

СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ. ПРИНЦИП  
ДЕЙСВИЯ. НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТИ  
ПРИМЕНЕНИЯ

- 
- Синхронной машиной (СМ) называется двухобмоточная ЭМ переменного тока, одна из обмоток которой присоединена к электросети с постоянной частотой  $f$ , вторая возбуждается постоянным током.
  - Наибольшее распространение получили СМ с трёхфазной разноимённополюсной  $p$ -периодной обмоткой на статоре (якоре) и с разноимённополюсной  $p$ -периодной обмоткой возбуждения (ОВ) на роторе (индукторе). Машины этого исполнения просто называют “синхронными машинами”, а СМ иного исполнения называют “специальные синхронные машины”. СМ небольшой мощности иногда изготавливаются в обращённом исполнении с ОВ на статоре и с трёхфазной обмоткой на роторе. Оба исполнения в электромагнитном отношении равноценны, однако для крупных СМ предпочтительнее основное исполнение, т.к. в этом случае с помощью скользящего контакта подводится мощность возбуждения, составляющая 0,3 – 2% преобразуемой мощности, а не полная мощность, как в обращённом двигателе.

- 
- Трёхфазная обмотка переменного тока называется иногда в СМ якорной обмоткой, и, соответственно, часть машины, несущая эту обмотку, называется якорем; часть машины, несущая ОВ, - индуктором. В основном исполнении статор является якорем, ротор – индуктором, в обращённом исполнении – наоборот. В СМ небольшой мощности для образования поля возбуждения часто используются постоянные магниты.

- При работе СМ в режиме генератора возбуждённый ротор приводится во вращение с частотой  $n$  внешним механическим вращающим моментом (гидравлическая или паровая турбина). Ток ОВ  $I_f$  создаёт МДС  $F_f$  и магнитный поток, неподвижный относительно полюсов и замыкающийся через сердечник статора. Вращающимся потоком возбуждения в обмотке статора индуцируется ЭДС частотой  $f = np/60$ . ЭДС фаз трёхфазной обмотки взаимно смещены во времени на электрический угол  $120^\circ$ . Если к обмотке статора присоединить симметричную нагрузку, то под действием ЭДС в ней и во внешней цепи будет протекать симметричная система токов  $I_A, I_B, I_C$ , которые создают МДС якоря  $F_a$  и магнитное поле, вращающееся со скоростью:
- $\Omega = 2\pi f/p$ , т.е. синхронно с ротором (здесь  $p$  – число периодов магнитного поля). МДС якоря  $F_a$  может быть разложена по направлениям продольной  $d$  и поперечной  $q$  осей ротора ( $F_a = F_d + F_q$ ). Результирующий вращающийся магнитный поток  $\Phi$  образуется в результате совместного действия взаимно неподвижных МДС  $F_f$  и  $F_a$ . В результате взаимодействия потока  $\Phi$  с током обмотки якоря возникает электромагнитный момент
- $M \sim \Phi I \cos\varphi$ , где  $I = I_A = I_B = I_C$ ;  $\varphi$  – угол сдвига фаз напряжения  $U$  и тока  $I$  генератора. В генераторном режиме электромагнитный момент действует навстречу внешнему вращающему моменту, т.е. является тормозящим.

- 
- При работе СМ в качестве двигателя обмотка статора подключается к трёхфазной сети переменного тока, а обмотка ротора – к источнику постоянного тока. Обмотка статора создаёт вращающееся магнитное поле. В результате взаимодействия этого поля с полем обмотки возбуждения возникает электромагнитный вращающий момент, под действием которого ротор вращается с синхронной частотой. В установившемся режиме электромагнитный момент уравнивается внешним тормозящим механическим моментом.

# НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СМ.

- Основная область применения СМ – преобразование механической энергии в электрическую. Преобладающая часть электроэнергии производится с помощью *синхронных трёхфазных турбогенераторов и гидрогенераторов*. Первые приводятся во вращение паровыми или газовыми турбинами, вторые – гидротурбинами. Синхронные генераторы с приводом от других типов двигателей (дизельных, внутреннего сгорания, поршневых, паровых и др.) выполняются на небольшую мощность для питания автономных нагрузок.
- СМ применяются также и в качестве *двигателей*, особенно в крупных установках, т.к. в отличие от АД они способны генерировать, а не потреблять реактивную мощность. Обычно СМ рассчитываются таким образом, чтобы они могли генерировать реактивную мощность, примерно равную активной мощности (соответственно около 0,6 и около 0,8 полной мощности). Зачастую оказывается выгодным устанавливать около крупных промышленных центров СМ, предназначенные исключительно для генерирования реактивной мощности, которые называются *синхронными компенсаторами*.

