

## Контрольное задание

### “Трехфазный асинхронный двигатель”

Основным параметром, характеризующим режим работы асинхронного двигателя, является скольжение  $s$  – относительная разность частоты вращения ротора двигателя  $n$  и его поля  $n_0$ :  $s = (n_0 - n) / n_0$ .

Область механической характеристики, соответствующая  $0 \leq s \leq 1$  – область двигательных режимов, причем при  $s < s_{кр}$  работа двигателя устойчива, при  $s > s_{кр}$  – неустойчива. При  $s < 0$  и  $s > 1$  момент двигателя направлен против направления вращения его ротора (соответственно рекуперативное торможение и торможение противовключением).

Устойчивый участок механической характеристики двигателя часто описывается формулой Клосса, подстановкой в которую параметров номинального режима можно определить критическое скольжение  $s_{кр}$ :

$$M = \frac{2M_{кр}}{s/s_{кр} + s_{кр}/s}; s_{кр} = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1})$$

где:  $\lambda = M_{кр} / M_H$  – перегрузочная способность двигателя.

Механическая характеристика по данным справочника или каталога приближенно может быть построена по четырем точкам (рис.1):

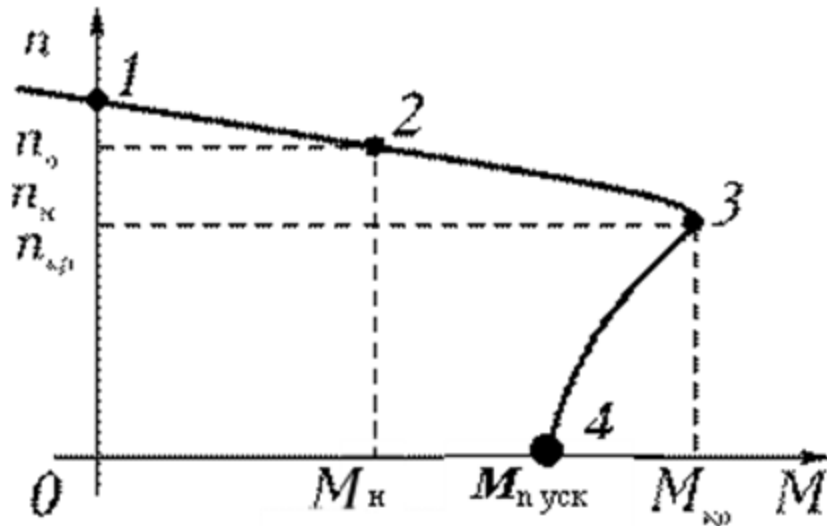


Рис. 1

- точка 1 – идеальный холостой ход,  $n = n_0 = 60 f / p$ ,  $M = 0$ , где:  $p$  - число пар полюсов магнитного поля двигателя;
- точка 2 - номинальный, режим:  $n = n_n$ ,  $M = M_n = 9550 P_n / n_n$ , где  $P_n$  – номинальная мощность двигателя в кВт;
- точка 3 – критический режим:  $n = n_{кр}$ ,  $M = M_{кр} = \lambda M_n$  ;
- точка 4 – режим пуска:  $n = 0$ ,  $M = M_{пуск} = \beta M_n$ .

При анализе работы двигателя в диапазоне нагрузок до  $M_n$  и несколько больше устойчивый участок механической характеристики можно приближенно описать уравнением прямой линии  $n=n_0-vM$ , где коэффициент “ $v$ ” легко определяется подстановкой в уравнение параметров номинального режима  $n_n$  и  $M_n$ .

## Расчет основных параметров трехфазного асинхронного двигателя

### Задача 1 (для четных вариантов)

Трехфазный короткозамкнутый асинхронный двигатель с номинальной мощностью  $P_n$  и номинальными напряжениями 660/380 В при схемах соединения обмоток звезда / треугольник подключен к сети с линейным напряжением 380 В (нечетные варианты) или 660 В (четные варианты) частотой 50 Гц. Двигатель имеет  $p$  пар полюсов магнитного поля и скольжение в номинальном

режиме  $s_n$ ; КПД и коэффициент мощности в номинальном режиме равны соответственно  $\rho_n$  и  $\cos\varphi_n$ . Кратность максимального момента двигателя  $\lambda = M_{\max} / M_n$ , пускового -  $\beta = M_{\text{пуск}} / M_n$ , кратность пускового тока  $I_{\text{пуск}} / I_n$  равна 7 (см. табл. 1).

