.0	0.75	0.4
17.	55	0.81	1460	2.5	0.60	0.75	1.0	1.0	0.8	0.5
18.	75	0.81	1480	2.0	0.50	0.70	1.0	1.0	0.75	0.5
19.	90	0.82	1440	2.5	0.50	0.80	1.0	1.0	0.7	0.5
20.	110	0.82	1420	3.0	0.40	0.65	1.0	1.0	0.8	0.4
21.	220	0.86	1450	2.0	0.60	0.75	1.0	1.0	0.75	0.4
22.	250	0.87	1480	2.0	0.60	0.80	1.0	1.0	0.7	0.5
23.	280	0.87	1440	2.5	0.50	0.65	1.0	1.0	0.8	0.4
24.	300	0.88	1460	3.0	0.50	0.75	1.0	1.0	0.75	0.4
25.	350	0.88	1480	2.0	0.40	0.70	1.0	1.0	0.8	0.5
26.	45	0.81	1440	2.5	0.60	0.80	1.0	1.0	0.75	0.5
27.	55	0.81	1420	3.0	0.50	0.65	1.0	1.0	0.7	0.5
28.	75	0.82	1420	2.0	0.50	0.75	1.0	1.0	0.8	0.4
29.	90	0.82	1450	2.5	0.40	0.70	1.0	1.0	0.75	0.4
30.	110	0.88	1460	2.5	0.50	0.80	1.0	1.0	0.7	0.5

РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белов М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов, А.Д. Новиков, Л.Н. Рассудов. М.: Академия, 2007. – 576с.
2. Онищенко Г.Б. Автоматизированный электропривод промышленных установок / Г.Б. Онищенко, М.И. Аксенов, В.П. Грехов, М.Н. Зарицкий, А.В. Куприков, А.И. Нитиевская. М.: РАСНХ, 2001. – 520 с.
3. Ключев В.И. Теория электропривода. Учебник для вузов. М.: Энергоатомиздат, 2001. 704 с.
4. Фираго Б.И. Теория электропривода / Б.И. Фираго, Л.Б. Павлячик. Учебное пособие. Мн.: Техноперспектива, 2004. 527 с.
5. Драчев Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому проектированию
6. для студентов заочного обучения спец. 180400. 2-е издание, дополненное.
7. Васильев Б.Ю. Электропривод. Энергетика электропривода. Учебник для вузов. М.: Издательство Солон-пресс, 2015.–267с.
8. Васильев Б.Ю. Энергосбережение и совместимость в электротехнических комплексах и системах генерации, распределения и потребления электрической энергии. Санкт-Петербург: Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015. – 159 с.
9. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, И.Я. Поляков. М.: Академия, 2006. – 256.
10. Лезнов Б.С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. М.: Энергоатомиздат, 2006. – 360 с.
11. Ильинский Н. Ф. Электропривод: энерго- и ресурсосбережение / В. В. Ильинский, В. В. Москаленко. М.: Академия, 2008. – 105 с.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ПРИВЕДЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ И ПЕРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С БАРАБАНОМ И РЕДУКТОРОМ.....	3
1.1. Расчет приведенных величин электропривода с барабаном и редуктором.....	3
1.2. Исходные данные для задачи	7
2. УСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	8
2.1. Расчет установившегося режима работы электропривода .	8
2.2. Исходные данные для задачи	16
3. СКОРОСТНАЯ И НАГРУЗОЧНАЯ ДИАГРАММЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА	17
3.1. Расчет скоростной и нагрузочной диаграмм электропривода.....	17
3.2. Исходные данные для задачи	25
4. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С РЕОСТАТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ.....	26
4.1. Расчет энергетических характеристик асинхронного электропривода с реостатным регулированием	26
4.2. Исходные данные для задачи	34
5. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПАРАМЕТРИЧЕСКИМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ	35
5.1. Расчет энергетических характеристик асинхронного электропривода с параметрическим регулированием	35
5.2. Исходные данные для задачи	43
6. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ЧАСТОТНЫМ РЕГУЛИРОВАНИЕМ.....	44
6.1. Расчет энергетических характеристик асинхронного электропривода с частотным регулированием	44
6.2. Исходные данные для задачи	53
РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	54

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД
МАШИН И УСТАНОВОК
ГОРНОГО ПРИЗВОДСТВА**

**МЕХАНИКА И ЭНЕРГЕТИКА
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

*Методические указания к самостоятельной работе
для студентов специальности 21.05.04*

Сост.: *Б.Ю. Васильев, Ю.Л. Жуковский*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
электроэнергетики и электромеханики

Ответственный за выпуск *Б.Ю. Васильев*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 14.05.2019. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 3,2. Усл.кр.-отт. 3,2. Уч.-изд.л. 2,5. Тираж 50 экз. Заказ 439. С 170.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2