

## Практическая работа №7

### Определение расчетных, эксплуатационных параметров синхронных машин при решении задач

**1 Цель работы:** освоить методы расчета параметров синхронных машин

#### **2 Оснащение рабочего места:**

- методические указания для проведения практических работ;
- калькулятор

#### **3 Краткие теоретические сведения:**

Синхронными называют бесколлекторные машины переменного тока, у которых частота вращения магнитного поля всегда равна (синхронна) частоте вращения ротора ( $n_2 = n_1$ ).

Как и все электрические машины, синхронная машина имеет неподвижную часть статор и подвижную ротор. Обмотка статора аналогична обмотке статора асинхронной машины. В режиме генератора в ней наводится ЭДС, а в режиме двигателя она создает вращающееся магнитное поле статора. Ротор необходим для создания основного магнитного потока. У машин небольшой мощности для этого используются постоянные магниты. При большой мощности основной магнитный поток создается обмоткой возбуждения, которая через скользящие контакты подключается к источнику постоянного напряжения.

При работе двигателя на обмотку статора подается напряжение, и обмотка создает вращающееся магнитное поле, которое, взаимодействуя с полем ротора, создает вращающий момент. Так как взаимодействуют магнитные поля, они должны быть неподвижны друг относительно друга. Это означает, что ротор предварительно необходимо «раскрутить» до частоты вращения магнитного поля статора, чтобы поля «вошли в зацепление». В противном случае они будут проскакивать друг относительно друга, создавая незначительные знакопеременные моменты.

При работе генератором ротор приводится во вращение и создаваемый им магнитный поток, пересекая витки обмотки якоря (статора), наводит в них ЭДС. Частота переменного тока  $f_1$ , вырабатываемого синхронным генератором, зависит от частоты вращения ротора  $n_2$  и числа пар полюсов  $p$ .

Особенностями синхронных машин является то, что: у синхронных машин есть возможность регулировать коэффициент мощности; на электростанциях практически вся эл. энергия вырабатывается синхронными генераторами; единичная мощность синхронного генератора может достигать миллиона киловатт; синхронные двигатели в основном применяются для привода устройств большой мощности, так как более эффективно потребляют энергию (более высокий КПД, чем у асинхронного двигателя).

#### 4 Основные формулы:

Синхронная частота вращения, об/мин:

$$n_1 = 60 * f_1 / p.$$

Синхронная угловая скорость вращения, рад/с:

$$\omega_1 = 2 * \pi * f_1 / p,$$

где  $\pi = 3,14$ ;

$p$  - число пар полюсов.

Магнитодвижущая сила (МДС) обмотки, А:

$$F = 0,45 * m_1 * I_1 * w_1 * K_{об1} / p.$$

Электромагнитная мощность, кВт:

$$P_{эм} = M * \omega_1.$$

Реактивная мощность, квар:

$$Q_1 = S_1 * \sin \varphi.$$

Полная мощность на выходе синхронного генератора, кВт\*А:

$$S_{1ном} = m_1 * U_{1ном} * I_{1ном},$$

где  $m_1$  – число фазных обмоток

Активная мощность на выходе синхронного генератора, кВт\*А:

$$P_{1ном} = S_{1ном} \cos \varphi_1.$$

Коэффициент полезного действия (КПД) синхронной машины:

- для синхронного генератора:

$$\eta = \frac{1 - \sum P}{P_{ном} + \sum P};$$

- для синхронного двигателя:

$$\eta = \frac{1 - \sum P}{P_{1ном}}$$

Основная электродвижущая сила (ЭДС) машины, В:

$$E_0 = 4,44 * f_1 * \Phi * w_1 * k_{об},$$

где  $\Phi$  - основной магнитный поток, Вб;

$w_1$  - число последовательно соединенных витков в обмотке статора;

$k_{об1}$  - обмоточный коэффициент.