Таблица 1

Вариант	$P_n$ , кВт	$s_n$ , %	$\eta_n$ , %	$\cos \varphi_n$	$p$	$\lambda$	$\beta$
1	10	4	88	0,89	1	2,2	1,5
2	13	3,5	88	0,89	1	2,2	1,5
3	17	3,5	88	0,9	2	2,3	1,2
4	22	3,5	87	0,9	2	2,3	1,1
5	30	3	89	0,9	1	2,2	1,1
6	40	3	89	0,91	1	2	1
7	55	3	90	0,92	3	2	1
8	75	3	90	0,92	3	2,2	1
9	100	2,5	91	0,92	4	2,2	1,4
10	10	2,5	89	0,87	4	2	1,4

Для заданного напряжения сети начертить схему соединения обмоток двигателя. Определить частоту вращения магнитного поля, номинальную частоту вращения ротора, номинальный момент, номинальные линейный и фазный токи и пусковой ток двигателя. Рассчитать критическое скольжение и критическую частоту вращения, максимальный и пусковой моменты двигателя и построить его естественную механическую характеристику. Оценить возможность пуска двигателя при номинальном моменте на валу и снижении питающего напряжения на 15%. Ответить на дополнительный вопрос к задаче в соответствии с вариантом.

## Задача 2 (для нечетных вариантов)

Асинхронный короткозамкнутый двигатель с номинальной мощностью  $P_n$  и номинальной частотой вращения  $n_n$  подключен к сети с линейным напряжением 380 В и частотой 50 Гц. В режиме холостого хода двигатель потребляет ток  $I_0$  при коэффициенте мощности  $\cos\varphi_0$ . КПД двигателя в номинальном режиме  $\rho_n$ , перегрузочная способность -  $\lambda = M_{\max} / M_n$ . При пуске ток

двигателя равен  $I_{\text{пуск}} = k_I I_{\text{н}}$ , пусковой момент –  $M_{\text{пуск}} = \beta M_{\text{н}}$ . Исходные данные приведены в таблице 2.

Таблица 2

Вариант	$P_{\text{н}}$ , кВт	$n_{\text{н}}$ , об/мин	$\eta_{\text{н}}$ , %	$I_0$ , А	$\cos \varphi_0$	$k_I$	$\lambda$	$\beta$
1	22	2940	88,5	18,3	0,341	7,5	2,5	1,4
2	55	2945	91	42,4	0,392	7,5	2,5	1,4
3	1	1465	88,5	15,6	0,474	7	2,3	1,4
4	30	980	90,5	27	0,436	6,5	2,4	1,3
5	37	1475	91	32,1	0,368	7	2,5	1,4
6	45	740	91	51,5	0,363	6	2	1,2
7	75	590	92	95,5	0,243	6	1,8	1
8	55	490	91	85	0,312	6	1,8	1
9	11	975	86	12,6	0,403	6	2	1,2
10	90	2960	92	81,6	0,475	7,5	2,5	1,2

Определить активную  $P_0$ , реактивную  $Q_0$  мощности, потребляемые двигателем в режиме холостого хода, и активную мощность  $P_{1\text{н}}$ , потребляемую из сети при номинальной нагрузке на валу. Считая реактивную мощность не зависящей от нагрузки, рассчитать полную мощность  $S_{\text{н}}$ , ток  $I_{\text{н}}$  и коэффициент мощности  $\cos \varphi_{\text{н}}$  двигателя в номинальном режиме. Определить номинальный  $M_{\text{н}}$ , максимальный  $M_{\text{мах}}$ , пусковой  $M_{\text{пуск}}$  моменты двигателя и его пусковой ток  $I_{\text{пуск}}$ .

Рассчитать частоту вращения магнитного поля двигателя  $n_0$ , его номинальное  $s_{\text{н}}$  и критическое  $s_{\text{кр}}$  скольжения, критическую частоту вращения  $n_{\text{кр}}$ . По результатам расчетов по четырем точкам (холостой ход, номинальный, критический и пусковой режимы) построить естественную характеристику. Ответить на дополнительный вопрос к задаче в соответствии с вариантом.

