

Вариант задания выбирается по номеру в списке группы

Задача № 1

Исходные данные. В трехфазную сеть с напряжением U включены три одинаковых приемника энергии (рис. 3. 6). Сопротивления приемника равны R и X_L или X_C (табл. 3. 1).

Определить: 1. Фазные и линейные токи. 2. Определить коэффициент мощности, активные и реактивные мощности всей цепи и каждой фазы отдельно. Задачу решить для случаев, когда приемники энергии соединены звездой (рис. 3. 6, а), а затем треугольником (рис. 3. 6, б). **Сравнить полученные результаты.**

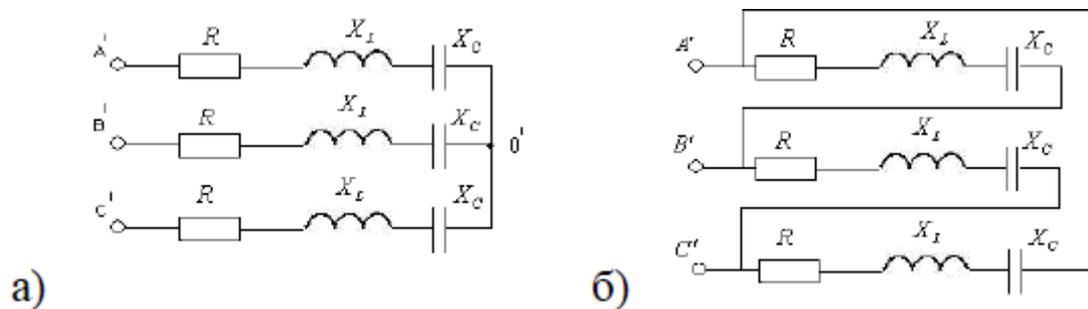


Рис. 3. 6

Варианты к заданию

№ варианта	U, В	R _φ , Ом	X _{Lφ} , Ом	X _{Cφ} , Ом
1	86,5	3	4	–
2	173	4	–	3
3	380	12	16	–
4	380	16	–	12
5	400	32	16	–
6	600	32	–	16
7	225	5	12	–
8	450	5	–	12
9	244	2	14	–
10	380	14	–	2
11	400	5	15	–
12	230	15		5
13	380	15,2		13
14	660	13	15,2	
15	520	18	24	–
16	660	24	–	18
17	277	9,6	12,8	
18	380	12,8	–	9,6
19	660	15	20	–
20	600	20	–	15
21	3000	45	60	–
22	3300	60	–	45
23	216,5	7,5	10	–
24	220	10	–	7,5
25	380	10	20	
26	500	20	–	10
27	660	9	12	–
28	380	12	–	9
29	230	16	–	12
30	400	14	2	–

Пример решения

1) *Расчет трехфазной цепи при соединении приемников звездой (рис. 3. 6, а):*

$$I_n = I_\phi;$$

$$U_n = \sqrt{3}U_\phi.$$

1. Определяем фазное напряжение:

$$U_\phi = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{660}{\sqrt{3}} = 381,05 \text{ В.}$$

2. Определяем полное сопротивление фаз:

$$Z_\phi = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{40^2 + 30^2} = 50 \text{ Ом.}$$

3. Определяем фазные и линейные токи:

$$I_n = I_\phi = \frac{U_\phi}{Z_\phi} = \frac{381,05}{50} = 7,62 \text{ А.}$$

4. Определяем активные, реактивные, и полные мощности фаз:

$$P_\phi = U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi = 381,05 \cdot 7,62 \cdot 0,8 = 2322,88 \text{ Вт;}$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{40}{50} = 0,8 ;$$

$$Q_\phi = U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin \varphi = 381,05 \cdot 7,62 \cdot 0,6 = 1742,16 \text{ вар;}$$

$$\sin \varphi = \frac{X_L}{Z} = \frac{30}{50} = 0,6 ;$$

$$S_\phi = U_\phi \cdot I_\phi = \sqrt{P_\phi^2 + Q_\phi^2} = 381,05 \cdot 7,62 = 2903,6 \text{ ВА.}$$

5. Определяем активные, реактивные и полные мощности всей нагрузки:

$$P_{3\phi} = 3P_\phi = 3 \cdot 2322,88 = 6968,64 \text{ Вт;}$$

$$Q_{3\phi} = 3Q_\phi = 3 \cdot 1742,16 = 5226,4 \text{ вар;}$$

$$S_{3\phi} = 3S_\phi = 3 \cdot 2903,6 = 8710,8 \text{ ВА.}$$

2) *Расчет трехфазной цепи при соединении приемников треугольником (рис. 3. 6, б).*

$$U_n = U_\phi;$$

$$I_n = \sqrt{3}I_\phi.$$

1. Определяем фазные и линейные токи:

$$I_\phi = \frac{U_\phi}{Z_\phi} = \frac{660}{50} = 13,2 \text{ А;}$$

$$I_n = \sqrt{3}I_\phi = \sqrt{3} \cdot 13,2 = 22,86 \text{ А.}$$

2. Определяем активные, реактивные, и полные мощности:

$$P = 3U_\phi \cdot I_\phi \cdot \cos \varphi = 3 \cdot 660 \cdot 13,2 \cdot 0,8 = 20908,8 \text{ Вт;}$$

$$Q = 3U_\phi \cdot I_\phi \cdot \sin \varphi = 3 \cdot 660 \cdot 13,2 \cdot 0,6 = 15681,6 \text{ вар;}$$

$$S = 3U_\phi \cdot I_\phi = 3 \cdot 660 \cdot 13,2 = 26136 \text{ ВА.}$$

Задача № 2

Исходные данные:

Варианты индивидуального задания

Номер варианта	Выражение тока i	Номер варианта	Выражение напряжения u
1	$i = 400\sin(314t + 135^\circ)$	16	$u = 282\sin(314t + 120^\circ)$
2	$i = 5\sin(314t - \pi/6)$	17	$u = 564\sin(628t - \pi/6)$
3	$i = 80\sin(942t + 60^\circ)$	18	$u = 141\sin(1256t - 60^\circ)$
4	$i = 15\sin(628t + \pi/2)$	19	$u = 5,64\sin(628t + \pi/2)$
5	$i = 205\sin(628t - 120^\circ)$	20	$u = 2,82\sin(942t - 120^\circ)$
6	$i = 40\sin(157t - 240^\circ)$	21	$u = 141\sin(157t + 120^\circ)$
7	$i = 60\sin(314t + \pi/3)$	22	$u = 2820\sin(314t + \pi/3)$
8	$i = 25\sin(314t - 60^\circ)$	23	$u = 28,2\sin(314t - 60^\circ)$
9	$i = 30\sin(314t + \pi/6)$	24	$u = 56,4\sin(314t - \pi/6)$
10	$i = 70\sin(157t - \pi/4)$	25	$u = 400\sin(1570t + \pi/4)$
11	$i = 20\sin(157t - \pi/2)$	26	$u = 200\sin(314t - \pi/2)$
12	$i = 127\sin(1256t + 60^\circ)$	27	$u = 282\sin(1256t + 60^\circ)$
13	$i = 127\sin(157t - 2\pi/3)$	28	$u = 564\sin(157t - 2\pi/3)$
14	$i = 200\sin(314t - \pi/2)$	29	$u = 200\sin(314t - \pi/2)$
15	$i = 220\sin(628t + 2\pi/3)$	30	$u = 700\sin(628t - 2\pi/3)$

Определить: 1. Амплитудное, действующее значение величины, период T , угловую частоту ω , частоту f , фазу, начальную фазу ψ . 2. Построить на комплексной плоскости вектор, изображающий действующее значение тока i или напряжения u . 3. Записать комплексную форму представления величины в алгебраической и показательной форме записи.

Пример решения

Задача 1. Задано выражение мгновенного значения синусоидального тока $i = 10\sin(314t + 60^\circ)$. Определить амплитуду тока I_m , действующее значение I , период T , частоту f , угловую частоту ω , начальную фазу ψ .

Решение

$$I_m = 10 \text{ А}; \quad I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{10}{\sqrt{2}} = 7,07 \text{ А}; \quad \omega = 314 \text{ рад/с}; \quad \Psi = 60^\circ;$$

$$\omega = 2\pi f; \quad f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{314}{2 \cdot 3,14} = 50 \text{ Гц}; \quad T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ с}.$$

Задача 2. Задано мгновенное значение синусоидальной ЭДС $e = 100\sin(\omega t + 120^\circ)$. Построить на комплексной плоскости вектор, изображающий эту ЭДС, и записать ее комплексную амплитуду.

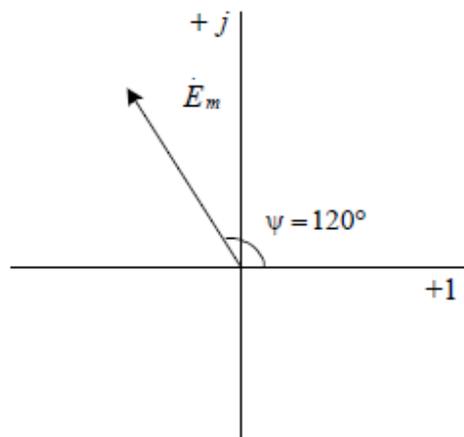


Рис. 4.3. Вектор \dot{E}_m на комплексной плоскости

Решение

Строим на комплексной плоскости вектор \dot{E}_m , длина которого в масштабе равна 100 В, направленный под углом $\psi = 120^\circ$ к действительной положительной полуоси (рис. 4.3). Записываем комплексную амплитуду, В:

$$\dot{E}_m = 100e^{j120^\circ} = 100(\cos 120^\circ + j \sin 120^\circ) = -50 + j86,6.$$

Общие сведения

Трехфазный асинхронный двигатель (ТАД) состоит из двух основных частей – статора и ротора.

Статор – неподвижная часть двигателя состоит из станины 1, сердечника 2, обмоток 3 (рис. 8.1, а), подшипниковых щитов, закрывающих машину с торцов, и клеммной коробки, куда выводятся начала и концы обмоток и подключается питающая двигатель сеть.



Рис. 8.1. Статор асинхронного двигателя (а) и размещение обмоток в пазах (б)

Станина выполняется литой из чугуна, стали, алюминия или сплавов легких металлов – для маломощных двигателей. Для лучшего охлаждения внешняя поверхность станины иногда делается ребристой. К станине крепятся все остальные элементы конструкции.

Для уменьшения вихревых токов сердечник статора (магнитопровод) набирается из отштампованных кольцеобразных листов электротехнической стали толщиной 0,35...0,50 мм. В машинах большой мощности листы с обеих сторон покрываются изоляционным лаком или оксидной пленкой.

