

Введение

В синхронных машинах угловая скорость вращения ротора, $\Omega = 2\pi n$, равна *синхронной угловой скорости поля*, $\Omega_s = 2\pi n_1$ (термин 37, с.15). Поля статора и ротора в синхронных машинах (как и во всех электрических машинах) неподвижны относительно друг друга, а так как в обмотке возбуждения ротора протекает постоянный ток, то поля статора и ротора неподвижны и относительно ротора.

Синхронные машины (термин 1, с.11) работают в трех режимах: генераторном, двигательном и в режиме синхронного компенсатора.

Наиболее распространенным режимом работы синхронных машин является *генераторный* режим. Почти вся электрическая энергия вырабатывается синхронными генераторами, они являются самыми мощными из электрических машин. На Костромской тепловой электростанции эксплуатируется синхронный генератор (*турбогенератор*) мощностью 1200 МВт, скорость его ротора $n = n_1 = 3000$ об/мин; на Саяно-Шушенской гидроэлектростанции – *гидрогенератор* мощностью 640 МВт, $n = n_1 = 142,8$ об/мин. Эти генераторы изготовлены в 1978–79 гг. в ЛПЭО “Электросила” (г. Санкт-Петербург) [см. табл. 1.1, с. 36].

Турбогенераторы мощностью 300, 500 и 800 МВт являются основными машинами, которые используются на тепловых и атомных электрических станциях. Турбогенераторы имеют непосредственное охлаждение проводников обмотки статора водой и обмотки ротора водородом.

Конструктивное оформление крупных синхронных генераторов зависит от скорости вращения приводного двигателя. На тепловых и атомных электростанциях в качестве приводных двигателей используются высокоскоростные паровые и газовые турбины, их скорость n равна 1500 или 3000 об/мин. На гидроэлектростанциях приводными двигателями служат тихоходные водяные турбины. Все синхронные генераторы (и высокоскоростные, и тихоходные) должны вырабатывать напряжение одной частоты $f_1 = 50$ Гц ($f_1 = pn_1$). Поэтому *высокоскоростные* генераторы на тепловых и атомных электростанциях имеют число пар полюсов p равное 1 или 2, они называются *турбогенераторами* (термин 9, с.12); *тихоходные* генераторы на гидроэлектростанциях имеют несколько десятков пар полюсов, они называются *гидрогенераторами* (термин 10, с.12).

Турбогенераторы – *неявнополюсные* (термин 15, с. 12) быстроходные электрические машины. Роторы изготавливаются из цельных поковок высококачественной хромоникелевой или хромоникельмолибденовой стали. Предельный диаметр ротора по условиям механической прочности из-за больших центробежных сил не может превышать 1,2...1,5 м, поэтому роторы мощных генераторов делают длинными. Но длина их ограничена в связи с

прóгибом и составляет около 7,5...8,5 м. Турбогенераторы выполняются с *горизонтальным* валом.

Гидрогенераторы – *явнополюсные* (термин 14, с. 15) тихоходные электрические машины. Диаметр статора мощного гидрогенератора достигает 15 м, а длина примерно 2...3 м. Гидрогенераторы, как правило, имеют *вертикальное* расположение вала. Гидрогенераторы по габаритам значительно больше турбогенераторов.

Номинальное напряжение обмотки якоря турбо- и гидрогенераторов не превышает 24 кВ. Номинальное напряжение обмотки возбуждения – 24...400 В.

Синхронные генераторы для дизель-генераторных установок имеют мощность от сотен до десятков тысяч киловатт.

В режиме двигателя синхронные машины используются в качестве приводных двигателей мощных насосов, вентиляторов, воздуходувок. Предельная мощность синхронных двигателей достигает нескольких сотен мегаватт. Синхронные двигатели мощностью в десятки киловатт выпускаются в небольших количествах *из-за плохих пусковых свойств и склонности к качаниям*.

