Характеристики синхронных генераторов

- Работа машины в различных режимах и свойства самой машины определяются ее характеристиками.
- Для снятия характеристик синхронного генератора собирают схему, представленную на рисунке

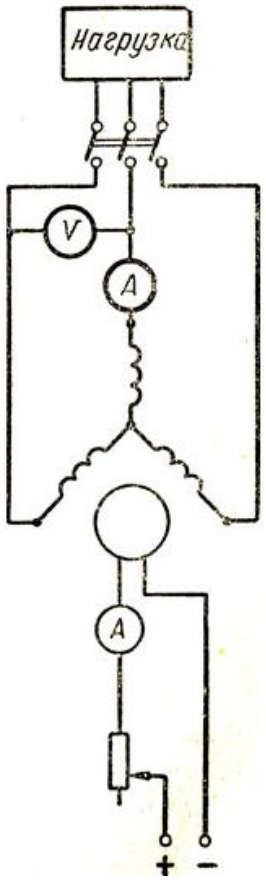


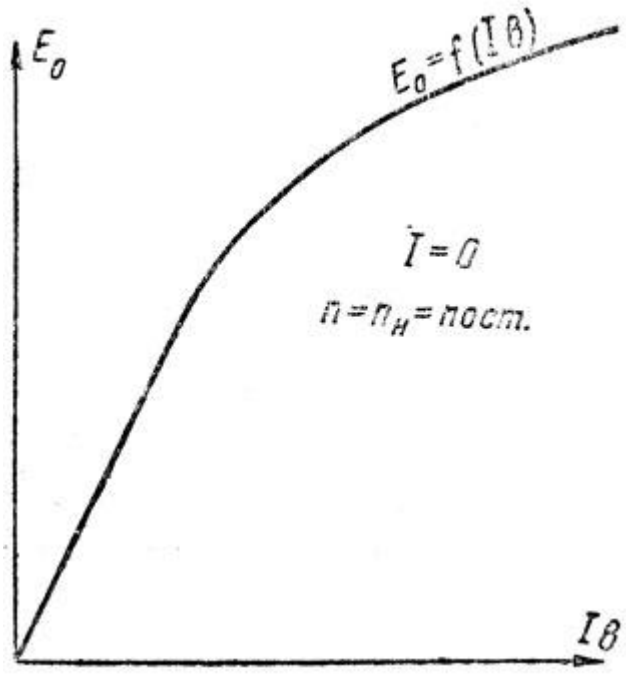
Схема снятия характеристик синхронного генератора

- Рассмотрим характеристику холостого хода синхронного генератора. Она представляет зависимость индуктированной в статоре э.д.с. E_0 от тока возбуждения $I_в$ при разомкнутой внешней цепи машины:

$$E_0 = f(I_в) \text{ при } n = n_н \text{ и } I = 0.$$

- Генератор приводится во вращение с синхронной скоростью, соответствующей номинальной частоте генератора. Увеличивают при помощи реостата ток возбуждения, отмечая показания амперметра в цепи возбуждения. По показаниям вольтметра, включенного на зажимы обмотки статора, определяют величину индуктированной э.д.с. E_0.