В пазы сердечника укладываются обмотки статора, чаще всего выполненные из медных изолированных проводов. Число обмоток у трехфазных машин делается кратным трем, следовательно минимальное число обмоток – три. Начало и конец каждой обмотки маркируется и обозначается. Например, начала трех обмоток обозначаются буквами *A*, *B*, *C*, и они в клеммной коробке крепятся к клеммам C_1 , C_2 , C_3 . Концы этих обмоток *x*, *y*, *z* крепятся к клеммам C_4 , C_5 , C_6 соответственно.

Ротор состоит из сердечника с обмотками и вала (рис. 8.2). Вал ротора вращается в подшипниках, расположенных в подшипниковых щитах. Сердечник ротора 3, как и статора, выполнен из листов электротехнической стали для уменьшения влияния на работу вихревых токов. В этих листах выполняются пазы закрытого или полузакрытого типа для размещения проводников обмотки ротора. В зависимости от конструкции обмотки ротора различают силовые асинхронные двигатели с короткозамкнутыми и фазными роторами.

У двигателя с короткозамкнутым ротором продольные проводники обмотки 2 обычно выполнены в виде стержней и на торцах замкнуты накоротко 1 (рис. 8.2), образуя простую конструкцию ротора, электрически не связанного с внешними устройствами.

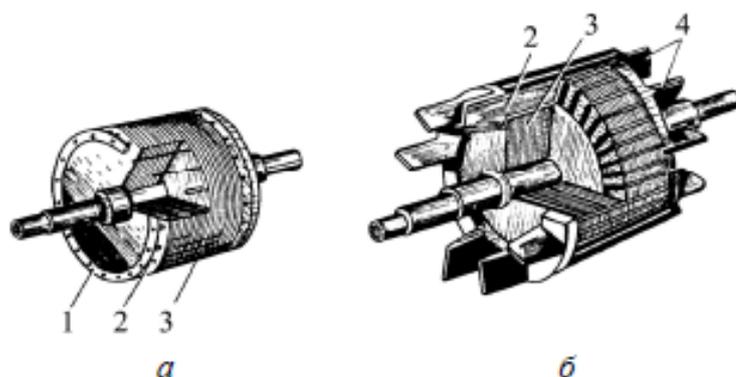


Рис. 8.2. Короткозамкнутые роторы асинхронного двигателя:
а – с медной обмоткой; б – с алюминиевой обмоткой

Такой ротор, предложенный М. О. Доливо-Добровольским в 1891 г., называется беличьей клеткой, или беличьим колесом. Обмотка ротора и короткозамыкающие кольца выполняются из меди или алюминия.

Работа асинхронного двигателя

При включении обмоток статора в трехфазную сеть появляется вращающееся магнитное поле статора, под влиянием которого приводится во вращение ротор.

Принцип получения вращающегося магнитного поля (ВМП) с помощью неподвижной системы проводников заключается в том, что по проводникам обмоток статора, геометрически сдвинутым на 120° , протекают токи, сдвинутые по фазе относительно друг друга на углы 120° . В результате магнитное поле в статоре постоянно по величине и вращается с постоянной частотой.

Пусть в каждой фазной обмотке одна катушка, а в катушке – один виток. В этом случае в паз будет уложено по одному проводнику. Входной проводник фазы A будет уложен в паз A , а выходной проводник – в паз x (рис. 8.3). Входной проводник по фазе B будет сдвинут относительно A на угол 120° , а проводник третьей фазы C – на 240° .

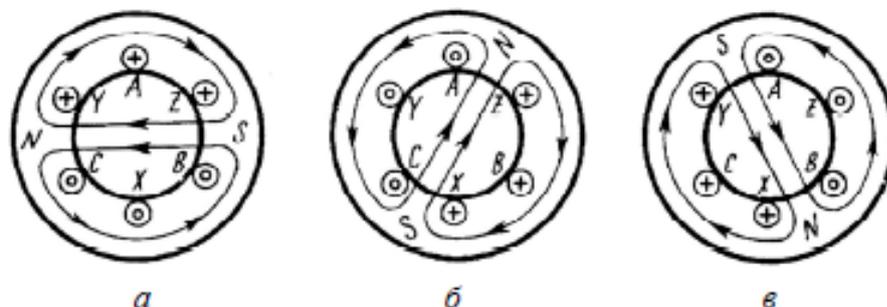


Рис. 8.3. Двухполюсное вращающееся магнитное поле для моментов времени t_1 (а), t_2 (б), t_3 (в)

Функции тока для каждой из фаз показаны на рис. 8.4.

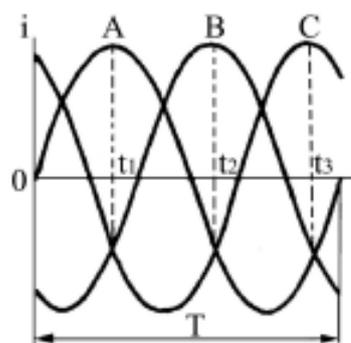


Рис. 8.4. Трехфазная система токов

В момент времени t_1 ток в фазе A положительный и максимальный. Условно примем, что такой ток по проводнику A течет от нас (обозначим это крестиком), а ток по проводнику X – на нас (обозначим это окружностью). По фазам B и C в момент времени t_1 токи будут отрицательны, поэтому в начале обмоток в пазах B и C токи будут ориентированы на нас (окружность), а в конце обмоток в пазах Y и Z – от нас (крестик). Как видно из рис. 8.3, a , три проводника имеют одинаковую ориентацию токов, поэтому их магнитные поля объединяются и образуют двухполюсную систему.

