

Задание на контрольную работу и методические указания к выполнению контрольной работы

Известны следующие технические данные асинхронного двигателя с фазным ротором, предназначенного для работы в сети с частотой $f_1 = 50$ Гц: число фаз $m = 3$; схема соединения фаз обмотки статора Δ/Y ; число полюсов $2p$; номинальная мощность $P_{2н}$, кВт; номинальное линейное напряжение обмотки статора $U_{1н} = U_{лн(\Delta)}/U_{лн(Y)} = 220/380$, В; номинальный КПД η_n , %; номинальный коэффициент мощности $\cos\varphi_n$; номинальная частота вращения $n_{2н}$, об/мин; кратность максимального момента $k_M = M_{max}/M_{2н}$; активное сопротивление фазы обмотки статора при расчетной температуре r_1 , Ом; схема соединения фаз обмотки ротора Y ; линейная ЭДС ротора при нулевой скорости вращения ротора $E_{2л}$, В; коэффициент уточненной Г-образной электрической схемы замещения асинхронного двигателя $C_1 = 1$; активное сопротивление фазы обмотки ротора при расчетной температуре r_2 , Ом; индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки неподвижного ротора x_2 , Ом. Заданные данные приведены в таблице. Вариант задания определяется последней цифрой шифра зачётной книжки студента.

№ вар.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$2p$	4	4	4	4	4	6	6	6	6	6
$P_{2н}$	11	14	18	22	30	7,5	10	13	18,5	22
η_n	86,5	88	89	90	90	82,5	84,5	86	88,5	88
$\cos\varphi_n$	0,86	0,87	0,88	0,87	0,87	0,77	0,76	0,8	0,81	0,8
$n_{2н}$	1438	1448	1457	1467	1462	951	959	957	971	969
k_M	3,2	3,5	4	4	4	3,5	3,8	4	3,5	3,5
r_1	0,373	0,255	0,135	0,124	0,099	0,564	0,401	0,267	0,168	0,149
$E_{2л}$	305	300	294	338	349	300	310	324	360	330
r_2	0,321	0,207	0,125	0,107	0,096	0,518	0,358	0,317	0,19	0,143
x_2	0,576	0,385	0,232	0,309	0,281	0,906	0,8	0,609	0,387	0,308

Сделайте следующие расчеты и построения.

1. Определите следующие значения, соответствующие номинальному режиму: номинальные активную $P_{1н}$ и реактивную $Q_{1н}$ мощности на зажимах обмотки статора асинхронного двигателя; кратко поясните, почему асинхронный двигатель наряду с активной энергией потребляет и реактивную энергию; номинальные фазные напряжения $U_{1н}$ и ток $I_{1н}$ статора; фазную ЭДС неподвижного ротора E_2 ; номинальное скольжение S_n ; номинальный момент на валу $M_{2н}$.

2. Начертите электрическую схему замещения фазы обмотки вращающегося ротора и рассчитайте: частоту ЭДС и тока ротора в номинальном режиме f_2 ; номинальную фазную ЭДС ротора $E_{2н}$; индуктивное сопротивление рассеяния фазы ротора в номинальном режиме $x_{2н}$; номинальный фазный ток ротора $I_{2н}$.

3. Рассчитайте энергетические параметры асинхронного двигателя, работающего в номинальном режиме: номинальные электромагнитную мощность $P_{\text{эм}}$ и электромагнитный момент $M_{\text{эм}}$; номинальную полную механическую мощность $P_{\text{мех}}$; сумму потерь $\Sigma \Delta p = \Delta p_{\text{э1}} + \Delta p_{\text{м}} + \Delta p_{\text{э2}} + \Delta p_{\text{мех}} + \Delta p_{\text{д}}$ и каждый вид потерь в отдельности, где $\Delta p_{\text{э1}}$ – электрические потери в обмотке статора; $\Delta p_{\text{э2}}$ – электрические потери в обмотке ротора; $\Delta p_{\text{м}}$ – магнитные потери; $\Delta p_{\text{мех}}$ – механические потери; $\Delta p_{\text{д}}$ – добавочные потери; постройте энергетическую диаграмму преобразования активной энергии при работе двигателя в номинальном режиме; кратко поясните, почему при одной и той же нагрузке двигателя электромагнитный момент больше полезного момента на валу. Оцените эту разницу в процентах для номинального режима $\Delta M \% = 100(M_{\text{эм}} - M_{2\text{н}})/M_{\text{эм}}$.