Электромагнитные моменты для неявнополюсной и явнополюсной синхронной машины, Н\*м :

$$M_i = \frac{P \dot{y}_i}{\omega_1} = \frac{m_1 * U_1 * E_0}{\omega_1 * X_c} * \sin \theta$$

$$M_{\dot{y}} = \frac{P \dot{y}_i}{\omega_1} = \frac{m_1 * U_1 * E_0}{\omega_1 * X_d} * \sin \theta + \frac{m_1 * U_1^2}{2 \omega_1} * \left( \frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) * \sin 2\theta$$

Перегрузочная способность машины:

$$\lambda = M_{max} / M_{ном}$$

Пренебрегая реактивной составляющей момента, можно записать  $\lambda \approx 1 / \sin \theta_{ном}$ , т.е. чем меньше угол  $\theta_{ном}$ , соответствующий номинальной нагрузке синхронной машины, тем больше ее перегрузочная способность.

## 5 Порядок выполнения работы:

5.1 Изучить краткие теоретические сведения, изложенные в п. 3.

5.2 Изучить основные формулы, изложенные в п. 4.

5.3 Рассчитать параметры синхронных машин в соответствии со своим вариантом (см. таблицу 7.1), используя формулы изложенные в п. 4., и примеры решения задач.

Таблица 7.1 - Варианты для решения задач

№ варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
№ задач	1;2;4;6;10.	1;3;5;7;10.	1;4;6;9;10.	1;5;7;6;10.	1;6;8;7;10.	1;7;9;8;10.	1;8;2;9;10.	1;9;3;2;10.	1;2;5;3;10.	1;3;6;4;10.	1;4;7;5;10.	1;5;8;6;10.	1;6;9;7;10.	1;7;2;8;10.	1;8;3;9;10.

### Задачи:

#### Задача 1

Параметры трёхфазного синхронного генератора: номинальное напряжение на выходе  $U_{1ном}$  (при  $f_1=50$  Гц), обмотка статора соединена «звездой», номинальный ток статора  $I_{1ном}$ , КПД при номинальной нагрузке  $\eta_{ном}$ , число полюсов  $2p$ , мощность на входе  $P_{1ном}$ , полезная мощность на выходе  $P_{ном}$ , суммарные потери в режиме номинальной нагрузки  $\Sigma P_{ном}$ , полная номинальная мощность на выходе  $S_{2ном}$ , коэффициент мощности нагрузки, подключенной к генератору,  $\cos\phi_{1ном}$ , вращающий момент первичного двигателя при номинальной нагрузке генератора  $M_1$ . Требуется определить параметры, значения которых в таблице 7.2 не указаны.

Таблица 7.2 - Варианты для задачи 1

Параметры	Вариант															
	*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$S_{ном}, \text{кВ}\cdot\text{А}$	330	-	270	470	-	600	780	450	700	500	-	470	600	450	500	270
$U_{1ном}, \text{кВ}$	6,3	3,2	0,4	-	0,7	3,2	6,3	0,4	-	3,2	3,2	-	3,2	0,4	3,2	0,4
$\eta_{ном}, \%$	92	-	-	91	90	93	-	-	93	92	-	91	93	-	92	-
$2p$	6	8	-	6	10	12	6	-	6	10	8	6	12	-	10	-
$P_{ном}, \text{кВт}$	-	-	206	-	-	-	667,4	369,5	-	-	-	-	-	369,5	-	206
$\Sigma P_{ном}, \text{кВт}$	-	27	18	-	-	-	-	-	-	-	27	-	-	-	-	18
$\cos\phi_{1ном}$	0,9	-	0,85	0,9	-	0,92	-	0,9	0,92	0,85	-	0,9	0,92	0,9	0,85	0,85
$I_{1ном}, \text{А}$	-	72,2	-	43,1	190	-	-	-	64,2	-	72,2	43,1	-	-	-	-
$P_{1ном}, \text{кВт}$	-	340	-	-	190	-	717,6	-	-	-	340	-	-	-	-	-
$M_1, \text{Н}\cdot\text{м}$	-	-	-	-	-	-	-	7735	-	-	-	-	-	7735	-	-

Решение варианта \*:

1 Полезная мощность на выходе генератора

$$P_{ном} = S_{ном} \cos\phi_1 = 330 \cdot 0,9 = 297 \text{ кВт.}$$

2 Мощность на входе генератора

$$P_{1ном} = P_{ном} / \eta_{ном} = 297 / 0,92 = 322,8 \text{ кВт}$$

### 3. Суммарные потери

$$\Sigma P_{\text{ном}} = P_{1\text{ном}} - P_{\text{ном}} = 322,8 - 297 = 25,8 \text{ кВт.}$$