Через $1/3$ периода трехфазных синусоидальных токов (рис. 8.4) в момент времени t_2 максимальным и положительным станет ток в фазе B , а в фазе A ток станет отрицательным. В фазе C ток, как и в момент времени t_1 , останется отрицательным. Поэтому в проводниках A , X , B , Y токи изменят свое направление, а в проводниках C и Z – нет. Отобразив это соответствующей символикой, получим результирующее магнитное поле, повернутое на угол 120° по часовой стрелке (рис. 8.3, a). Еще через $1/3$ периода, в момент времени t_3 , положительным и максимальным будет ток в фазе C , а отрицательными – токи в фазах A и B . Рассуждая аналогично предыдущим случаям, получим результирующее магнитное поле, повернутое еще на 120° (рис. 8.3, b , $в$). Таким образом, за период синусоидального тока ВМП совершит один оборот.

Если увеличить число катушек в каждой из обмоток и соединить их последовательно, то скорость ВМП будет уменьшаться. Таким образом, скорость вращения ВМП, об/мин, прямо пропорциональна частоте питающей сети f и обратно пропорциональна числу пар полюсов (числу последовательно соединенных катушек каждой обмотки p):

$$n_1 = \frac{60f}{p}.$$

Максимальная частота вращения ВМП наблюдается при $p = 1$, т. е. $n_{1\max} = 60f$ об/мин. Для питающей сети, в которой $f = 50$ Гц, $n_{1\max} = 3000$ об/мин.

Направление вращения ВМП определяется порядком следования фаз. При прямой последовательности фаз A – B – C магнитное поле вращается по часовой стрелке. При обратной, например B – A – C , – против часовой стрелки.

ВМП статора пересекает проводники обмоток ротора и по закону электромагнитной индукции наводит в них ЭДС взаимоиндукции, которая определяется по формуле

$$E = Blv,$$

где B – магнитная индукция поля статора;

l – длина проводника ротора;

v – скорость пересечения проводника ротора магнитными линиями.

ЭДС возникает в замкнутой обмотке, поэтому по ней потечет ток ротора. Следовательно, на обмотку начнет действовать сила, которая определяется по закону Ампера:

$$F_1 = BlI_2,$$

где I_2 – сила тока, протекающего по проводнику ротора.

Направление этой силы совпадает с направлением вращения магнитного поля, а под действием пары сил появляется момент вращения ротора

$$M_{BP} = 2F_1N_2 \frac{D}{2},$$

где D – диаметр ротора;

N_2 – число проводников ротора.

Под действием момента сил ротор двигателя разгоняется до некоторой скорости вращения n_2 , которая всегда принципиально меньше скорости вращения магнитного поля статора n_1 . Если допустить, что $n_1 = n_2$, то магнитное поле статора не будет пересекать проводники ротора и момент станет равным нулю. У двигателя принципиально $n_1 > n_2$, поэтому такие электрические машины называются асинхронными (несинхронными) и их работа определяется параметром s – скольжением:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}.$$

Отсюда частота вращения ротора

$$n_2 = n_1(1 - s) = \frac{60f}{p}(1 - s).$$

Регулировка скорости вращения ТАД

Исходя из приведенной формулы частоту вращения двигателя можно регулировать следующими способами:

1) изменением частоты питающей сети f , например с помощью преобразователей частоты;

2) изменением числа пар полюсов p , что можно осуществить коммутационным методом, переключением катушек фазных обмоток с последовательного соединения на параллельное и наоборот;

3) изменением скольжения s , что осуществимо в двигателях с фазным ротором (изменением сопротивлений реостатов), а при короткозамкнутом роторе изменением питающего напряжения U_1 .

Все три способа требуют дополнительных затрат, что является существенным недостатком асинхронных двигателей.

Рабочие характеристики двигателя

Свойства двигателя в рабочем режиме определяются рабочими характеристиками. Рабочие характеристики представляют собой зависимости потребляемой мощности P_1 , потребляемого тока I_1 , коэффициента мощности $\cos\varphi_1$, коэффициента полезного действия (КПД) η , момента вращения $M_{вр}$, частоты вращения n_2 , скольжения s от полезной мощности на валу двигателя P_2 при номинальном напряжении U_1 и постоянной частоте f питающей сети.

Мощность и КПД асинхронного двигателя

Исходя из законов механики полезная механическая мощность, Вт:

$$P_2 = \omega_2 M,$$

где $\omega_2 = \frac{2\pi n_2}{60}$ – угловая скорость вращения, рад/с.

Активная потребляемая мощность P_1 на холостом ходу мала и расходуется на покрытие потерь механических и в магнито-

проводе. Коэффициент мощности двигателя определяется как отношение активной мощности к полной:

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}},$$

где S_1 , P_1 , Q_1 – полная, активная и реактивная мощности двигателя.

КПД определяется отношением полезной мощности (механической мощности на валу двигателя) P_2 к затраченной, т. е. потребляемой из сети P_1 :

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{\omega_2 M}{\sqrt{3} U_1 I_1 \cos\varphi_1},$$

где U_1 , I_1 – линейные напряжение и ток;

φ_1 – угол сдвига фаз между линейными напряжением и током.

Механическая характеристика двигателя

Механической характеристикой двигателя называется зависимость частоты вращения от момента нагрузки на валу при постоянных значениях напряжения U_1 и частоты питающей сети f .

$$n_2 = f(M).$$

Механическая характеристика является обратной зависимостью по отношению к зависимости момента вращения от скольжения, показанной на рис. 8.5, а.