Одним из основных достоинств синхронных машин является то, что они могут быть источниками реактивной мощности. Если асинхронные машины (и трансформаторы) для создания поля потребляют из сети реактивную мощность, то синхронные машины в зависимости от степени возбуждения или генерируют в сеть, или потребляют из сети реактивную мощность.

Как правило, синхронные генераторы и двигатели эксплуатируются с номинальным коэффициентом мощности $\cos \varphi = 0,8 \dots 0,9$. При этом синхронная машина работает при *перевозбуждении*, и реактивная мощность поступает в сеть.

Синхронные машины, назначением которых является *только* генерация или потребление реактивной мощности, называются *синхронными компенсаторами*. Направление реактивной мощности (генерация или потребление) зависит от величины тока возбуждения. Синхронный компенсатор – это по существу синхронный двигатель работающий в режиме холостого хода, т.е. без механической нагрузки на валу. Поэтому синхронный компенсатор не имеет выступающих концов вала.

Синхронные машины благодаря их преимуществам перед асинхронными находят новые применения, и их выпуск и области применения расширяются.

В *первом – четвертом разделах* учебного пособия приведены выдержки из стандартов, касающиеся терминологии, буквенных обозначений синхронных машин и их элементов в электрических схемах, обозначений выводов обмоток, а также номинальные данные исследуемых машин. В *пятом разделе*

рассмотрена система относительных единиц, широко используемая в теории электрических машин.

В *шестом – девятом разделах* приведены основы теории и устройства синхронных машин и описана последовательность выполнения экспериментальных исследований процессов и явлений, а также обработки результатов: при автономной работе генераторов (*разд. 6*); при исследовании параметров синхронных машин в установившихся, переходных и несимметричных режимах их работы (*разд. 7*); при параллельной работе генераторов в сети бесконечно большой мощности, причем уделено внимание изучению статической и динамической устойчивости (*разд. 8*); при различных способах пуска синхронного двигателя и генерации им реактивной мощности (*разд. 9*).

В *списке литературы*, наряду с традиционными источниками, приведены URL-адреса ряда предприятий, производящих электрические машины и трансформаторы, а также адреса РАО “ЕЭС Россия” и ФГУП “Информэлектро”. Использование интернет-технологий позволит студентам непосредственно ознакомиться с номенклатурой и описанием выпускаемой электротехнической продукции.

В *Приложении* приведена Паскаль-программа для пересчета экспериментальных данных с целью представления их в системе относительных единиц.

Автором учебного пособия разработана программа дисциплины Электрические машины [10, прил. 4]. Программа соответствует Государственному образовательному стандарту высшего профессионального образования и рекомендована Минобразованием России для направления подготовки дипломированного специалиста 660300 – Агроинженерия (специальность 110302 – Электрификация и автоматизация сельского хозяйства).

На кафедре “Электроснабжение и электрические машины” Московского государственного агроинженерного университета разработаны и изготовлены стенды для экспериментального исследования синхронных машин (рис. В1, листы 1, 2 и 3). Реализован фронтальный метод проведения работ. Фотографии и описание стендов, а также разделы настоящего учебного пособия размещены на web-сайте <http://zei.narod.ru>.

Примечание. 1. Реально в синхронной машине существует результирующее магнитное поле, созданное совместным действием мдс обмоток. Величина поля устанавливается в соответствии с магнитным состоянием (насыщением) магнитопровода. Для удобства анализа в пособии рассматривается отдельное существование поля индуктора и поля якоря (такое представление возможно, если магнитная система линейна).

2. В магнитном поле синхронной машины наряду с основной (первой) гармонической составляющей, выполняющей наибольшую роль в процессе преобразования энергии, содержатся также высшие гармонические. Последние в пособии не рассматриваются.