- Характеристика холостого хода синхронного генератора показана на рисунке



Характеристика холостого хода синхронного генератора

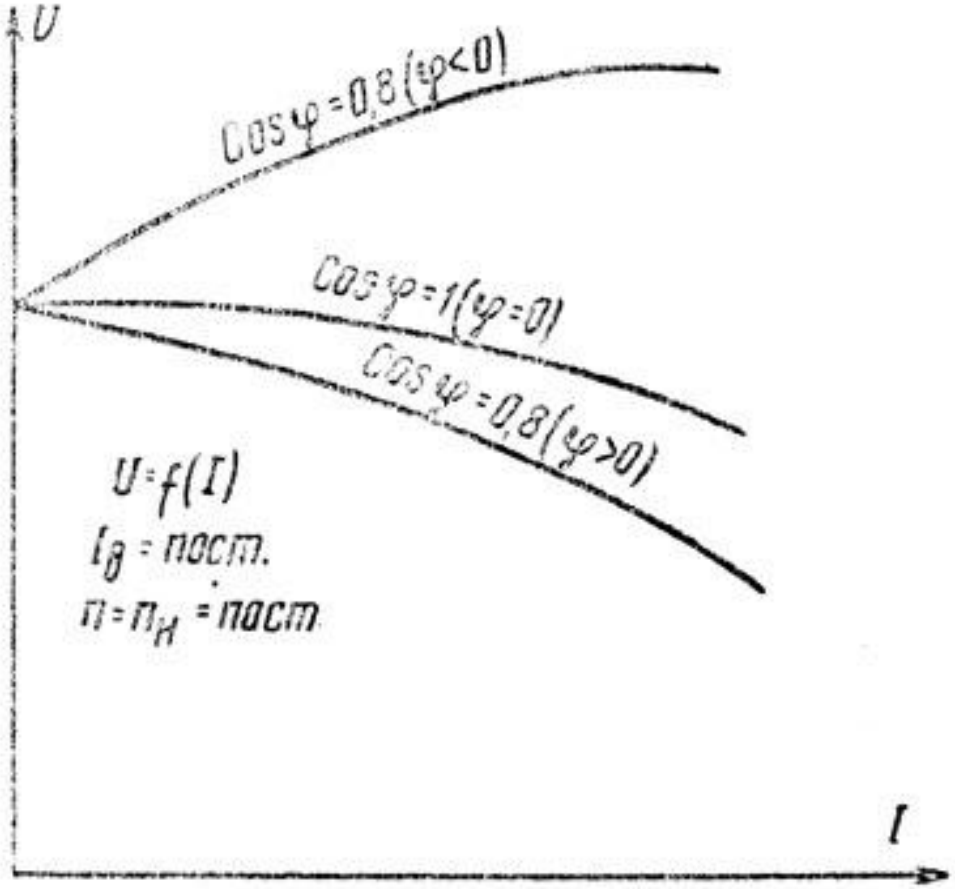
- Прямолинейная часть характеристики указывает на пропорциональность между индуктированной э.д.с. и током возбуждения. В дальнейшем магнитная система генератора насыщается, кривая изгибается, т. е. при значительном увеличении тока возбуждения индуктированная э.д.с. растет очень медленно. Обычно нормальная работа машины имеет место за изгибом характеристики холостого хода.

- Зависимость напряжения на зажимах генератора U от тока нагрузки I при постоянных (пост) значениях тока возбуждения $I_в$, коэффициента мощности cos φ и скорости вращения n дается внешней характеристикой:

$$U = f(I)$$

при $I_в$ = пост, cos φ = пост, $n = n_н$ = пост.

По показаниям амперметра и вольтметра, включенных в цепь обмотки статора, строят характеристику. На рисунке даны внешние характеристики генератора для различных видов нагрузки.

