

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

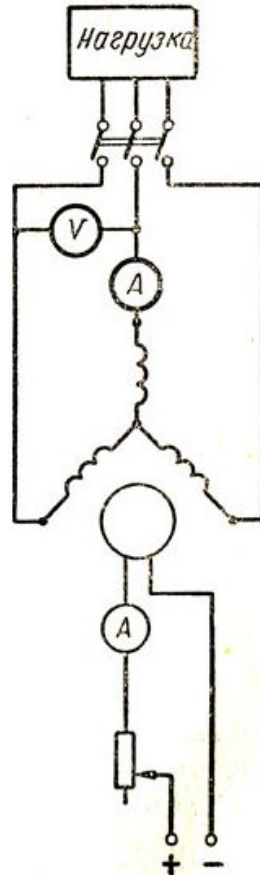


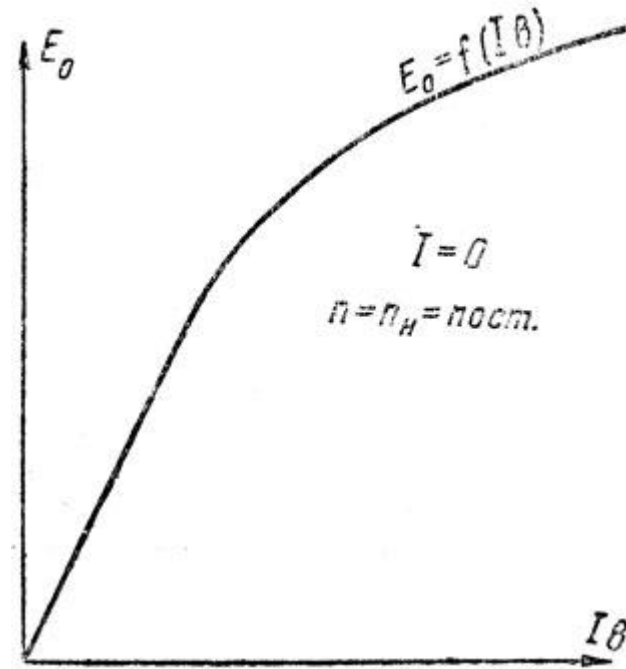
Схема снятия характеристик синхронного генератора

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

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

- 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 индуцированной э.д.с. E_0 .

- Характеристика холостого хода синхронного генератора показана на рисунке



Характеристика холостого хода синхронного генератора

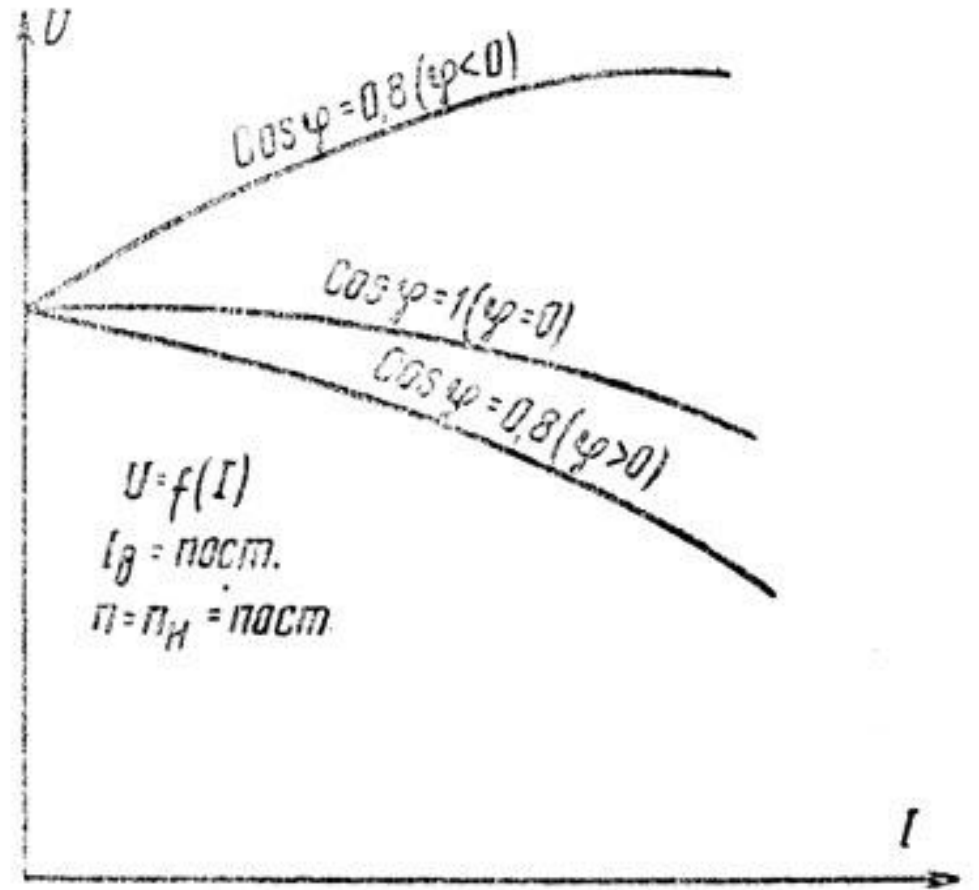
- Прямойлинейная часть характеристики указывает на пропорциональность между индуктированной э.д.с. и током возбуждения. В дальнейшем магнитная система генератора насыщается, кривая изгибается, т. е. при значительном увеличении тока возбуждения индуктированная э.д.с. растет очень медленно. Обычно нормальная 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_B , коэффициента мощности $\cos \varphi$ и скорости вращения n дается внешней характеристикой:

$$U = f(I)$$

при $I_B = \text{пост}$, $\cos \varphi = \text{пост}$, $n = n_H = \text{пост}$.

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



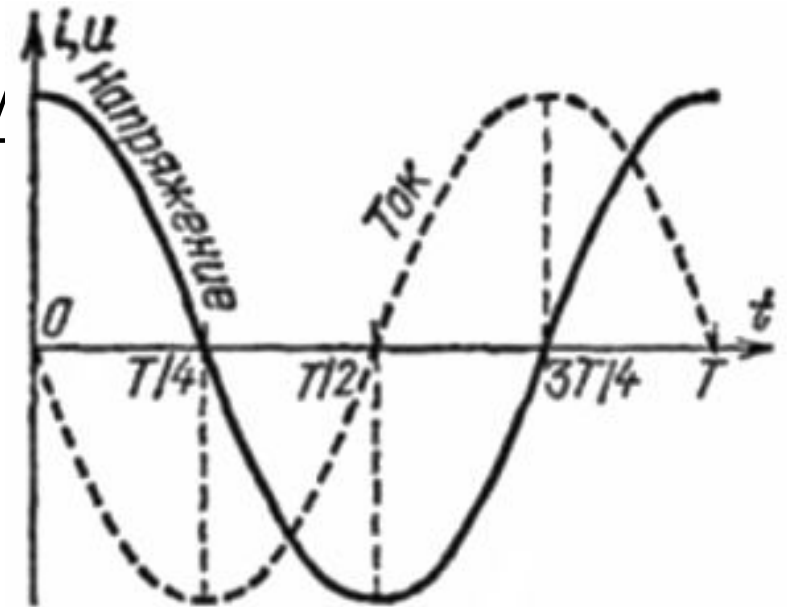
Внешние характеристики синхронного генератора

- 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.

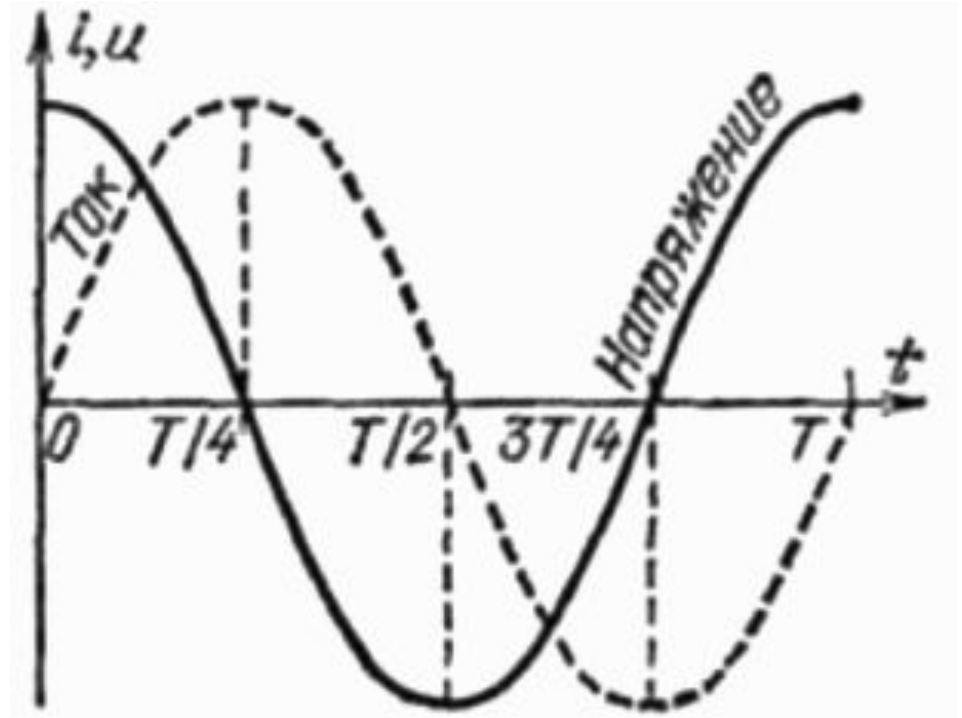
В третью четверть периода емкость будет заряжаться от источника противоположной полярностью (по сравнению с тем что было в первую четверть периода). В четвертую четверть периода емкость снова вернет энергию электрического поля обратно в сеть. В течение следующего периода данный цикл повторится. Так ведет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

