

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫХ И ПИЩЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**



Кафедра электротехники

и электроники

**ВЫБОР АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
ПО МОЩНОСТИ И РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА**

Методические указания
по выполнению
расчетно-графической работы
для студентов всех специальностей

Санкт-Петербург 2006

УДК 621.3

Батяев А.А., Новотельнова А.В. Выбор асинхронного двигателя по мощности и расчет механических характеристик асинхронного электропривода с использованием персонального компьютера: Метод. указания по выполнению расчетно-графической работы для студентов всех спец. / Под ред. Л.П. Булата. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2006. – 19 с.

Приводятся основные теоретические положения и описание расчетно-графической работы, выполняемой при изучении курса «Электротехника и основы электроники».

Рецензент
Канд. техн. наук, доц. Ю.А. Рахманов

Рекомендованы к изданию редакционно-издательским советом университета

© Санкт-Петербургский государственный
университет низкотемпературных
и пищевых технологий, 2006

ВВЕДЕНИЕ

Правильный выбор двигателя для электропривода подразумевает не только соответствие мощности двигателя мощности приводного механизма в установившемся режиме работы, но и возможность получения определенной совместной механической характеристики. Эта характеристика определяет устойчивость работы электродвигателя при колебаниях напряжения сети.

В настоящей расчетно-графической работе (РГР) студентам предлагается решить задачу выбора асинхронного двигателя (АД) для механизма, момент сопротивления которого зависит от частоты вращения, проверить работоспособность агрегата при колебаниях напряжения питающей сети.

Таким образом, РГР состоит из четырех частей:

- 1) расчета мощности и построения механической характеристики приводного механизма;
- 2) предварительного выбора асинхронного электродвигателя и редуктора по заданным параметрам приводного механизма на основании электронной базы данных;
- 3) построения механической характеристики выбранного АД;
- 4) построения совместной механической характеристики и проверки устойчивости привода при колебаниях напряжения сети.

При подготовке к выполнению работы следует использовать учебники [1], [2].

Работа выполняется с использованием технического каталога в электронной форме и программы, установленных на компьютерах вычислительной лаборатории кафедры электротехники и электроники.

ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Расчет мощности и предварительный выбор асинхронного двигателя производится по эквивалентному моменту сопротивления и частоте вращения рабочего органа.

Зависимость момента сопротивления от времени $M(t)$ называется *нагрузочной диаграммой*.

Эквивалентный момент сопротивления $M_{\text{экв}}$ определяется по нагрузочным моментам M_i , действующим в течение заданных промежутков времени t_i (Н·м):

$$M_{\text{экв}} = \sqrt{\frac{\sum_i M_i^2 t_i}{\sum_i t_i}}.$$

Расчетная мощность сопротивления (нагрузки) P_c при номинальной частоте вращения $n_{\text{с.н}}$ (Вт)

$$P_c = \frac{M_{\text{экв}} n_{\text{с.н}}}{9,55} = 0,105 M_{\text{экв}} n_{\text{с.н}}.$$

Вид механической характеристики приводного механизма в общем случае описывается выражением

$$M_c = M_{\text{с.п}} + (M_{\text{с.н}} - M_{\text{с.п}}) \left(\frac{n_c}{n_{\text{с.н}}} \right)^x,$$

где $M_{\text{с.п}}$ – начальный пусковой момент сопротивления, зависящий от трения, состояния смазки, начальной нагрузки и т. п.; $M_{\text{с.н}}$ – момент сопротивления нагрузки при номинальной частоте вращения $n_{\text{с.н}}$; x – характеристический коэффициент, зависящий от вязкости рабочего тела и скорости его перемещения (газ, вода, масло и т. п.); n_c – текущее значение частоты вращения.

Значение коэффициента x изменяется в пределах $0 \dots 2$.

При выборе расчетной мощности электродвигателя $P_{\text{ном}}$ следует ориентироваться на мощность сопротивления, т. е. мощность рабочего органа P_c : $P_{\text{ном}} \geq P_c$.

В соответствии с ГОСТ 51689–2000 электродвигатели основного (базового) исполнения могут иметь сервис-фактор, равный 1,1 или 1,15, т. е. допускать длительную перегрузку на 10 и 15 % при номинальных напряжениях и частоте. При этом превышение температуры обмоток двигателей будет не более допустимого на 10 %. Значения сервис-фактора конкретных двигателей приводятся в разделе «Технические данные двигателей» электронного технического каталога на асинхронные двигатели.