### Задача 3

В таблице 3 приведены технические характеристики трехфазных двухскоростных короткозамкнутых асинхронных двигателей (в числителе – для низшей скорости, в знаменателе –

для высшей). Номинальное линейное напряжение двигателя – 380 В, 50 Гц. В таблице обозначено:

- $2p$  – число полюсов магнитного поля;
- $s_n, \rho_n, I_n, \cos \varphi_n$  – скольжение, КПД, ток и коэффициент мощности двигателя в номинальном режиме;
- $\lambda = M_{\max} / M_n$  – перегрузочная способность двигателя;
- $\beta = M_{\text{пуск}} / M_n$  – кратность пускового момента.

Таблица 3

Вариант	$2p$	$s_n$ , %	$\eta_n$ , %	$I_n$ , А	$\cos \varphi_n$	$\lambda$	$\beta$
1	4 / 2	5,33 / 7,33	76,0 / 74,0	3,7 / 4,8	0,81 / 0,86	2,1 / 1,9	1,7 / 1,7
2	8 / 4	2,53 / 1,47	89,5 / 88,5	68 / 88	0,75 / 0,90	1,8 / 1,9	1,6 / 1,4
3	12 / 6	1,40 / 1,50	83,0 / 90,0	55,5 / 55,7	0,53 / 0,85	1,8 / 1,8	1,7 / 1,5
4	8 / 4	1,33 / 2,67	76,5 / 84,0	12,0 / 17,7	0,69 / 0,92	2,0 / 2,0	1,5 / 1,2
5	6 / 4	2,00 / 2,00	83,0 / 81,5	29,6 / 28,4	0,68 / 0,85	2,2 / 2,2	1,4 / 1,3
6	4 / 2	1,53 / 1,50	93,0 / 87,0	95,2 / 118	0,86 / 0,89	2,0 / 2,2	1,8 / 1,8
7	6 / 4	5,00 / 5,33	76,0 / 76,0	8,2 / 7,4	0,68 / 0,86	1,8 / 1,8	1,3 / 1,3
8	12 / 6	2,00 / 1,50	77,5 / 88,0	32,0 / 28,2	0,55 / 0,86	1,8 / 2,0	1,5 / 1,5
9	8 / 4	2,53 / 4,33	90,8 / 91,3	148 / 158	0,85 / 0,94	1,8 / 2,3	1,3 / 1,3
10	6 / 4	1,00 / 1,33	86,5 / 87,0	38,2 / 43,0	0,78 / 0,89	2,2 / 2,2	1,5 / 1,5

Для каждой из скоростей двигателя определить частоту вращения магнитного поля  $n_0$  и номинальную частоту вращения ротора  $n_n$ , потребляемую мощность  $P_{1n}$ , мощность на валу  $P_n$ , момент  $M_n$  в номинальном режиме работы, рассчитать максимальный  $M_{\max}$  и пусковой  $M_{\text{пуск}}$  моменты, критическое скольжение  $s_{\text{кр}}$  и

соответствующую ему частоту вращения  $n_{кр}$ . По результатам расчетов построить (по четырем точкам) в одной системе координат механические характеристики двигателя.

Ответить на дополнительный вопрос к задаче в соответствии с вариантом.

### **Дополнительные вопросы к задачам 1, 2, 3**

1. Каковы особенности процессов в асинхронном двигателе (частота вращения, скольжение, момент, ток) при торможении противовключением? Покажите этот режим на механической характеристике.
2. Почему асинхронный двигатель имеет низкий коэффициент мощности на холостом ходу?
3. Как изменяется механическая характеристика асинхронного двигателя с фазным ротором при введении в цепь ротора резисторов? Проиллюстрируйте механическими характеристиками.
4. Как осуществить реверс асинхронного двигателя? Чем объясняется возникающий при этом бросок тока статора?
5. Что такое рекуперативное торможение асинхронного двигателя? Как оно реализуется? Покажите на характеристиках.
6. Объяснить, почему короткозамкнутый асинхронный двигатель имеет пусковой момент, соизмеримый с номинальным, хотя его пусковой ток превышает номинальный в 5...7 раз.
7. Рассмотреть физическую природу мощности потерь в стали двигателя. Как они зависят от нагрузки двигателя? Почему мощность потерь в стали ротора много меньше, чем в стали статора?
8. Каким способом можно плавно регулировать частоту вращения асинхронного двигателя? Покажите на механических характеристиках.
9. Какими физическими причинами объясняется изменение перегрузочной способности асинхронного двигателя при изменении величины питающего напряжения?
10. Что такое динамическое торможение асинхронного двигателя? Покажите на характеристиках и объясните, как создается тормозной момент в этом режиме.