

156-157 Практическая работа № 7. Определение расчётных и эксплуатационных параметров синхронных машин

Пример 7. Трёхфазный синхронный генератор мощностью $S_n = 500$ кВА и номинальным напряжением $U_{лн} = 3,2$ кВ работает с коэффициентом мощности $\cos\varphi_{1н} = 0,9$. Обмотка фазы статора соединена звездой. При этом частота вращения $n = 600$ об/мин, КПД генератора при номинальной нагрузке $\eta_n = 92\%$. Соединение фазных обмоток статора по схеме Y.

Требуется определить активную и реактивную мощность генератора при номинальной нагрузке, ток в обмотке статора, требуемую первичному двигателю мощность и вращающий момент при непосредственном механическом соединении валов генератора и первичного двигателя.

Решение. Для определения номинальной активной и реактивной мощности генератора используем выражения

$$P_n = S_n \cos\varphi_{1н} = 500 \cdot 0,9 = 450 \text{ кВт},$$

$$Q_n = S_n \sin\varphi_{1н} = S_n \sin(\arccos\varphi_{1н}) = 500 \cdot \sin(\arccos 0,9) = 217,94 \text{ кВт}.$$

Номинальный ток в линейном проводе генератора

$$I_n = S_n / U_{лн} = \cos\varphi_{1н} = 500 / 3,2 = 156,25 \text{ А}.$$

Для соединения фазных обмоток по схеме звезда Y ток в фазах обмотки статора $I_{фн}$ найдем через величину линейного тока $I_{лн}$

$$I_{фн} = I_{лн} / \sqrt{3} = 156,25 / 1,73 = 90,32 \text{ А}.$$

Мощность первичного двигателя при непосредственном механическом соединении валов генератора и первичного двигателя выразим из формулы

$$\eta_n = 100\% P_n / P_{дв},$$

значит $P_{дв} = 100\% P_n / \eta_n = 100\% 450 / 92 = 489,1 \text{ кВт}.$

Электромагнитный момент первичного двигателя при непосредственном соединении валов генератора и первичного двигателя

$$M_{эм} = P_{дв} / \omega = 60 P_{дв} / (2\pi n) = 60 \cdot 489,1 \cdot 10^3 / (2 \cdot 3,14 \cdot 600) = 7788,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Пример 8. Трехфазный синхронный двигатель характеризуется номинальными величинами: $P_n = 320$ кВт; частота вращения $n = 1500$ мин⁻¹; КПД $\eta_n = 0,93$; коэффициент мощности $\cos\varphi_n = 0,9$ ($\varphi < 0$, режим перевозбуждения). Обмотка статора соединена звездой. Электродвигатель присоединен к сети с линейным напряжением $U_n = 3000$ В, частотой $f = 50$ Гц и жестко соединен с валом компрессора, развивая при этом мощность, равную номинальной. Индуцированная потоком возбуждения ЭДС E_o на 40 % превышает фазное напряжение обмотки статора.

Задание:

1. Определить число пар полюсов ротора и номинальный ток фазы статора синхронного двигателя.
2. Построить для заданного режима работы синхронного двигателя векторную диаграмму, пренебрегая активным сопротивлением обмотки статора.
3. По диаграмме определить угол θ между векторами напряжения U_ϕ и ЭДС E_o , падение напряжения в обмотке статора и ее синхронное реактивное сопротивление.
4. Определить коэффициент мощности промышленного предприятия после установки на нем синхронного двигателя, если до установки двигателя суммарная активная мощность электроприемников предприятия $P_{\text{тп}} = 700$ кВт, а их коэффициент мощности $\cos\varphi_{\text{тп}} = 0,75$.

Решение. 1. Для синхронного двигателя частота вращения ротора равна частоте вращения магнитного поля статора и остается постоянной независимо от нагрузки на его валу $n = 60 f / p$. Отсюда число пар полюсов ротора

$$p = \frac{60 \cdot f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2.$$

Так как потребляемая двигателем мощность из сети

$$P_1 = P_n / \eta = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \cos\varphi_n,$$

то номинальный ток фазы статора

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} U_n \eta_n \cos\varphi_n} = \frac{320000}{1,732 \cdot 3000 \cdot 0,93 \cdot 0,9} = 73,6 \text{ А}.$$

2. Фазное напряжение статора

$$U_\phi = U_n / \sqrt{3} = 3000 / \sqrt{3} = 1732 \text{ В};$$

ЭДС, индуцированная в фазной обмотке статора,

$$E_o = 1,4 \cdot U_\phi = 1,4 \cdot 1732 = 2424,87 \text{ В}.$$

Для построения векторной диаграммы задаемся масштабом:

$$m_U = 300 \text{ В / см}, \quad m_I = 20 \text{ А / см}.$$

Откладываем вектор фазного напряжения \underline{U}_ϕ на векторной диаграмме синхронного двигателя (рисунок 3.20).

Вектор тока \underline{I}_n в обмотке статора опережает \underline{U}_ϕ на угол $\varphi_n = 25^\circ 50'$. Дальнейшее построение выполняем согласно уравнению напряжений фазы статора $\underline{U}_\phi = \underline{E}_o + jx \cdot \underline{I}_n$: с конца \underline{U}_ϕ под углом 90° к \underline{I}_n проводим линию ab , затем из

точки «0» циркулем откладываем отрезок длиной E_o до пересечения с линией ab . Измерив длину вектора и умножив ее на масштаб, получим значение вектора падения напряжения.