Для того чтобы выбранный из каталога электродвигатель с номинальной скоростью вращения $n_{2\text{ном}}$ обеспечил вращение рабочего органа с заданной скоростью $n_{c.н}$, следует использовать понижающий редуктор. При этом частота вращения и момент сопротивления на валу двигателя связаны с частотой и моментом рабочего органа следующим образом:

$$n_{2\text{ном}} = n_{c.н} i;$$

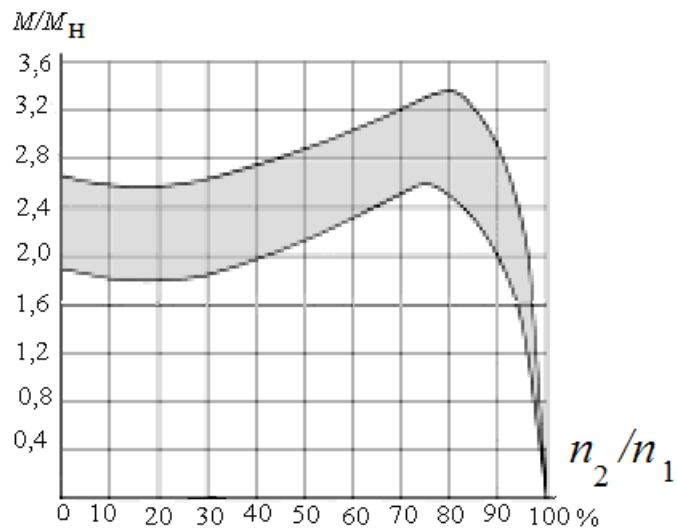
$$M_d = \frac{M_c}{i},$$

где $n_{2\text{ном}}$ – номинальная частота вращения ротора АД; i – коэффициент редукции.

Построение механической характеристики асинхронного двигателя производят на основании данных технического каталога на АД и рекомендаций по ее типу (индексы характеристики АД I и II по ГОСТ 51689–2000 и ГОСТ 28173).

На рис. 1 показаны типовые механические характеристики АД с индексами I и II.

а



б

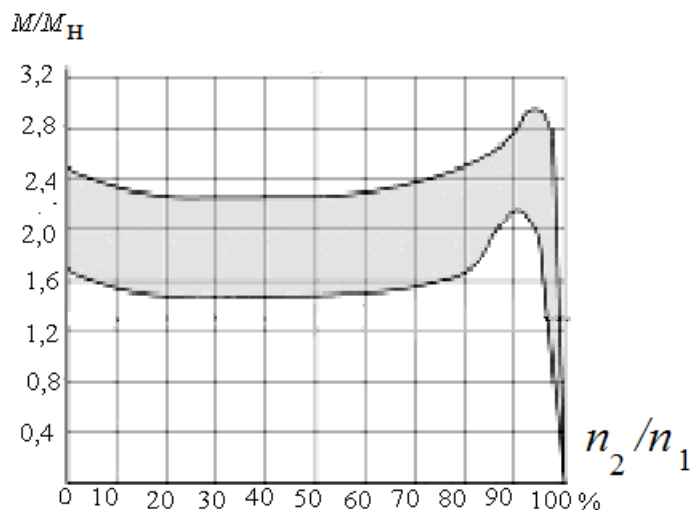


Рис. 1. Механические характеристики АД:
а – характеристика с индексом I; б – характеристика с индексом II

Построение механической характеристики АД производится в соответствии с указаниями прил. 1.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Определить мощность, необходимую для привода механизма, работающего в продолжительном режиме с переменной нагрузкой; выбрать асинхронный электродвигатель по техническому каталогу. Определить эксплуатационные параметры асинхронного двигателя.

Произвести проверку выбранного двигателя по перегрузочной способности и устойчивости работы электропривода при колебаниях напряжения сети. Построить механические характеристики нагруженного устройства, выбранного асинхронного электродвигателя и совместную механическую характеристику.

Исходные данные в соответствии с заданным вариантом приведены в таблице. Заданы параметры нагруженной диаграммы M_i и t_i , а также номинальная скорость вращения приводного механизма $n_{с.н}$, отношение пускового момента сопротивления к номинальному $M_{с.п}/M_{с.н}$ и коэффициент, характеризующий вязкость рабочего тела λ .