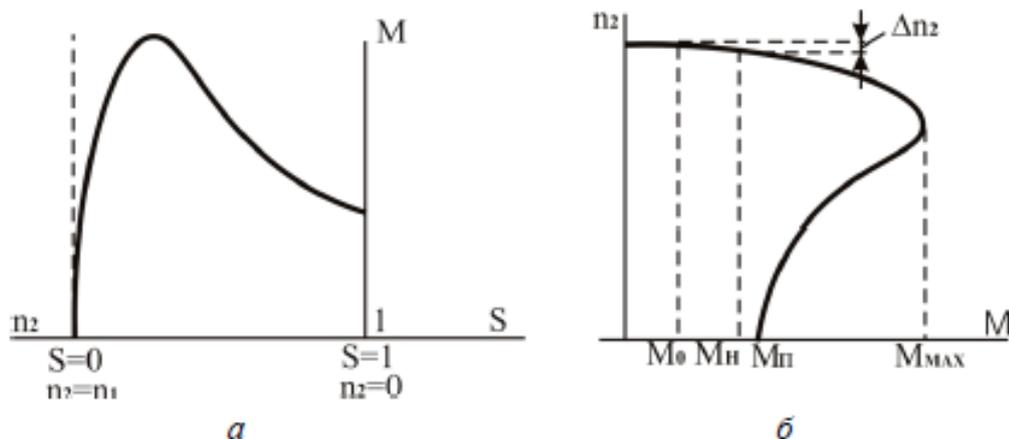


Рис. 8.5. Механическая характеристика трехфазного асинхронного двигателя

При изменении момента нагрузки на валу от нуля до номинального значения ($0 < M < M_{\text{н}}$) скорость вращения изменяется лишь на несколько процентов от скорости вращения ВМП. Такая механическая характеристика считается жесткой. Это обусловлено тем, что скольжение s на холостом ходу двигателя около 1 %, а в номинальном режиме – 4–8 %.

Пример решения задачи

Задача. Паспортная мощность рабочей машины составляет $P_{\text{рм}} = 3,7$ кВт. Приводной вал вращается с установившейся частотой вращения $n_{\text{рм}} = 1360$ об/мин. Напряжение питающей сети 380 В. Необходимо выбрать трехфазный асинхронный двигатель серии АИР, достаточный для привода данной машины. В каком режиме будет работать данная машина с выбранным двигателем? В каком режиме будет проходить пуск данного двигателя?

Решение

1. Выбираем из прилож. 1 тип двигателя, удовлетворяющий требованиям $P_{2\text{ном}} > P_{\text{рм}}$, $n_2 > n_{\text{рм}}$. Предположительно этим условиям удовлетворяет АИР100L4, для которого $P_{2\text{ном}} = 4,0$ кВт, $s_{\text{ном}} = 5,3$ %, КПД = 84,0 %, $\cos\phi = 0,84$, $\lambda = M_{\text{max}} / M_{\text{н}} = 2,2$.

2. Определяем момент рабочей машины:

$$M_{\text{рм}} = 9,55 \frac{P_{\text{рм}}}{n_{\text{рм}}} = 9,55 \frac{3700}{1360} = 25,98 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

3. Для построения необходимо произвести расчет номинального момента и скольжения:

$$M_{\text{н}} = 9,55 \frac{P_{2\text{ном}}}{n_{2\text{ном}}} = 9,55 \frac{4000}{1431} = 26,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

4. Рассчитаем критическое скольжение и критический момент:

$$s_{\text{к}} = s_{\text{ном}} \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) = 0,22;$$

$$M_{\text{кр}} = \lambda M_{\text{ном}} = 26,7 \cdot 2,2 = 58,48 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Основных точек характеристики для ее построения недостаточно. С помощью упрощенной формулы Клосса необходимо рассчитать моменты для других значений скольжения

$$M = \frac{2M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}},$$

а также частоту вращения вала двигателя для этих моментов

$$n_2 = \frac{60f}{p}(1-s).$$

Сведем результаты расчета в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Точки механической характеристики трехфазного асинхронного двигателя

s	0	$s_{ном}$	$s_{кр}$	0,2	$\frac{s_{кр}}{2}$	0,3	0,4
$M, Н\cdot м$	0	26,6	46,78	58,48	58,21	55,77	49,38
$n_2, об/мин$	1500	1420,5	1335	1170	1200	1050	900

Окончание таблицы 8.1

s	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
$M, Н\cdot м$	43,11	37,80	33,45	29,90	26,97	24,54	
$n_2, об/мин$	750	600	450	300	150	0	

В соответствии с данными табл. 8.1 построим график механической характеристики двигателя (рис. 8.6). На графике механической характеристики двигателя отметим точку рабочей машины с координатами $M_{рм} = 25,98 Н\cdot м$, $n_{рм} = 1360 об/мин$.

Если точка рабочей машины попадает в зону, ограниченную снизу линией n_{2max} , а сверху – самой механической характеристикой, то двигатель можно использовать для привода данной рабочей машины. Если точка рабочей машины попадает в зону 1, то данный двигатель с данной рабочей машиной может работать в длительных безостановочных режимах (режим S1), если же в зону 2, то в краткосрочном режиме (режим S2).

Если перпендикуляр, опущенный из точки рабочей машины на ось момента, пересекает эту ось левее точки пуска, то данный двигатель может запустить рабочую машину под нагрузкой. Если же перпендикуляр пересекает ось момента в точке пуска или правее, то пуск рабочей машины следует осуществлять на холостом ходу и только после этого нагружать ее.