- 
- Согласно общему стандарту на электрические машины (ГОСТ 183-74), а также стандартам на турбогенераторы (ГОСТ 533-68), гидрогенераторы (ГОСТ 5616-72) и синхронные компенсаторы (ГОСТ 609-75) к числу номинальных данных СМ, указываемых на табличке, относятся:
    - а) номинальная мощность (для генераторов и синхронных компенсаторов – полная электрическая мощность, кВА; для двигателей – механическая мощность на валу двигателя, кВт);
    - б) номинальный коэффициент мощности (при перевозбуждении);
    - в) номинальный КПД (только для двигателей);
    - г) схема соединения фаз обмотки статора;
    - д) номинальное линейное напряжение обмотки якоря (статора), В;
    - е) номинальная частота вращения, об/мин (для гидрогенераторов указывается ещё и угонная частота вращения);
    - ж) номинальная частота тока якоря, Гц;
    - з) номинальный линейный ток якоря, А;
    - и) номинальные напряжения и ток обмотки возбуждения.

- 
- Все промышленные СМ выполняются на частоту 50 Гц. Требуемая синхронная частота вращения  $n$ , об/мин (или угловая скорость  $\Omega$  рад/сек), обеспечивается выбором соответствующего числа периодов обмоток:
  - Таблица 1.

$p$	1	2	3	4	8	16	32	64
$n, \text{об/мин}$	3000	1500	1000	750	375	187,5	93,7	46,9

В зависимости от мощности турбины и напора воды частота вращения гидрогенераторов колеблется в пределах  $50 \div 600$  об/мин. Большие частоты вращения относятся к высоконапорным ГЭС с турбинами небольшой мощности, меньшие частоты – к низконапорным ГЭС с крупными турбинами.



- Турбогенераторы, как правило, выполняются на частоту вращения 3000 об/мин ( $p=1$ ). При  $p = 2$  (1500 об/мин) изготавливаются турбогенераторы для АЭС, где при имеющихся параметрах пара не всегда удаётся получить частоту вращения турбины более 1500 об/мин.
- Гидрогенераторы выполняются преимущественно с вертикальной осью вращения. Турбина располагается под гидрогенератором, и её вал, несущий рабочее колесо, соединяется с валом генератора при помощи фланца. Гидроагрегаты, объединяющие турбину и гидрогенератор, являются крупнейшими машинами в промышленности. Их мощность достигает 200 – 715 МВА, высота 20 – 30 м. Ротор имеет явнополюсное исполнение.
- Турбогенераторы, почти всегда выполняются с горизонтальной осью вращения. Диаметр ротора турбогенератора значительно меньше его активной длины и имеет неявнополюсное исполнение.
- Синхронные двигатели выпускаются серийно мощностью от 100 кВт до нескольких десятков МВт на частоты вращения от 3000 до 100 об/мин. При частотах 3000, 1500 об/мин двигатели выполняются с неявнополюсными роторами; при частотах вращения 1000 об/мин и менее двигатели выполняются с явнополюсными роторами. На гидроаккумулирующих электростанциях применяются обратимые гидрогенераторы-двигатели. Мощность обратимых машин составляет 200 ÷ 300 МВт.
- Синхронные компенсаторы выпускаются мощностью 15 ÷ 160 МВА при частотах вращения 750 ÷ 1000 об/мин. Ротор этих машин выполнен явнополюсным, охлаждение обычно водородное.
- В зависимости от мощности и частоты вращения номинальные напряжения обмотки якоря (статора) СМ выбирается из числа стандартных напряжений: 0,23; 0,4; 3,15; 6,3; 10,5; 13,8; 15,75 кВ (для генераторов) и 0,22; 0,38; 3; 6; 10 кВ (для двигателей). Номинальное напряжение ОВ выбирается в пределах 24 ÷ 400 В.
- С ростом мощности и частоты вращения КПД СМ увеличивается. При мощности 100 ÷ 4000 кВА КПД составляет 0,9 ÷ 0,95; в гидрогенераторах и турбогенераторах большой мощности он достигает 0,97 ÷ 0,99.