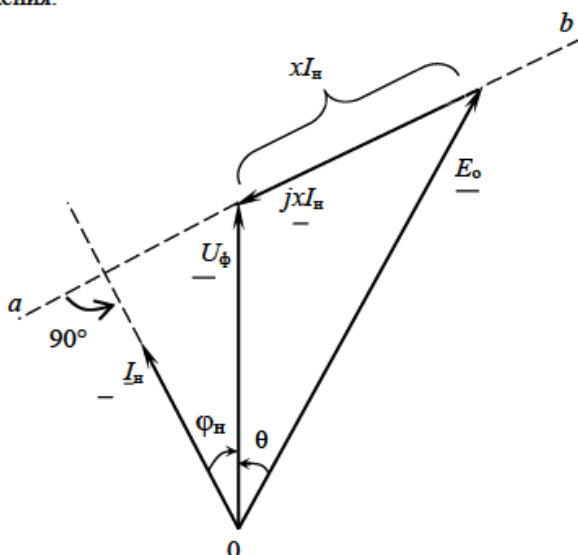


Рисунок 3.20 – Векторная диаграмма синхронного двигателя

$$|xI_n| = 1110 \text{ В, затем } x = \frac{|xI_n|}{I_n} = \frac{1110}{73,6} = 15,06 \text{ Ом.}$$

3. Угол между векторами E_o и U_ϕ является искомым углом $\theta = 24^\circ$.

4. Синхронный двигатель, установленный на промышленном предприятии, для питающей сети является активно-емкостной нагрузкой ($\varphi < 0$, режим перевозбуждения обмотки возбуждения).

Реактивная мощность, вырабатываемая синхронным двигателем,

$$Q_n = P_n \cdot \operatorname{tg} \varphi_n = 320 \cdot (-0,484) = -155 \text{ квар,}$$

где $\operatorname{tg} \varphi_n = \operatorname{tg} (-25^\circ 50') = -0,484$.

Суммарная реактивная мощность электроприемников предприятия

$$Q_{np} = P_{np} \cdot \operatorname{tg} \varphi_{np} = 700 \cdot 0,882 = 617,34 \text{ квар,}$$

где $\operatorname{tg} \varphi_{np} = \operatorname{tg} 41^\circ 25' = 0,882$.

Суммарная активная и реактивная мощность всей нагрузки после установки синхронного двигателя

$$P = P_{np} + P_n = 700 + 320 = 1020 \text{ кВт;}$$

$$Q = Q_{np} + Q_n = 617,34 - 155 = 462,34 \text{ квар.}$$

Коэффициент мощности промышленного предприятия

$$\cos \varphi = P / \sqrt{P^2 + Q^2} = 1020 / \sqrt{1020^2 + 462,32^2} = 0,911.$$

Пример 9.

В цехе завода установлены асинхронные двигатели, средняя мощность и $\cos\varphi$ которых указаны в таблице 3.1.

Проектируется установка еще одного электрического привода компрессора, для которого предполагается использовать синхронный двигатель со следующими номинальными данными: $P_n = 160$ кВт, $U_n = 380$ В, $n_n = 1000$ об/мин, $\cos\varphi = 0,8$ (емкостной характер нагрузки).

Определить коэффициент мощности и суммарный ток нагрузки цеха до и после установки синхронного двигателя (двигатель будет нагружен полностью). Проанализировать целесообразность предложенного в задаче мероприятия.

Таблица 3.1 – Параметры установленных асинхронных двигателей

№ п/п	Число двигателей, n_k	Средняя потребляемая мощность одного двигателя P_k , кВт	$\cos\varphi_k$
1	20	0,95	0,76
2	24	0,82	0,45
3	32	0,15	0,48
4	8	4,00	0,75
5	20	0,6	0,68
6	12	0,59	0,58
7	7	4,85	0,77

Решение. Определим активную и реактивную мощности нагрузки асинхронных двигателей (таблице 3.2) по формулам

$$P_i = P_k n_k, \quad Q_i = P_k n_k \operatorname{tg}(\arccos\varphi_k), \quad i = \overline{1, 7}.$$

Таблица 3.2 – Активная и реактивная мощности нагрузки

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	Суммарная мощность
P , кВт	19,0	19,7	14,4	32,0	12,0	7,1	19,4	$P_1 = 124$ кВт
Q , квар	16,2	38,8	26,0	28,4	13,0	10	16,1	$Q_1 = 149$ квар

Мощности синхронного двигателя $P_n = 160$ кВт и $Q_n = 160 \cdot 0.75 = 120$ квар.

Суммарная мощность всей нагрузки после установки синхронного двигателя

$$P_2 = P_1 + P_n = 124 + 160 = 284 \text{ кВт},$$

$$Q_2 = Q_1 - Q_n = 149 - 120 = 29 \text{ квар}.$$

Результирующий коэффициент мощности всех потребителей цеха:

– до установки синхронного двигателя

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{P_1^2 + Q_1^2}} = \frac{124}{\sqrt{124^2 + 149^2}} = 0,66,$$

– после установки синхронного двигателя

$$\cos\varphi_2 = \frac{P_2}{\sqrt{P_2^2 + Q_2^2}} = \frac{284}{\sqrt{284^2 + 29^2}} = 0,995.$$

Ток, потребляемый всеми двигателями цеха, из сети:

$$\text{– до установки синхронного двигателя } I_1 = \frac{S_1}{\sqrt{3} U_n} = \frac{\sqrt{124^2 + 149^2}}{\sqrt{3} \cdot 380} = 294 \text{ А},$$

$$\text{– после установки синхронного двигателя } I_2 = \frac{S_2}{\sqrt{3} U_n} = \frac{\sqrt{284^2 + 29^2}}{\sqrt{3} \cdot 380} = 432 \text{ А}.$$

Вывод: при увеличении активной мощности асинхронных и синхронных двигателей цеха в $284 / 124 = 2,3$ раза ток, потребляемый из сети, увеличился лишь в 1,47 раза [5].