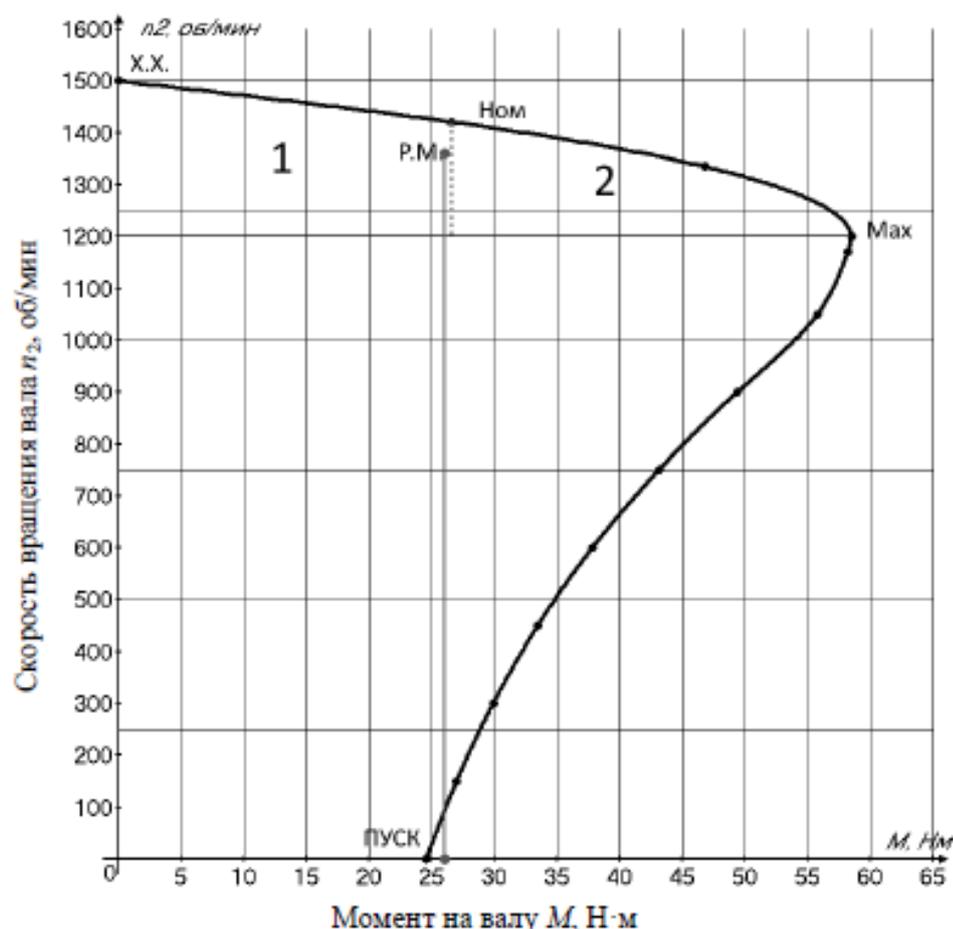


Рис. 8.7. Механическая характеристика

В данном случае двигатель может работать с рабочей машиной в длительных безостановочных режимах, но запускать его в работу необходимо на холостом ходу.

Задание для самостоятельного выполнения

Даны паспортная мощность и номинальная скорость вращения вала рабочей машины. Напряжение питающей сети – 380 В. Необходимо выбрать трехфазный асинхронный двигатель серии АИР

(прилож. 1), достаточный для привода данной машины. В каком режиме будет работать данная машина с выбранным двигателем? В каком режиме будет проходить пуск данного двигателя?

Таблица 8.2

Варианты задания для самостоятельного выполнения

Номер варианта	$P_{\text{зад}}$, кВт	n_2 , об/мин	Номер варианта	$P_{\text{зад}}$, кВт	n_2 , об/мин
1	0,23	1380	16	0,085	1371
2	0,175	885	17	28	588
3	0,08	2742	18	16,3	2937
4	0,25	654	19	7	731
5	0,05	1378	20	45	589
6	1	697	21	20,9	2943
7	0,29	908	22	0,99	1419
8	0,23	2775	23	15	730
9	0,33	1365	24	0,7	2823
10	0,75	916	25	7	968
11	0,16	1366	26	18	732
12	2,85	706	27	2	1423
13	1,45	936	28	3,8	949
14	5,1	2898	29	18	976
15	0,45	1390	30	2,8	2871

Контрольные вопросы

1. Как изменяется величина скорости холостого хода при изменении величины питающего напряжения и сопротивления обмотки статора?

2. Как изменяется величина момента пуска и критического момента при изменении величины питающего напряжения и сопротивления обмотки статора?

3. Как изменяется рабочий участок при изменении величины питающего напряжения и сопротивления обмотки статора?

4. Что общего у графиков механической характеристики, построенных с учетом параметров схемы замещения и формулы Клосса? Чем они отличаются?