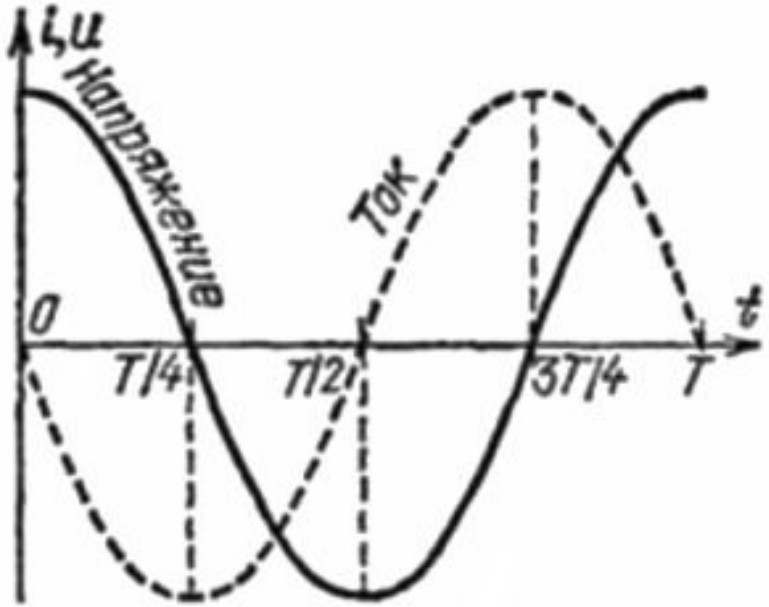


Внешние характеристики синхронного генератора

- Напомним, что положительным углом φ принято считать угол φ в цепи, когда ток отстает по фазе от напряжения, и отрицательным, когда ток опережает по фазе напряжение.
- Изменение напряжения U с нагрузкой происходит вследствие реакции якоря и падения напряжения в обмотке якоря (статора).
- При индуктивной нагрузке реактивный ток размагничивает машину и при увеличении тока нагрузки напряжение уменьшается.
- При емкостной нагрузке напряжение генератора с увеличением тока нагрузки повышается вследствие действия продольно-намагничивающей реакции якоря.

Что такое индуктивная и емкостная нагрузка

- Говоря о емкостной нагрузке, имеют ввиду, что она ведет себя в цепи переменного тока подобно конденсатору.
- то значит, что синусоидальный переменный ток будет периодически (с удвоенной частотой источника) перезаряжать емкость нагрузки, при этом в первую четверть периода энергия источника будет расходоваться на создание электрического поля между пластинами конденсатора. Во вторую четверть периода энергия электрического поля между пластинами конденсатора будет возвращаться к источнику.

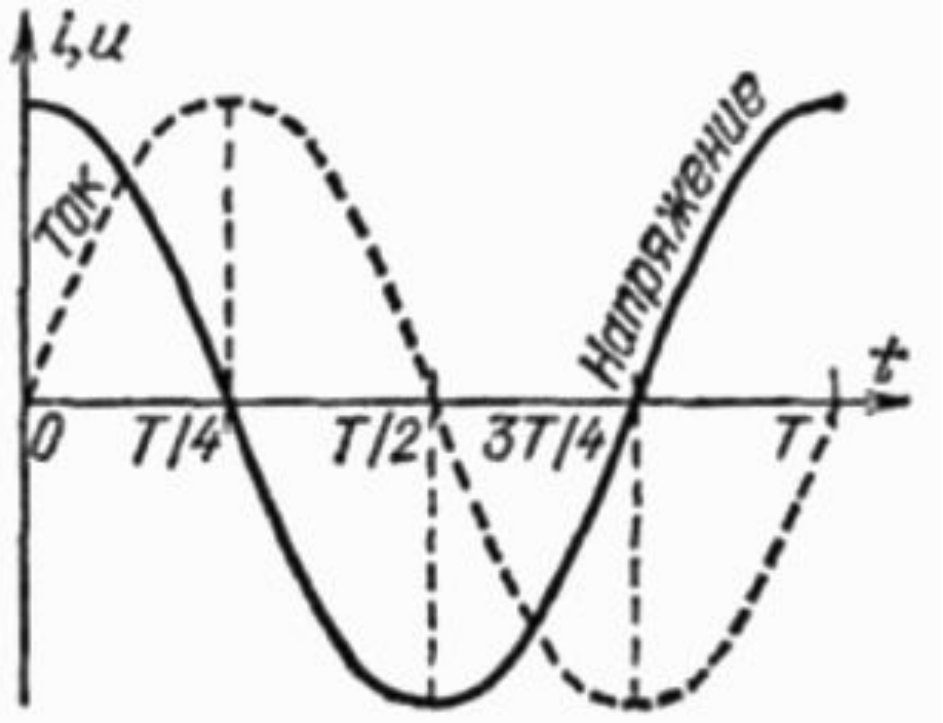


В третью четверть периода емкость будет заряжаться от источника противоположной полярностью (по сравнению с тем что было в первую четверть периода). В четвертую четверть периода емкость снова вернет энергию электрического поля обратно в сеть. В течение следующего периода данный цикл повторится. Так ведет себя чисто емкостная нагрузка в цепи синусоидального переменного тока.

- Если теперь обратить внимание на индуктивную нагрузку, то она ведет себя в цепи переменного тока подобно катушке индуктивности
- Это значит, что синусоидальное переменное напряжение будет периодически (с удвоенной частотой источника) порождать ток через индуктивность нагрузки, при этом в первую четверть периода энергия источника будет расходоваться на создание магнитного поля тока через катушку.