4. Вычислите параметры электрической схемы замещения фазы неподвижного ротора, эквивалентной электрической схеме замещения фазы вращающегося ротора. Приведите величины и параметры электрической схемы замещения фазы неподвижного ротора к статору r'_2 , x'_2 , E'_2 . Начертите схему замещения фазы неподвижного ротора и рассчитайте по ней приведенный номинальный фазный ток ротора $I'_{2\text{н}}$. Сравните вычисленное значение приведенного номинального фазного тока ротора с полученным ранее при расчете электрической схемы замещения фазы вращающегося ротора, которое надо привести к статору:

$$I'_{2\text{н}} = \frac{I_{2\text{н}}}{k_1}.$$

5. Запишите полную формулу Клосса и объясните, при каких допущениях ее можно привести к виду:

$$\frac{M_{\text{эм}}}{M_{\text{max}}} = \frac{2}{\left(\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s} \right)}$$

(упрощенная формула Клосса). Можно ли при Ваших параметрах двигателя использовать упрощенную формулу Клосса?

Вычислите значения критического скольжения по полной и упрощенной формулам Клосса и сравните их. Сделайте вывод.

6. Вычислите значение критического скольжения $s_{\text{кр}}$ при работе асинхронного двигателя с закороченным ротором по точной формуле.

7. Определите параметры короткого замыкания $r_{\text{к}}$ и $x_{\text{к}}$ асинхронного двигателя.

8. Объясните, каким образом в асинхронном двигателе с фазным ротором добиваются увеличения кратности пускового момента при одновременном уменьшении кратности начального пускового тока. Начертите электрическую схему пуска асинхронного двигателя с фазным ротором.

9. В одной системе координат постройте следующие механические

характеристики $\Omega_2 = f(M_{эм})$ или $n_2 = f(M_{эм})$: естественную (обмотка статора соединена в треугольник и подключена к сети с линейным напряжением 220 В, обмотка ротора закорочена); искусственную при том же соединении обмотки статора и включении в цепь ротора пускового реостата r_d , сопротивление которого необходимо выбрать таким образом, чтобы начальный пусковой момент был равен максимальному ($M_n = M_{max}$). Рассчитайте значение этого сопротивления r_d ; искусственную при соединении обмотки статора звездой и подключении к той же сети с линейным напряжением 220 В и закороченном роторе; искусственную при соединении обмотки статора звездой и подключении к сети с линейным напряжением 220 В и включении в обмотку ротора сопротивления r_d .

10. Поясните, в какие режимы перейдет асинхронный двигатель при работе на каждой из механических характеристик (п. 9), если к его валу приложить реактивный момент сопротивления $M_c = 1,1M_{2н} = \text{const}$. Будут ли эти режимы работы аварийными?

Для нахождения скоростей вращения и скольжений двигателя при работе на каждой из механических характеристик на этом же рисунке начертите механическую характеристику механизма $M_c = \text{const}$.

Точки пересечения механической характеристики механизма $M_c = \text{const}$ с механическими характеристиками двигателя – это скорости вращения двигателя при данном моменте сопротивления на валу. Определив эти скорости, можно рассчитать соответствующие им скольжения $s = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$.

Если механическая характеристика механизма пересекает механическую характеристику двигателя на устойчивой и неустойчивой частях, то необходимо рассмотреть два режима: первый – переключение на эту механическую характеристику двигателя во время его устойчивой работы на другой механической характеристике и второй – пуск двигателя с этим моментом сопротивления на валу.

11. В одной системе координат построить механические характеристики двигателя: естественную (обмотка статора соединена в треугольник и подключена к сети с линейным напряжением 220 В и частотой сети 50 Гц, обмотка ротора закорочена); естественную (обмотка статора соединена в треугольник и подключена к сети с линейным напряжением 220 В и частотой сети 60 Гц, обмотка ротора закорочена).

Найти отношения:

$$\frac{M_{\max(50\text{Гц})}}{M_{\max(60\text{Гц})}} \text{ и } \frac{M_{\kappa(50\text{Гц})}}{M_{\kappa(60\text{Гц})}}.$$

Перед построением механической характеристики для частоты 60 Гц необходимо пересчитать индуктивное сопротивление короткого замыкания:

$$x_{\kappa} = x_1 + C_1 x_2' \text{ на частоту } 60 \text{ Гц } x_1 = \omega_1 L_{\sigma 1}, \quad x_2' = k x_2 = k \omega_1 L_{\sigma 2},$$

где $\omega_1 = 2\pi f_1$, $L_{\sigma 1} = \text{const}$ – индуктивность рассеяния фазы статора; $L_{\sigma 2}$ – индуктивность рассеяния фазы ротора.

Следовательно, $x_{k(60\Gamma\text{ц})} = 1,2x_{k(50\Gamma\text{ц})}$.