ПРИЛОЖЕНИЕ

Паспортные данные трехфазных
асинхронных двигателей серии АИР

Тип двигателя	$P_{\text{н}}$, кВт	n_2 , об/мин	s , о. е.	КПД, %	$\cos\varphi$	$I_{\text{н}}$, А	Кратности			Масса, кг
							$I_{\text{н}} / I_{\text{н}}$	$M_{\text{max}} / M_{\text{н}}$	$M_{\text{н}} / M_{\text{н}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$n_1 = 3000$ об/мин										
АИР56А2	0,18	2700	0,100	65,7	0,77	0,55	5,3	2,2	2,2	5,7
АИР56В2	0,25	2720	0,093	68	0,78	0,73	5,3	2,2	2,2	6,2
АИР63А2	0,37	2730	0,090	69,7	0,81	1	5,7	2,2	2,2	9
АИР63В2	0,55	2770	0,077	72,7	0,82	1,4	5,7	2,3	2,2	9,5
АИР71А2	0,75	2820	0,060	74	0,83	1,9	6,1	2,3	2,2	10,8
АИР71В2	1,1	2790	0,070	77,6	0,83	2,7	6,7	2,3	2,2	12,4
АИР80МА2	1,5	2830	0,057	78,1	0,84	3,6	7	2,3	2,2	15,5
АИР80МВ2	2,2	2840	0,053	80,6	0,85	5	7	2,3	2,2	19,5
АИР90L2	3	2845	0,052	83,4	0,86	6,5	7,2	2,3	2,2	21
АИР100S2	4	2870	0,043	83,7	0,88	8,4	7,5	2,3	2,2	30
АИР100L2	5,5	2870	0,043	84,8	0,89	11	7,5	2,3	2,2	34
АИР112M2	7,5	2880	0,040	85,4	0,88	15,2	7,2	2,4	2,2	53
АИР132M2	11	2900	0,033	87,4	0,90	21,8	7,2	2,3	2,2	90
АИР160S2	15	2925	0,025	88,4	0,88	30	7,1	2,4	2,2	120
АИР160M2	18,5	2925	0,025	89,3	0,89	36,3	7,1	2,4	2,2	140
АИР180S2	22	2940	0,020	89,8	0,90	42,7	7,2	2,5	2	170
АИР180M2	30	2940	0,020	90,7	0,90	56,9	7,3	2,5	2,1	203
АИР200M2	37	2940	0,020	91,2	0,89	71	7,1	2,4	2,1	247
АИР200L2	45	2945	0,018	91,8	0,89	84,9	7,1	2,4	2,1	255
АИР225M2	55	2960	0,013	92	0,90	103	7,1	2,4	2,1	325
АИР250S2	75	2970	0,010	92,6	0,90	139	6,9	2,6	2	450
АИР250M2	90	2970	0,010	92,5	0,90	167	6,4	2,5	2	530
АИР280S2	110	2970	0,010	93,4	0,91	201	6,7	2,3	1,9	650
АИР280M2	132	2975	0,008	93,5	0,91	240	6,4	2,4	1,9	700
$n_1 = 1500$ об/мин										
АИР56А4	0,12	1325	0,117	56,5	0,66	0,5	4,6	2,2	2,1	5,7
АИР56В4	0,18	1325	0,117	61,2	0,68	0,7	4,9	2,2	2,1	6
АИР63А4	0,25	1325	0,117	64,5	0,73	0,82	5,1	2,2	2,1	9
АИР63В4	0,37	1325	0,117	66,3	0,76	1,12	5,1	2,2	2,1	9,5
АИР71А4	0,55	1350	0,100	70	0,73	1,75	5,4	2,3	2,2	11
АИР71В4	0,75	1360	0,093	71,3	0,77	2,2	5,7	2,3	2,2	12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
АИР80МА4	1,1	1375	0,083	74,5	0,76	3,04	5,8	2,3	2,3	16
АИР80МВ4	1,5	1390	0,073	77,5	0,78	3,95	6,2	2,3	2,3	19,5
АИР90L4	2,2	1400	0,067	80	0,81	5,3	6,8	2,3	2,3	25
АИР100S4	3	1420	0,053	81,4	0,82	7,2	7	2,3	2,3	34
АИР100L4	4	1420	0,053	82,8	0,81	9,3	7	2,3	2,3	37
АИР112М4	5,5	1430	0,047	84,1	0,82	12,3	6,6	2,3	2,3	55
АИР132S4	7,5	1440	0,040	86	0,84	16,1	6,7	2,3	2,2	80
АИР132М4	11	1450	0,033	87,1	0,84	23,1	6,8	2,3	2,2	91
АИР160S4	15	1455	0,030	88,7	0,85	30,8	6,8	2,3	2,2	138
АИР160М4	18,5	1455	0,030	89,8	0,86	37,8	6,8	2,3	2,2	142
АИР180S4	22	1465	0,023	90,6	0,86	44,4	7	2,4	2,1	177
АИР180М4	30	1465	0,023	91,2	0,86	59,6	6,8	2,3	2,1	190
АИР200М4	37	1470	0,020	92	0,87	73,1	7	2,3	2,2	247
АИР200L4	45	1465	0,023	92,3	0,87	88,4	6,9	2,4	2,2	260
АИР225М4	55	1480	0,013	92,4	0,87	106	6,7	2,3	2,2	326
АИР250S4	75	1475	0,017	92,9	0,86	146	6,9	2,3	2,2	477
АИР250М4	90	1475	0,017	93,3	0,87	170	6,4	2,4	2,2	485
АИР280S4	110	1480	0,013	93,8	0,88	207	6,6	2,2	2,1	731
$n_1 = 1000$ об/мин										
АИР63А6	0,18	860	0,140	55,5	0,64	0,8	4,1	2	1,9	9,5
АИР63В6	0,25	860	0,140	58,3	0,65	1,1	4	2	1,9	10
АИР71А6	0,37	895	0,105	62,8	0,68	1,33	4,7	2	1,9	12,4
АИР71В6	0,55	895	0,105	65,7	0,70	1,9	4,7	2	1,9	12,2
АИР80МА6	0,75	910	0,090	69	0,72	2,29	5,3	2,1	2	16
АИР80МВ6	1,1	910	0,090	72,1	0,74	3,18	5,3	2,1	2	20
АИР90L6	1,5	920	0,080	76	0,74	4,2	6	2,1	2	25
АИР100L6	2,2	930	0,070	77,1	0,76	5,9	6,3	2,1	2	38
АИР112МА6	3	935	0,065	80,1	0,76	7,9	5,7	2,2	2,1	51
АИР112МВ6	4	935	0,065	80,7	0,77	10,3	5,7	2,1	2,1	52
АИР132S6	5,5	955	0,045	82,8	0,78	13,4	6,3	2,1	2,1	71
АИР132М6	7,5	960	0,040	84,1	0,80	17,2	6,2	2,2	2,1	78
АИР160S6	11	965	0,035	86,8	0,79	24,6	6,3	2,2	2	141
АИР160М6	15	965	0,035	88,2	0,81	33	6,5	2,2	2	155
АИР180М6	18,5	970	0,030	88,9	0,82	39	6,6	2,1	2,1	200
АИР200М6	22	975	0,025	89,7	0,83	45,2	6,3	2,2	2,1	233
АИР200L6	30	975	0,025	89,8	0,84	61,8	6,5	2,2	2,1	250
АИР225М6	37	980	0,020	91,3	0,85	73,5	6,6	2,1	2,1	360
АИР250S6	45	980	0,020	92	0,85	90,1	6,7	2,2	2,1	465
АИР250М6	55	985	0,015	92,4	0,84	110	6,8	2,3	2,2	520
АИР280S6	75	985	0,015	93	0,85	150	6,6	2,1	2	800