  Во вторую четверть периода энергия магнитного поля катушки будет возвращаться к источнику. В третью четверть периода катушка будет намагничиваться противоположной полярностью (по сравнению с тем что было в первую четверть периода), и в четвертую четверть периода индуктивность снова вернет энергию магнитного поля обратно в сеть.

  В течение следующего периода данный цикл повторится. Так ведет себя чисто индуктивная нагрузка в цепи синусоидального переменного тока.

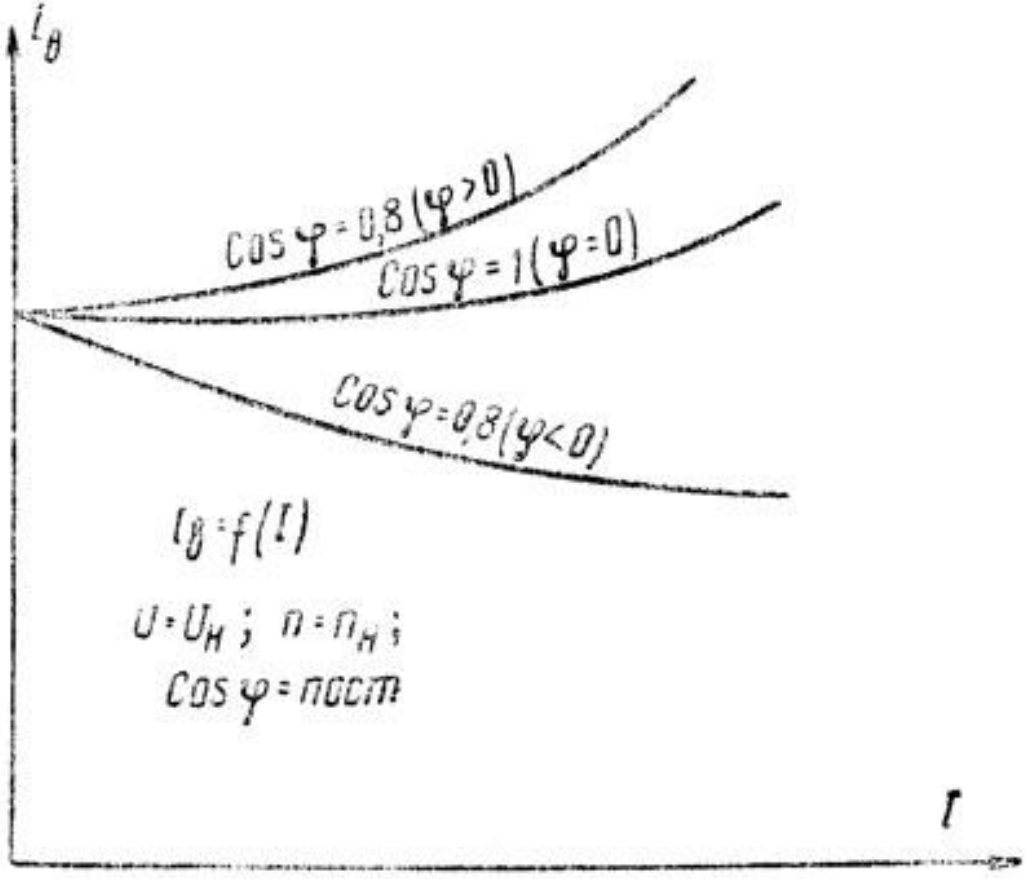


- Регулировочная характеристика представляет зависимость тока возбуждения $I_в$ от тока нагрузки I при постоянных значениях напряжения на зажимах генератора U, скорости вращения n и коэффициента мощности cos φ:

$$I_в = f(I)$$

при $U = U_н$; $n = n_н$ и cos φ = пост.

- Регулировочные характеристики, представленные на рисунке, показывают, как с изменением нагрузки необходимо менять ток возбуждения, чтобы компенсировать падение напряжения в обмотке якоря и действие реакции якоря.