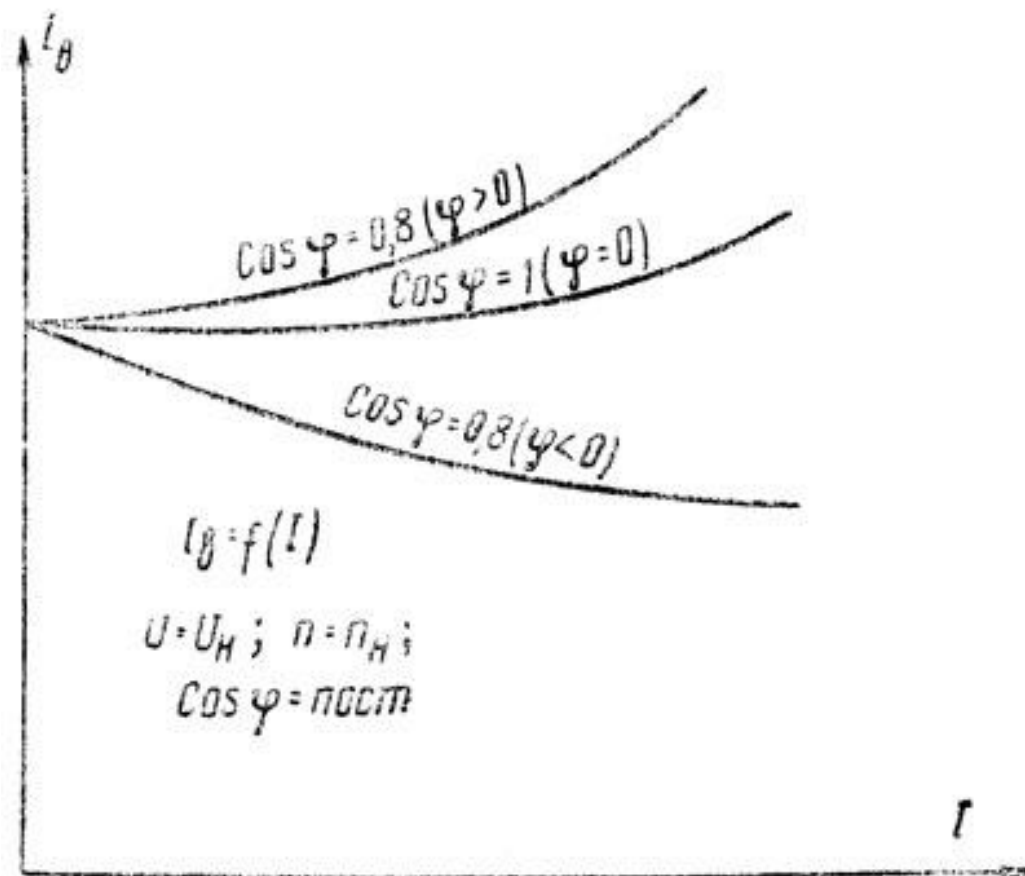


- Регулировочная характеристика представляет зависимость тока возбуждения I_B от тока нагрузки I при постоянных значениях напряжения на зажимах генератора U , скорости вращения n и коэффициента мощности $\cos \varphi$:

$$I_B = f(I)$$

при $U = U_H$; $n = n_H$ и $\cos \varphi = \text{пост.}$

- 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 закортить 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 заводе-изготовителе. 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 возбуждателей не должна превышать значений, приведенных в таблице

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

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 возбuditелей.** 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