### 4 Ток статора в номинальном режиме

$$I_{1\text{ном}} = S_{\text{ном}} / (\sqrt{3} U_{1\text{ном}}) = 330 / (1,73 * 6,3) = 30,2 \text{ А.}$$

### 5 Синхронная частота вращения при $2p=6$ и частоте тока $f_1=50$ Гц:

$$n_1 = f_1 * 60 / p = 50 * 60 / 3 = 1000 \text{ об/мин.}$$

### 6 Момент приводного двигателя, необходимый для вращения ротора генератора с синхронной частотой вращения в режиме номинальной нагрузки

$$M_{1\text{ном}} = 9,55 * 10^3 * P_{1\text{ном}} / n_1 = 9,55 * 10^3 * 322,8 / 1000 = 3083 \text{ Н*м.}$$

### Задача 2

Найти напряжение на зажимах синхронного трехфазного генератора, работающего в режиме х.х. при соединении обмоток треугольником, если известны:  $f_1=50$  Гц;  $w_1=150$ ; обмоточный коэффициент  $k_{\text{об}}=0,92$ ; амплитудное значение магнитного потока  $\Phi=0,013$  Вб

### Задача 3

Найти электромагнитный момент и номинальную мощность явнополюсного синхронного генератора если  $U_1=6$  кВ;  $E_{\text{оф}}=5780$  В;  $X_d=7$  Ом;  $X_q=3$  Ом;  $f_1=50$  Гц;  $\theta=30^\circ$ ;  $p=2$ .

### Задача 4

Турбогенератор при номинальной нагрузке работает с углом  $\theta=30^\circ$ . Определить перегрузочную способность генератора  $\lambda$ -?

### Задача 5

Синхронный турбогенератор имеет следующие параметры:  $U_N=10$  кВ; ЭДС фазы, созданная обмоткой возбуждения  $E_o=5120$  В;  $X_c=12$  Ом;  $f_1=50$  Гц;  $\theta=27^\circ$ ;  $p=2$ . Определить электромагнитную мощность и электромагнитный момент машины?

### Задача 6

Найти напряжение на зажимах синхронного трехфазного генератора, работающего в режиме х.х. при соединении обмоток звездой, если известны:  $f_1=50$  Гц;  $w_1=150$ ; обмоточный коэффициент  $k_{\text{об}}=0,92$ ; амплитудное значение магнитного потока  $\Phi=0,013$  Вб

### Задача 7

Синхронный двигатель имеет следующие параметры:  $P_N=630$  кВт;  $\cos \varphi=0,8$ ; суммарные потери мощности  $\Sigma P=12$  кВт. Определить полную мощность двигателя, и номинальный момент.

### Задача 8

Трехфазный синхронный двигатель с номинальными данными:  $P_N=500$  кВт;  $U_N=0,66$  кВ;  $f_1=50$  Гц;  $p=2$ ; КПД=0,95;  $\cos \varphi=0,8$  (емкостной). Найти угловую скорость вращения ротора, номинальный вращающий момент, активную и реактивную мощности, потребляемые из сети ток статора и его реактивную составляющую.

### Задача 9

Трехфазный синхронный двигатель соединенный по схеме Y, имеет следующие параметры:  $p=4$ ; потребляет из сети  $I_{\phi}=130\text{A}$ , число витков фазы  $w=130$ ;  $K_{об1}=0.92$ . Определить максимальное значение МДС?

### Задача 10

Трехфазный синхронный двигатель серии СДН2 имеет данные каталога: номинальную мощность, число полюсов, КПД; кратности - пускового тока, пускового момента, максимального синхронного момента, асинхронного момента при скольжении 5 % (момент входа в синхронизм); соединение обмоток статора «звездой». Значения перечисленных величин приведены в таблице 7.3.

Определить: частоту вращения, номинальный и пусковой токи в цепи статора, номинальный, максимальный синхронный, пусковой моменты и асинхронный момент входа в синхронизм (при  $s=5\%$ ). Напряжение питающей сети  $U_c=10\text{ кВ}$  при частоте 50 Гц, коэффициент мощности  $\cos \varphi_1=0,8$ .