Пусковые испытания СГ

- **Испытание повышенным выпрямленным напряжением.** Испытание изоляции обмотки статора повышенным выпрямленным напряжением с измерением тока утечки по фазам. Испытанию подвергается каждая фаза или ветвь в отдельности при других фазах или ветвях, соединенных с корпусом. У генераторов с водяным охлаждением обмотки статора испытание производится в случае, если возможность этого предусмотрена в конструкции генератора. Значения испытательного напряжения приведены в таблице.

Мощность генератора, МВт	Номинальное напряжение, кВ	Амплитудное испытательное напряжение, кВ	
Менее 1	Все напряжения	$2{,}4U_{ном} + 1{,}2$	0,4кВ – 2,1кВ 0,66кВ – 2,7кВ
1 и более	До 3,3	$2{,}4U_{ном} + 1{,}2$	3кВ – 8,4кВ
	Выше 3,3 до 6,6	$3U_{ном}$	6кВ – 18кВ
	Выше 6,6	$2{,}4U_{ном} + 3{,}6$	10кВ – 27кВ

- **Испытание повышенным напряжением промышленной частоты**. Испытание изоляции повышенным напряжением промышленной частоты. Испытание проводится по нормам. Испытанию подвергается каждая фаза или ветвь в отдельности при других фазах или ветвях, соединенных с корпусом. Продолжительность приложения нормированного испытательного напряжения 1 мин.
- а) испытание изоляции обмоток статора генератора рекомендуется производить до ввода ротора в статор. Если стыковка и сборка статора гидрогенератора осуществляются на монтажной площадке и впоследствии статор устанавливается в шахту в собранном виде, то изоляция его испытывается дважды: после сборки на монтажной площадке и после установки статора в шахту до ввода ротора в статор. Если испытание производится на генераторе с установленным ротором, то обмотку ротора необходимо закоротить и заземлить.

- б) испытание изоляции обмотки статора для машин с водяным охлаждением следует производить при циркуляции дистиллированной воды в системе охлаждения с удельным сопротивлением не менее 75 кОм/см и номинальном расходе;
- в) после испытания обмотки статора повышенным напряжением в течение 1 мин у генераторов 10 кВ и выше испытательное напряжение снизить до номинального напряжения генератора и выдержать в течение 5 мин для наблюдения за коронированием лобовых частей обмоток статора. При этом не должно быть сосредоточенного в отдельных точках свечения желтого или красного цвета, появления дыма, тления бандажей и тому подобных явлений. Голубое и белое свечение допускается;
- г) испытание изоляции обмотки ротора турбогенераторов производится при номинальной частоте вращения ротора – только для щёточных машин, на которых можно выполнить данное испытание при вращающемся роторе. На машинах с БВУ испытание производится при остановленном генераторе и заземлённой

- Измерение сопротивления обмоток постоянному току производится у генераторов для сравнения различных фаз обмоток между собой, с заводскими данными (указаны в паспорте генератора), или с данными предыдущих испытаний, а обмотки возбуждения синхронных генераторов – для сравнения с данными предыдущих испытаний, или заводскими данными. Полученные данные не должны отличаться друг от друга (одна фаза или группа обмоток от другой фазы или группы) и от исходных данных больше чем на 2%.

- Измерение сопротивления обмотки ротора переменному току промышленной частоты. Производится для генераторов мощностью более 1 МВт. Для щёточных машин: измерение следует производить при напряжении не более 220 В на трех-четырех ступенях частот вращения, включая номинальную, а также в неподвижном состоянии. Для явнополюсных машин при неизолированных местах соединений в неподвижном состоянии измерение производится для каждого полюса в отдельности или попарно. Отклонения измеренных значений от данных завода-изготовителя или от среднего сопротивления полюсов должны находиться в пределах точности измерения.