Вариант	M_1 , Н·м	M_2 , Н·м	M_3 , Н·м	M_4 , Н·м	t_1 , мин	t_2 , мин	t_3 , мин	t_4 , мин	$n_{с.н}$, об/мин	$\frac{M_{с.п}}{M_{с.н}}$	λ
1	310	440	220	170	1,5	2,0	1,0	0,8	460	0,2	1,5
2	175	450	320	290	2,0	3,0	0,5	2,0	520	0,3	1,8
3	240	135	340	440	2,0	1,0	2,0	0,5	420	0,4	1,2
4	250	460	320	120	3,0	1,0	0,6	2,0	140	0,5	1,5
5	290	430	540	700	1,3	3,0	0,9	3,0	520	0,25	1,8
6	370	480	520	140	0,5	2,0	0,6	4,0	130	0,3	1,2
7	385	400	450	600	4,0	1,3	1,8	1,9	750	0,4	2,0
8	600	640	750	800	2,0	3,0	2,0	0,5	340	0,5	1,5
9	780	1000	560	860	1,3	3,0	0,9	3,0	460	0,1	1,8
10	450	480	520	140	3,0	1,0	2,0	0,5	640	0,25	1,2
11	250	460	320	560	3,5	1,5	2,0	0,6	450	0,35	2,0
12	480	520	140	670	0,5	1,9	2,0	3,0	175	0,4	1,5
13	470	480	520	140	2,5	3,5	1,5	2,0	620	0,5	1,8
14	200	240	130	340	3,5	1,5	2,0	1,5	175	0,15	1,2
15	610	640	750	950	3,2	3,5	1,5	2,0	450	0,2	2,0
16	240	135	340	370	1,8	3,5	1,5	2,0	480	0,35	1,5
17	135	175	460	320	2,7	3,5	1,9	2,0	475	0,4	1,8
18	545	620	640	750	1,3	1,8	1,9	3,0	450	0,5	1,2
19	250	175	450	520	2,0	1,3	1,8	1,9	680	0,2	2,0
20	170	450	320	235	3,0	2,0	1,5	1,0	470	0,3	1,5
21	275	480	320	670	1,3	1,8	1,9	2,6	350	0,4	1,8
22	360	475	450	320	2,5	1,5	1,0	2,0	360	0,5	1,2
23	145	450	320	800	1,3	1,8	1,9	4,0	240	0,4	2,0
24	470	680	520	770	4,0	3,0	1,0	1,5	180	0,35	1,3
25	360	470	480	520	2,8	3,0	2,0	1,5	200	0,25	1,8
26	240	470	490	620	3,0	2,0	1,5	2,5	320	0,15	1,5

Вариант	M_1 , Н·м	M_2 , Н·м	M_3 , Н·м	M_4 , Н·м	t_1 , мин	t_2 , мин	t_3 , мин	t_4 , мин	$n_{с.н.}$, об/мин	$\frac{M_{с.п.}}{M_{с.н.}}$	x
27	180	200	240	130	2,3	2,0	1,5	4,0	320	0,5	1,8
28	200	240	130	155	0,5	1,0	1,5	2,0	450	0,4	1,2
29	190	260	240	170	2,0	1,0	3,0	1,5	320	0,3	2,0
30	210	240	130	530	2,5	2,0	1,0	3,0	250	0,2	1,9

ПОРЯДОК РАСЧЕТА

1. Построить нагрузочную диаграмму (рис. 2).

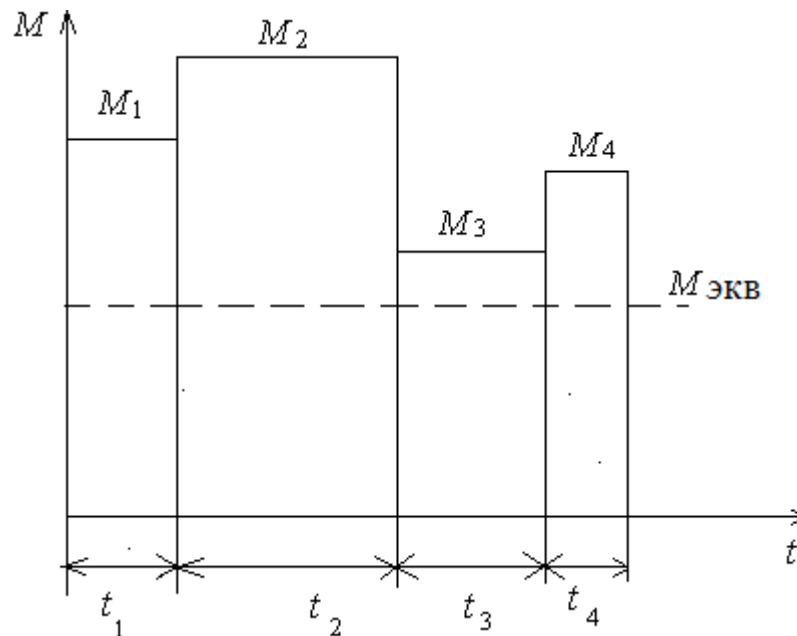


Рис. 2. Нагрузочная диаграмма

2. Открыть на компьютере файл «РГР Выбор АД.xls» электронный рабочий лист «Выбор АД» (рис. 3). Занести в него данные нагрузочной диаграммы. Данные заносятся в окрашенные поля.