Таблица 7.3 - Варианты для задачи 10

Параметр	Тип двигателя															
	16-36-12	16-44-12	17-31-12	17-39-12	17-49-12	18-64-12	16-36-10	16-44-10	17-44-10	17-51-10	16-44-12	17-39-12	18-64-12	16-44-10	17-51-10	17-31-12
$P_{ном}, \text{кВт}$	500	630	800	1000	1250	2500	630	800	1250	1600	630	1000	2500	800	1600	800
$2p$	12	12	12	12	12	12	10	10	10	10	12	12	12	10	10	12
$\eta_{ном}, \%$	93,7	94,2	94,3	94,9	95,3	96,2	94,4	94,9	95,5	95,9	94,2	94,9	96,2	94,9	95,9	94,3
$M_{max}/M_{ном}$	1,9	1,9	1,9	1,8	1,9	1,8	1,8	1,8	1,9	1,8	1,9	1,8	1,8	1,8	1,8	1,9
$M_{5\%}/M_{ном}$	1,3	1,3	1,1	1,0	1,2	1,4	1,4	1,3	1,2	1,2	1,3	1,0	1,4	1,3	1,2	1,1
$M_n/M_{ном}$	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,2	0,75	0,75	1,1	1,0	1,0	1,0	1,2	0,75	1,0	1,0
$I_n/I_{ном}$	5,2	5,1	4,7	4,5	5,2	6,5	5,0	5,0	5,4	5,2	5,1	4,5	6,5	5,0	5,2	4,7
№ варианта	*	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Решение варианта \*:

1 Частота вращения

$$n_1 = 60f/p = 60 \cdot 50/6 = 500 \text{ об/мин.}$$

2 Потребляемая двигателем мощность в режиме номинальной нагрузки

$$P_1_{ном} = P_{ном} / \eta_{ном} = 500/0,937 = 534 \text{ кВт.}$$

3 Ток в цепи статора в режиме номинальной нагрузки

$$I_{1ном} = S_{ном} / (\sqrt{3} U_{1ном} \cos \varphi_1) = 534 / (1,73 \cdot 10 \cdot 0,8) = 39 \text{ А.}$$

4 Пусковой ток в цепи статора

$$I_n = I_{1ном} (I_n/I_{ном}) = 39 \cdot 5,2 = 203 \text{ А.}$$

5 Момент на валу двигателя в режиме номинальной нагрузки

$$M_{ном} = 9,55 \cdot P_{ном} / n_1 = 9,55 \cdot 500 \cdot 10^3 / 500 = 9550 \text{ Н*м.}$$

6 Максимальный (синхронный момент) момент

$$M_{max} = M_{ном} (M_{max}/M_{ном}) = 9550 \cdot 1,9 = 18145 \text{ Н*м.}$$

7 Пусковой момент

$$M_n = M_{ном} (M_n/M_{ном}) = 9550 \cdot 1,0 = 9550 \text{ Н*м.}$$

8 Момент входа в синхронизм (асинхронный момент при  $s=5\%$ )

$$M_{5\%} = M_{ном} (M_{5\%}/M_{ном}) = 9550 \cdot 1,3 = 12415 \text{ Н*м.}$$

- 5.4 Оформить отчет.
- 5.5 Сделать вывод по работе.

## **6 Содержание отчета:**

- 6.1 Название и цель работы.
- 6.2 Краткие теоретические сведения.
- 6.3 Расчеты параметров синхронных машин.
- 6.4 Ответы на контрольные вопросы.
- 6.5 Вывод по работе.

## **7 Контрольные вопросы:**

- 7.1 Поясните, способы возбуждения синхронных машин.
- 7.2 Поясните, в чем состоит явление реакции якоря.
- 7.3 Что такое синхронизация генератора, включаемого на параллельную работу.
- 7.4 Поясните, процесс пуска синхронного двигателя.
- 7.5 Поясните, назначение синхронного компенсатора.
- 7.6 Укажите, достоинства и недостатки синхронных двигателей по сравнению с асинхронными.

## **Литература**

- 1 Кацман М. М. Электрические машины: Учеб. для студентов средн. проф. учебных заведений. – 3-е изд., испр.- М.: Высш. шк., 2001.- 463 с.: ил.
- 2 Шевчик Н. Е., Подгайский Г. Д. Электрические машины.- Мн.: Дизайн ПРО, 2000.- 256с.: ил.
- 3 Кацман М. М. Сборник задач по электрическим машинам: Учеб. для студ. учреждений сред. проф. образованию.-М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 160с.