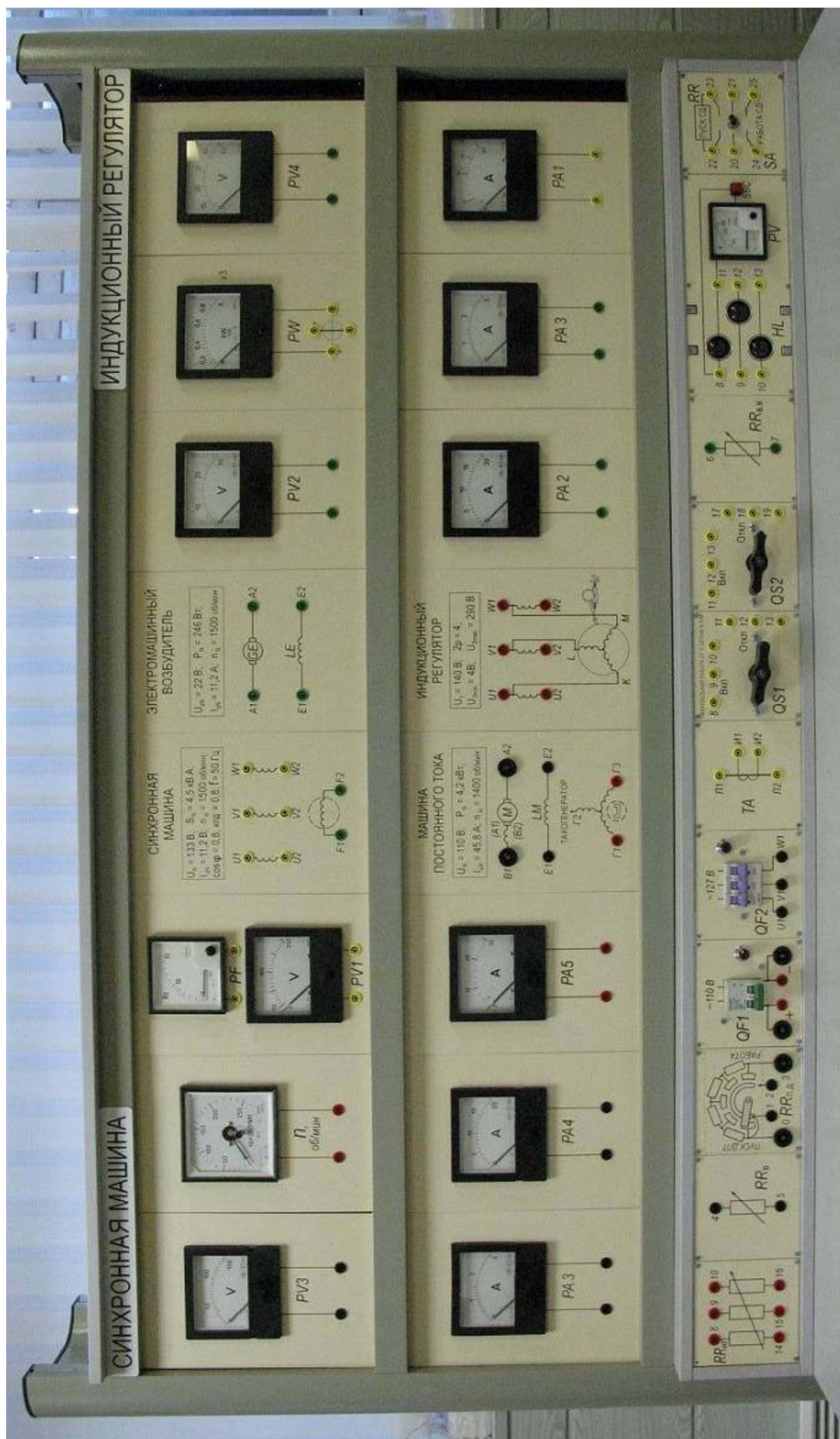


Рис. В1, лист 1. Передняя (приборная) панель стенда “Синхронная машина”



Рис. В1, лист 2. Общий вид базиса стенда "Синхронная машина". Под столешницей, в верхнем левом углу, расположен пусковой реостат



Рис. В1, лист 3. Общий вид стенда “Синхронная машина” с исследуемым агрегатом.
Слева от стенда расположены: машина постоянного тока и синхронная машина;
справа – индукционный регулятор