3. Рассчитать эквивалентный момент нагрузки:

$$M_{\text{ЭКВ}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + M_3^2 t_3 + M_4^2 t_4}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}},$$

где M_1, M_2, M_3, M_4 – моменты нагрузок двигателя соответствующих участков нагрузочной диаграммы; t_1, t_2, t_3, t_4 – время работы с заданными моментами.

4. Определить расчетную мощность нагрузки при номинальной частоте вращения:

$$P_p = P_{\text{экр}} = \frac{M_{\text{с.э}} n_{\text{с.н}}}{9,55} = 0,105 M_{\text{с.э}} n_{\text{с.н}}$$

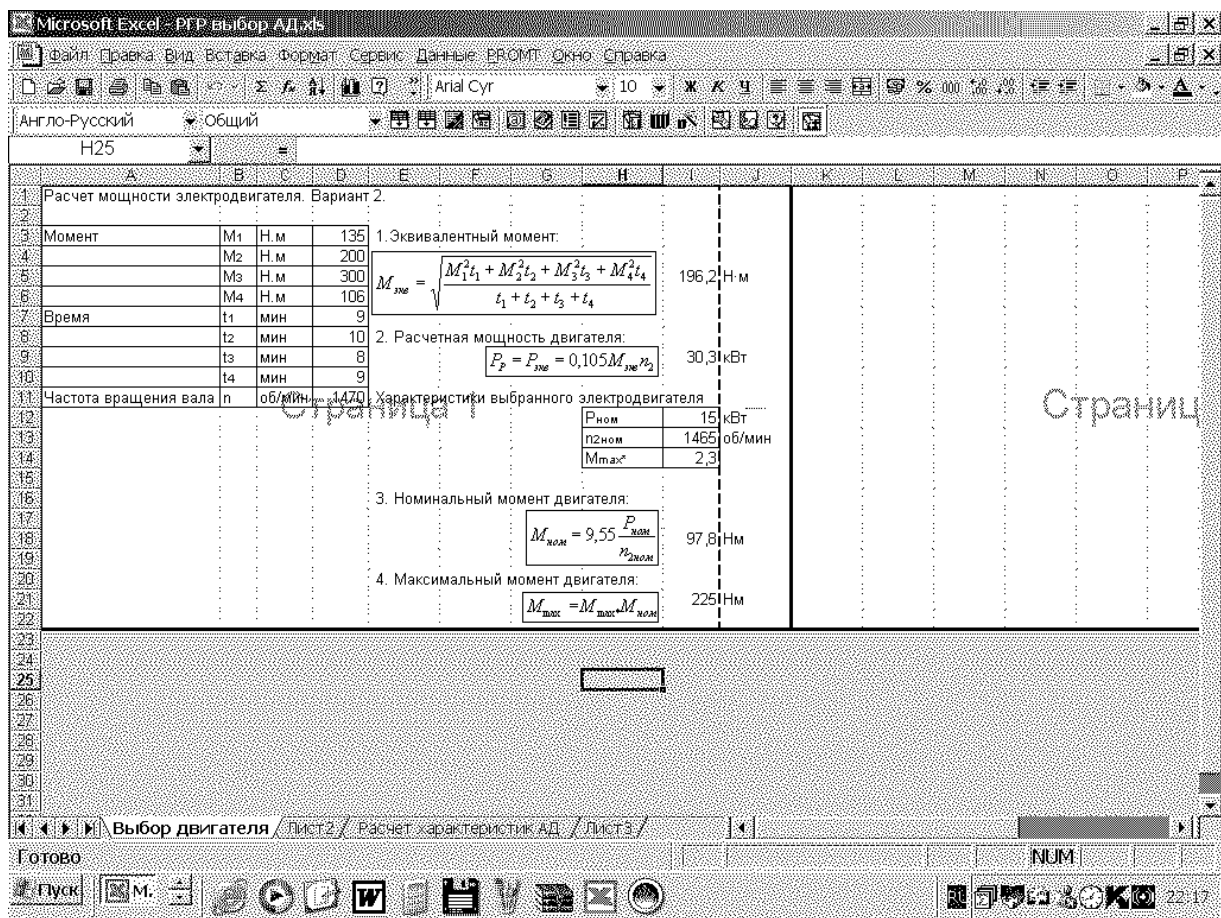


Рис. 3. Вид рабочего стола компьютера при работе с рабочей электронной таблицей. Лист «Выбор двигателя»

5. С учетом ближайшей стандартной синхронной частоты вращения АД выбрать из технического каталога (с. 38–41) двигатель, исходя из условия $P_{\text{д.н}} \geq P_{\text{с}}$ (с учетом сервис-фактора, определяющего допустимые перегрузки).