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
АИР280М6	90	985	0,015	92,9	0,85	177	6,6	2,2	2,2	800
АИР315S6	110	985	0,015	94,2	0,86	207	6,3	2,2	2	1045
АИР315М6	132	985	0,015	94,4	0,87	244	6,1	2,2	2	1103
АИР355S6	160	990	0,010	94,7	0,87	292	6,6	2,2	1,9	1748
АИР355М6	200	990	0,010	94,7	0,87	365	6,7	2,2	1,9	1934
АИР355МВ6	250	990	0,010	95,1	0,88	456	6,6	2,3	1,9	2050
$n_1 = 750$ об/мин										
АИР71В8	0,25	655	0,127	54,5	0,60	1,17	3,7	1,9	1,8	10,4
АИР80МА8	0,37	675	0,100	60,1	0,62	1,5	4,3	1,9	1,8	18
АИР80МВ8	0,55	675	0,100	62,9	0,62	2,18	4	2	1,8	18,9
АИР90LА8	0,75	685	0,087	72,4	0,70	2,33	4	2	1,9	30
АИР90LВ8	1,1	685	0,087	73	0,69	3,27	4	2	1,8	32
АИР100L8	1,5	690	0,080	73,5	0,72	4,5	4,7	2	1,9	49,3
АИР112МА8	2,2	700	0,067	75,6	0,71	6,4	4,9	2,1	2	46
АИР112МВ8	3	700	0,067	76,9	0,71	8,6	5	2,1	2	53
АИР132S8	4	715	0,047	81,9	0,78	10,8	5,6	2,1	2,1	92
АИР132М8	5,5	715	0,047	80,9	0,74	14,7	5,6	2,1	2,1	86
АИР160S8	7,5	720	0,040	85,2	0,74	19,2	5,8	2,1	2	148
АИР160М8	11	720	0,040	86,4	0,76	27,3	5,8	2,1	2	155
АИР180М8	15	725	0,033	87,6	0,78	34,5	6,2	2	2	210
АИР200М8	18,5	730	0,027	89	0,78	41,6	6,2	2,1	1,9	250
АИР200L8	22	730	0,027	89,6	0,78	49,4	6,2	2,1	2	260
АИР225М8	30	735	0,020	90,6	0,78	65,3	6,5	2,1	2	360
АИР250S8	37	735	0,020	90,5	0,77	82,1	6,2	2,3	2,1	465
АИР250М8	45	735	0,020	91,5	0,77	99,1	6,2	2,3	2,1	520
АИР280S8	55	735	0,020	92	0,80	121	6	2	1,9	725
АИР280М8	75	740	0,013	92	0,81	154	5,8	2,1	1,9	800
АИР315S8	90	740	0,013	93,8	0,82	178	6,2	2,3	2	1160
АИР315М8	110	740	0,013	94	0,82	217	6,1	2,2	2	1175
АИР355S8	132	740	0,013	93,9	0,82	261	6,3	2,2	1,7	2000
АИР355М8	160	740	0,013	94,3	0,82	315	6,3	2,2	1,7	2150
АИР355МВ8	200	740	0,013	94,6	0,83	388	6,4	2,3	1,8	2250
$n_1 = 600$ об/мин										
АИР315S10	55	590	0,017	92	0,75	121	6,2	2	1,5	1150
АИР315М10	75	590	0,017	92,5	0,76	162	6,2	2	1,5	1220
АИР355S10	90	590	0,017	93	0,77	188	6,2	2	1,3	1530
АИР355МА10	110	590	0,017	93,2	0,78	230	6	2	1,3	1640
АИР355МВ10	132	590	0,017	93,5	0,78	275	6	2	1,3	1690
АИР355М10	160	590	0,017	93,5	0,78	334	6	2	1,3	1690