Методические рекомендации

К пункту 1. Все вычисления производить с точностью до третьего знака после запятой. Значение скольжения рассчитать с точностью до пятого знака после запятой.

К пункту 3. Добавочные потери в асинхронном двигателе могут быть определены по формуле:

$$\Delta p_d = 0,005 P_{1\text{н}} \left(\frac{I_1}{I_{1\text{н}}} \right)^2.$$

К пункту 4. В связи с тем, что в асинхронном двигателе с фазным ротором число фаз обмотки статора всегда равно числу фаз обмотки ротора ($m_1 = m_2$). Коэффициент приведения ЭДС равен коэффициенту приведения токов ($k_e = k_i$), коэффициент приведения ЭДС можно определить из паспортных данных:

$$k_e = \frac{k_{\text{об1}} W_1}{k_{\text{об2}} W_2} \approx \frac{U_{1\text{н}}}{E_2}.$$

К пункту 5. Формулой Клосса называется отношение $M_{\text{эм}}/M_{\text{max}}$. Следовательно, чтобы получить формулу Клосса надо общую формулу для определения значения электромагнитного момента разделить на выражение максимального момента:

$$\frac{M_{\text{эм}}}{M_{\text{max}}} = \frac{2(1 + \rho s_{\text{кр}})}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s} + 2\rho s_{\text{кр}}},$$

где $\rho = \frac{r_1}{C_1 r_2'}$.

К пункту 6. Значение критического скольжения можно рассчитать по формуле Клосса, так как известны кратность максимального момента $k_m = M_{\text{max}}/M_{2\text{н}}$, номинальное скольжение и коэффициент ρ . При решении квадратного уравнения необходимо выбрать корень, удовлетворяющий условию $s_{\text{кр}} > s_{\text{н}}$.

Также значение критического скольжения можно рассчитать по точной формуле:

$$s_{\text{кр}} = \frac{C_1 r_2'}{\sqrt{r_1^2 + x_{\text{к}}^2}},$$

причем величину индуктивного сопротивления короткого замыкания, входящую в формулу критического скольжения, можно определить из выражения:

$$M_{\text{max}} = \frac{m_1}{2C_1\Omega_1} \cdot \frac{U_{1\text{н}}^2}{r_1 + \sqrt{r_1^2 + x_{\text{к}}^2}},$$

где $M_{\text{max}} = k_{\text{м}} M_{2\text{н}}$; $\Omega_1 = \frac{\omega_1}{p} = \frac{2\pi f_1}{p}$ – угловая скорость вращения магнитного поля в воздушном зазоре.

Для упрощения расчета из формулы максимального электромагнитного момента можно сразу вычислить значение $\sqrt{r_1^2 + x_{\text{к}}^2}$.

К пункту 9. Построить механическую характеристику с достаточной степенью точности можно по следующим шести точкам:

$$s_1 = 0; s_2 = s_{\text{н}}; s_3 = s_{\text{н}} + \frac{s_{\text{кр}} - s_{\text{н}}}{2}; s_4 = s_{\text{кр}}; s_5 = s_{\text{кр}} + \frac{1 - s_{\text{кр}}}{2}; s_6 = 1.$$

При расчете уравнение электромагнитного момента запишите в буквенном виде, а все вычисления значений скорости вращения и электромагнитного момента сведите в таблицу. При расчете и построении механических характеристик необходимо помнить, что величина электромагнитного момента прямо пропорциональна квадрату напряжения питания $M_{\text{эм}} \propto U_1^2$.

Некоторое отличие электромагнитного момента при номинальном скольжении от номинального электромагнитного момента $M_{\text{эмн}}$, вычисленного в пункте 3, объясняется тем, что ток ротора в уравнении $M_{\text{эм}}$ определяется на основании уточненной Г-образной схемы замещения, не учитывающей комплексный характер коэффициента C_1 .

К пункту 10. Для обоснования аварийности режима необходимо для всех четырех случаев пункта 9 при $M_{\text{с}} = 1,1 M_{2\text{н}}$ вычислить значения фазных токов ротора и сравнить их с номинальным фазным током ротора $\frac{I_2}{I_{2\text{н}}}$ или $\frac{I_2'}{I_{2\text{н}}'}$. На

основании анализа этих соотношений сделайте соответствующие выводы.

К реактивным моментам относятся статические моменты от трения, от резания, например, металла или дерева, от растяжения и скручивания неупругих тел и т. п. Эти моменты всегда направлены встречно относительно вращающего момента двигателя, то есть всегда препятствуют движению.

Поэтому при приложении реактивного момента к валу асинхронного двигателя ротор не может изменить направление вращения.