6. Для выбранного двигателя выписать следующие паспортные характеристики:

- номинальную мощность $P_{\text{ном}}$, кВт;
- номинальное напряжение 380 В (Y);
- номинальную частоту вращения $n_{2\text{ном}}$, об/мин;
- коэффициент полезного действия η ;
- коэффициент мощности $\cos\varphi$;
- номинальный момент $M_{\text{ном}}$, Н·м;
- перегрузочную способность (отношение максимального момента к номинальному моменту):

$$M_{\text{max}}^* = \frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}};$$

- отношение пускового момента к номинальному моменту:

$$M_{\text{п}}^* = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_{\text{ном}}};$$

- номинальный ток $I_{\text{н}}$ при 380 В;
- отношение пускового тока к номинальному току (начальная кратность пускового тока):

$$I_{\text{п}}^* = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_{\text{ном}}};$$

- индекс механической характеристики (см. рис. 1 настоящих методических указаний или с. 12 электронного каталога);
- значение сервис-фактора.

7. Ввести полученные из каталога данные в электронный рабочий лист «Расчет характеристик АД» (рис. 4, 5) и определить эксплуатационные параметры трехфазного асинхронного двигателя.

8. Определить частоту вращения магнитного поля n_1 . Для этого выбрать одно из предлагаемых в п. 1 электронной таблицы значение n_1 , ближайшее к номинальной частоте вращения ротора асинхронного двигателя. Определить число пар магнитных полюсов p обмотки статора.

9. Ввести полученные данные и номинальное значение частоты вращения ротора в п. 2 электронной таблицы.