- Измерение воздушного зазора между сталью ротора и статора должно производиться, если позволяет конструкция генератора. Если инструкциями на генераторы отдельных типов не предусмотрены более жесткие нормы, то зазоры в диаметрально противоположных точках могут отличаться друг от друга не более чем:
- на 5% среднего значения (равного их полусумме)- для турбогенераторов 150 МВт и выше с непосредственным охлаждением проводников;
- на 10% - для остальных турбогенераторов;
- на 20% - для гидрогенераторов.
- Измерение зазора у явнополюсных машин производится под всеми полюсами

- **Определение характеристик генератора:**
- **а) трехфазного КЗ**. Характеристика снимается при изменении тока от нуля до номинального значения. Отклонения от заводской характеристики должны находиться в пределах точности измерения.
- Снижение измеренной характеристики, которое превышает точность измерения, свидетельствует о наличии витковых замыканий в обмотке ротора. У генераторов, работающих в блоке с трансформатором, снимается характеристика КЗ всего блока (с установкой закоротки за трансформатором). Характеристику собственно генератора, работающего в блоке с трансформатором, допускается не определять, если имеются протоколы соответствующих испытаний на стенде заводов-изготовителей

- **б) холостого хода**. Подъем напряжения номинальной частоты на холостом ходу производить до 130% номинального напряжения турбогенераторов и синхронных компенсаторов, до 150% номинального напряжения гидрогенераторов. Допускается снимать характеристику холостого хода турбо- и гидрогенератора до номинального тока возбуждения при пониженной частоте вращения генератора при условии, что напряжение на обмотке статора не будет превосходить 1,3 номинального. У синхронных компенсаторов разрешается снимать характеристику на выбеге. У генераторов, работающих в блоке с трансформаторами, снимается характеристика холостого хода блока; при этом генератор возбуждается до 1,15 номинального напряжения (ограничивается трансформатором). Характеристику холостого хода собственно генератора, отсоединенного от трансформатора блока, допускается не снимать, если имеются протоколы соответствующих испытаний на заводеизготовителе. Отклонение характеристики холостого хода от заводской не нормируется, но должно быть в пределах точности измерения

- **Межвитковая изоляция обмотки статора.** Испытание междувитковой изоляции. Испытание следует производить подъемом напряжения номинальной частоты генератора на холостом ходу до значения, соответствующего 150% номинального напряжения статора гидрогенераторов, 130% - турбогенераторов и синхронных компенсаторов. При этом следует проверить симметрию напряжений по фазам. Продолжительность испытания при наибольшем напряжении - 5 мин. Испытание междувитковой изоляции рекомендуется производить одновременно со снятием характеристики холостого хода.

- **Измерение вибрации**. Вибрация (удвоенная амплитуда колебаний) подшипников синхронных генераторов, измеренная в трех направлениях (у гидрогенераторов вертикального исполнения производится измерение вибрации крестовины со встроенными в нее направляющими подшипниками), и их возбудителей не должна превышать значений, приведенных в таблице

Таблица 4. Наибольшая допустимая вибрация подшипников (крестовины) синхронных генераторов, компенсаторов и их возбудителей

Номинальная частота вращения ротора, мин$^{-1}$	3000*	1500-500**	375-214	187	До 100
Вибрация, мкм	40	70	100	150	180

* Для генераторов блоков мощностью 150 МВт и более вибрация не должна превышать 30 мкм. **Для синхронных компенсаторов с частотой вращения ротора 750-1000 мин −1 вибрация не должна превышать 80 мкм.

- **Проверка изоляции подшипников**. Проверка изоляции подшипника при работе генератора. Производится путем измерения напряжения между концами вала, а также между фундаментной плитой и корпусом изолированного подшипника. При этом напряжение между фундаментной плитой и подшипником должно быть не более напряжения между концами вала. Различие между напряжениями более чем на 10% указывает на неисправность изоляции.
- **Испытание под нагрузкой.** Испытание генератора под нагрузкой производится в соответствии с возможностями ввода машины в работу под нагрузку в период приёмо-сдаточных испытаний. Нагрев статора при данной нагрузке должен соответствовать паспортным данным.

- **Испытание возбудителей**. Испытание устройств системы возбуждения генератора производится в объёме устройств, которые входят в состав системы возбуждения и включают в себя измерение сопротивления изоляции, испытание повышенным напряжением, измерение сопротивления постоянному току, проверка диодов и тиристоров. Проверку диодов и тиристоров необходимо выполнять после отсоединения их от схемы БВУ по крайней мере с одной стороны полупроводникового элемента. Проверка станции возбуждения производится в объёме, определяемом соответствующими инструкциями производителя