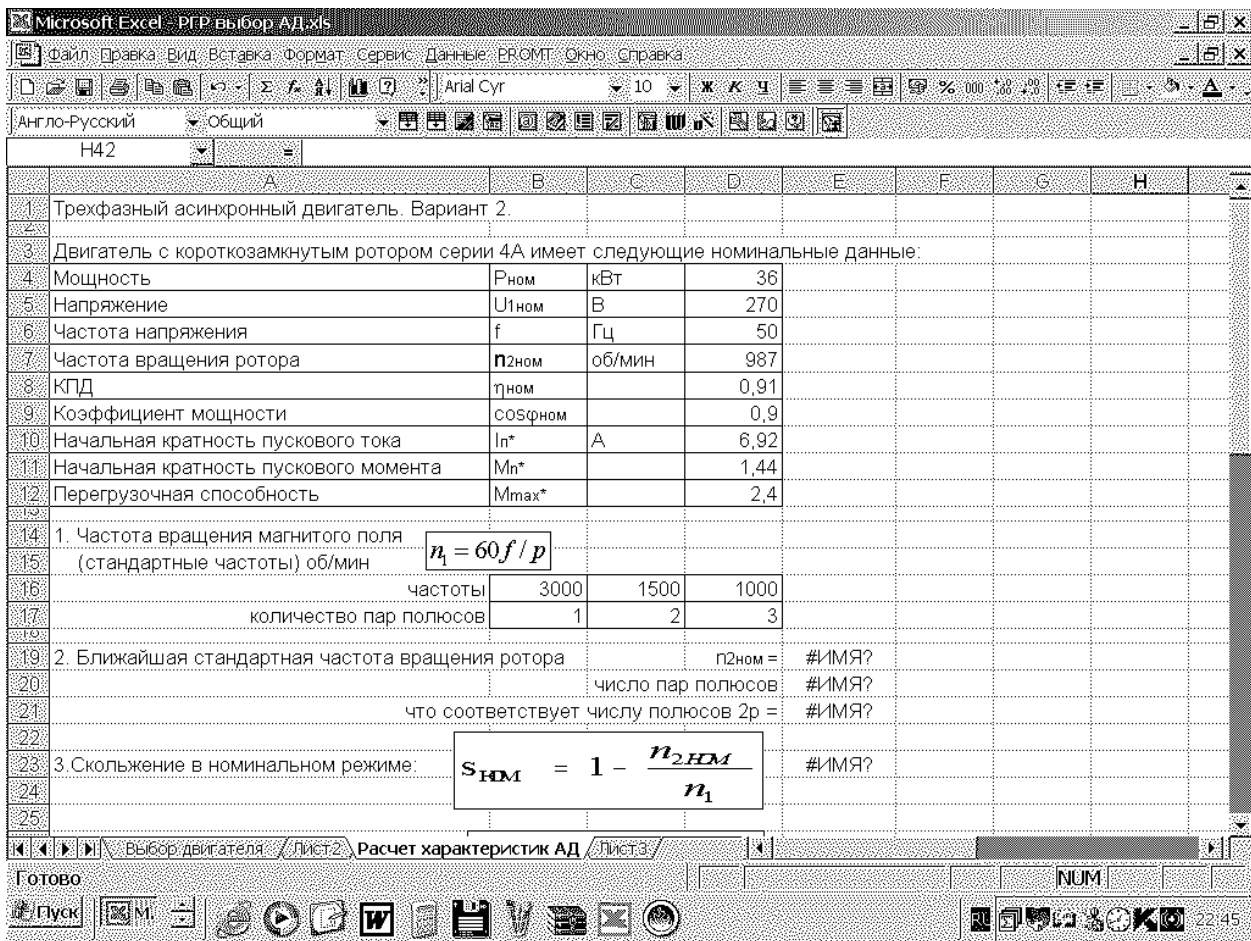


Рис. 4. Вид рабочего стола при работе с электронной таблицей.
Лист «Расчет характеристик АД». Начало листа

10. Определить значение скольжения в номинальном режиме:

$$s_{ном} = \frac{n_1 - n_{2ном}}{n_1} = 1 - \frac{n_{2ном}}{n_1}.$$

11. Рассчитать подводимую к двигателю активную мощность:

$$P_{1ном} = \frac{P_{ном}}{\eta}.$$

12. Вычислить пусковой ток двигателя:

$$I_{п} = I_{п}^* I_{ном}.$$

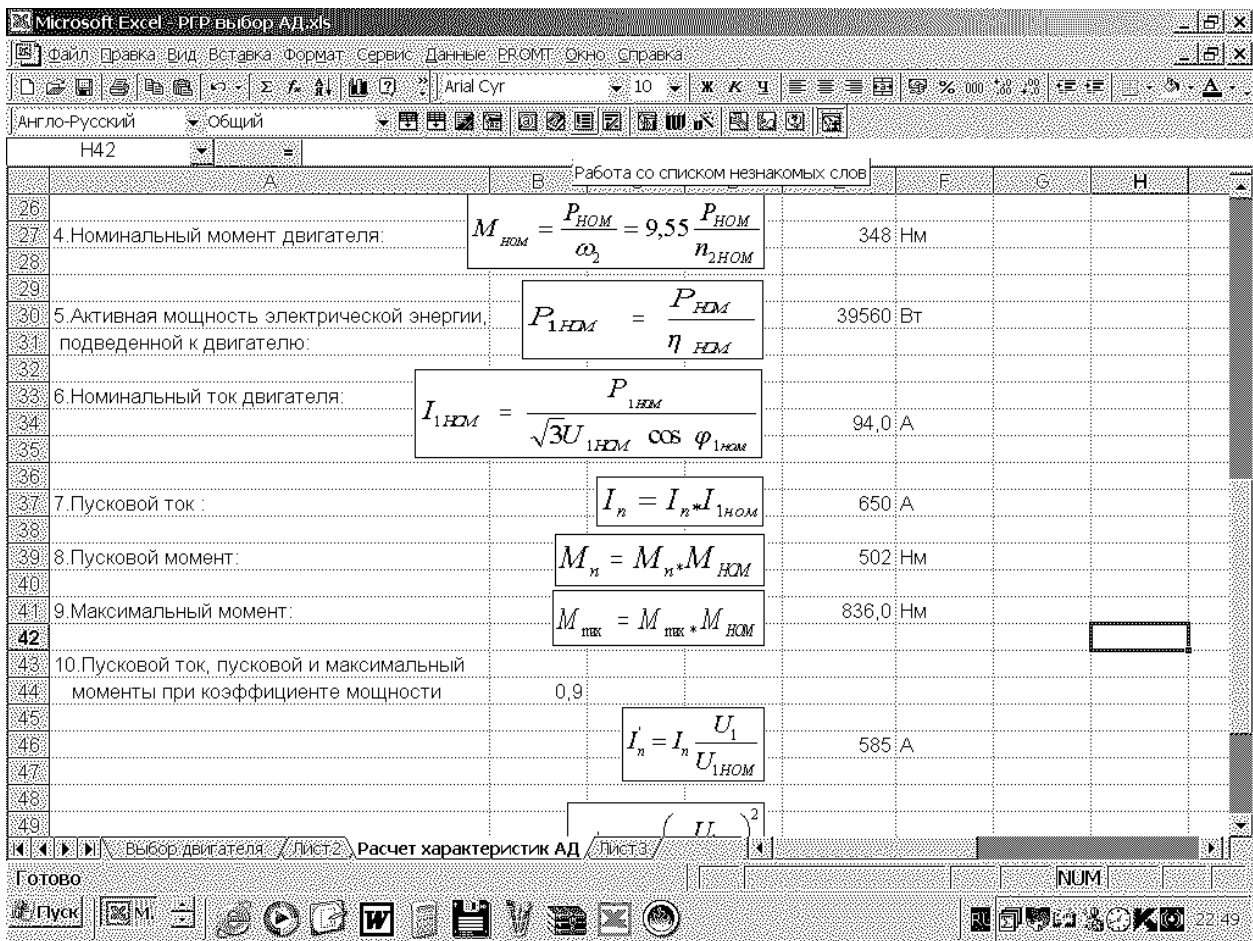


Рис. 5. Вид рабочего стола при работе с электронной таблицей.
Лист «Расчет характеристик АД». Продолжение листа

13. Определить абсолютные величины пускового и максимального моментов двигателя при номинальном напряжении:

$$M_{\Pi} = M_{\Pi}^* M_{НОМ} ;$$

$$M_{\max} = M_{\max}^* M_{НОМ} .$$

14. Определить рабочие параметры АД при снижении напряжения на 10 %, т. е. при $U_1/U_{1НОМ} = 0,9$:
– пусковой ток

$$I'_{\Pi} = I_{\Pi} \frac{U_1}{U_{1НОМ}} ;$$

– пусковой момент

$$M'_{\text{п}} = M_{\text{п}} \left(\frac{U_1}{U_{1\text{НОМ}}} \right)^2 ;$$

– максимальный момент

$$M'_{\text{max}} = M_{\text{max}} \left(\frac{U_1}{U_{1\text{НОМ}}} \right)^2 .$$

15. Так как частота вращения выбранного двигателя не совпадает с номинальной частотой вращения механизма, необходимо выбрать понижающий редуктор. Для этого следует вычислить коэффициент передачи редуктора:

$$i = \frac{n_{2\text{НОМ}}}{n_{\text{с.н}}} .$$

16. Произвести выбор редуктора со стандартным значением передаточного числа $i_{\text{ст}}$ из стандартного ряда передаточных чисел (прил. 2), исходя из условия $i_{\text{ст}} \leq i$.

17. Определить уточненное значение частоты вращения механизма:

$$n_{\text{с}} = \frac{n_{2\text{НОМ}}}{i_{\text{ст}}} \geq n_{\text{с.н}} .$$

18. Произвести проверку выбранного двигателя по перегрузочной способности.

В п. 14 было определено максимальное значение вращающего момента АД при сниженном напряжении M'_{max} .

Из нагрузочной диаграммы следует определить максимальное значение момента сопротивления $M_{\text{с max}}$ (например, в диаграмме на рис. 2 $M_{\text{с max}} = M_2$).

Электропривод работает устойчиво, если выполняется условие $M'_{\text{max}} i_{\text{ст}} \geq M_{\text{с max}}$. Если это соотношение не выполняется, то следует выбрать электродвигатель большей мощности.

19. В соответствии с индексом механической характеристики и расчетными данными построить механическую характеристику асинхронного двигателя. Порядок построения – см. прил. 1.

20. Для построения совместной характеристики АД и нагрузочного механизма необходимо нанести на механическую характеристику, построенную по п. 19, механическую характеристику приводного механизма. При построении механической характеристики приводного механизма следует учесть, что момент сопротивления должен быть приведен к валу электродвигателя, т. е. строится зависимость

$$M'_c = f(n'_c),$$

где

$$M'_c = \frac{M_c}{i};$$

$$n'_c = n_c i.$$

В номинальном режиме приведенный момент нагрузочного устройства $M_{c.н}$ равен номинальному моменту выбранного АД: $M'_{c.н} = M_{ном}$.

Приведенный пусковой момент нагрузочного устройства $M'_{c.п}$ определяется из отношения, заданного в исходных данных (см. таблицу):

$$M'_{c.п} = M'_{c.н} \left(\frac{M_{c.п}}{M_{c.н}} \right).$$

Остальные точки характеристики определяются по соотношению

$$M'_c = M'_{c.п} + (M'_{c.н} - M'_{c.п}) \left(\frac{n_c}{n_{c.н}} \right)^x.$$

При построении совместной характеристики следует рассчитать несколько точек:

- 1) $n'_c = 0$; $M'_c = M'_{c.п}$;
- 2) $n'_c = 0,25n_{c.н} i_{ст}$; M'_c вычисляется по последней формуле;
- 3) $n'_c = 0,5n_{c.н} i_{ст}$; M'_c вычисляется по последней формуле;
- 4) $n'_c = 0,75n_{c.н} i_{ст}$; M'_c вычисляется по последней формуле;
- 5) $n'_c = 0,5n_{c.н} i_{ст}$; $M'_c = M_{ном}$;
- 6) $n'_c = 1,2n_{c.н} i_{ст}$; M'_c вычисляется по последней формуле.

СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Исходные данные.
2. Произведенные расчеты.
3. Нагрузочная диаграмма.
4. Механическая характеристика приводного механизма.
5. Механическая характеристика асинхронного двигателя.
6. Совместная механическая характеристика.
7. Анализ графических результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

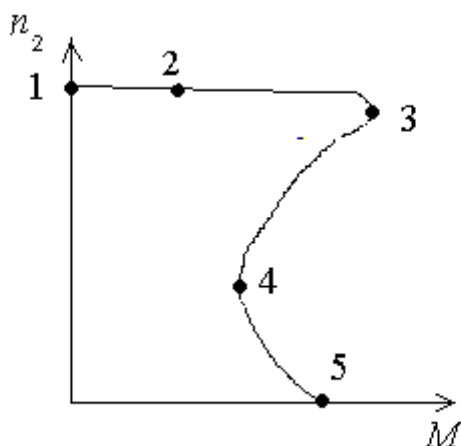
1. **Касаткин А.С., Немцов М.В.** Электротехника: Учеб. для вузов. 6-е изд., перераб. – М.: Высш. шк., 2000. – 542 с.
2. **Иванов И.И., Равдоник В.С.** Электротехника. – М.: Высш. шк., 1984. – 322 с.
3. Методические указания для самостоятельного изучения дисциплины «Электротехника и электроника». Ч. 1. – СПб.: СПбГАХПТ, 1992. – 285 с.
4. Методические указания для самостоятельного изучения дисциплины «Электротехника и электроника». Ч. 3. – СПб.: СПбГАХПТ, 2000.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Построение механической характеристики асинхронного электродвигателя

Построение механической характеристики выбранного электродвигателя производится по данным, указанным в каталоге, и результатам проведенных расчетов:



Механическая характеристика АД

Параметры используемых значений:

1. Точка 1 соответствует синхронной скорости двигателя $n_2 = n_1$. Вращающий момент M при этом равен нулю.

2. Точка 2 соответствует номинальным значениям двигателя: $n_2 = n_{2\text{ном}}$, $M = M_{\text{ном}}$.

3. Точка 3 отвечает критическому режиму, т. е. максимальному моменту двигателя: $n_2 = n_{2\text{кр}}$, $M = M_{\text{мах}}$.

Значение $n_{2\text{кр}}$ определяется из типовой механической характеристики АД (см. рис. 1) в соответствии с индексом механической характеристики (I или II)

4. Точка 4 должна иметь следующие координаты: $n_2 = 0,2n_{2\text{н}}$, $M = M_{\text{мин}}$. Значение $M_{\text{мин}}$ и соответствующее ему значение n_2 определяются по типовой механической характеристике с соответствующим индексом механической характеристики — I или II (см. рис. 1).

5. Точка 5 соответствует пусковому режиму двигателя: $n_2 = 0$, $M = M_{\text{пуск}}$.

При построении механической характеристики следует учитывать, что участок зависимости между точками 1–3 линеен.

Приложение 2

Передаточные числа зубчатых цилиндрических и конических передач (по ГОСТ 2185–66, ГОСТ 12289–56) и двухступенчатых редукторов (по ГОСТ 2185–66)

1,0	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,40	1,50	1,60	1,70	1,80	1,90
2,0	2,12	2,24	2,36	2,5	2,65	2,8	3,0	3,15	3,35	3,55	3,75
4,0	4,25	4,5	4,75	5,0	5,3	5,6	6,0	6,3	6,7	7,1	7,5
8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,6	11,2	11,8	12,5	14,0	16,0	18,0
20,0	22,4	25,0	28,0	31,5	35,5	40,0	45,0	50,0	56,0	63,0	71,0

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	6
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ.....	8
ПОРЯДОК РАСЧЕТА.....	10
СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА.....	17
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	17
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	18

Батяев Анатолий Алексеевич
Новотельнова Анна Владимировна

**ВЫБОР АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
ПО МОЩНОСТИ И РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ
ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО
ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПЕРСОНАЛЬНОГО КОМПЬЮТЕРА**

Методические указания
по выполнению
расчетно-графической работы
для студентов всех специальностей

Редактор
Е.О. Трусова

Корректор
Н.И. Михайлова

Компьютерная верстка
Н.В. Гуральник

Подписано в печать 17.11.2006. Формат 60×84 1/16
Печать офсетная. Усл. печ. л. 1,16. Печ. л. 1,25. Уч.-изд. л. 1,13
Тираж 500 экз. Заказ № С 88

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9
ИПЦ СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9