

Синхронные электрические машины

Общие сведения и элементы конструкции

Синхронными машинами называются электрические машины переменного тока, у которых магнитное поле, созданное обмоткой переменного тока, вращается в пространстве с той же частотой, что и ротор, т.е. синхронно с ротором.

В настоящее время подавляющее большинство электрической энергии переменного тока вырабатывается с помощью синхронных генераторов. Генераторы, приводимые во вращение гидротурбинами, называются *гидрогенераторами*.

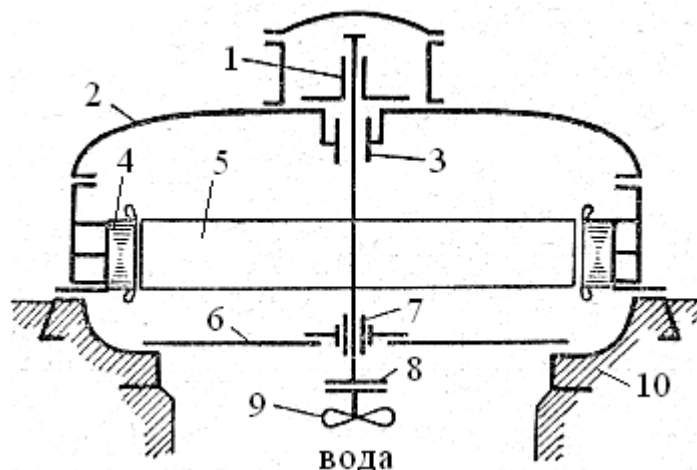


Рис. 1.1.

На рис. 1.1. представлена конструктивная схема вертикального гидрогенератора подвесного исполнения, где: 1- подпятник; 2 – верхняя крестовина; 3 – верхний направляющий подшипник; 4 – статор гидрогенератора; 5 – ротор гидрогенератора; 6 – нижняя крестовина; 7 – нижний направляющий подшипник; 8 – фланец вала; 9 – ротор гидравлической турбины; 10 – фундамент.

На рис 1.2. представлен схематический разрез капсульного гидрогенератора, где: 1 – капсула (корпус); 2 – статор гидрогенератора; 3 – ротор гидрогенератора; 4 – ротор гидравлический турбины.

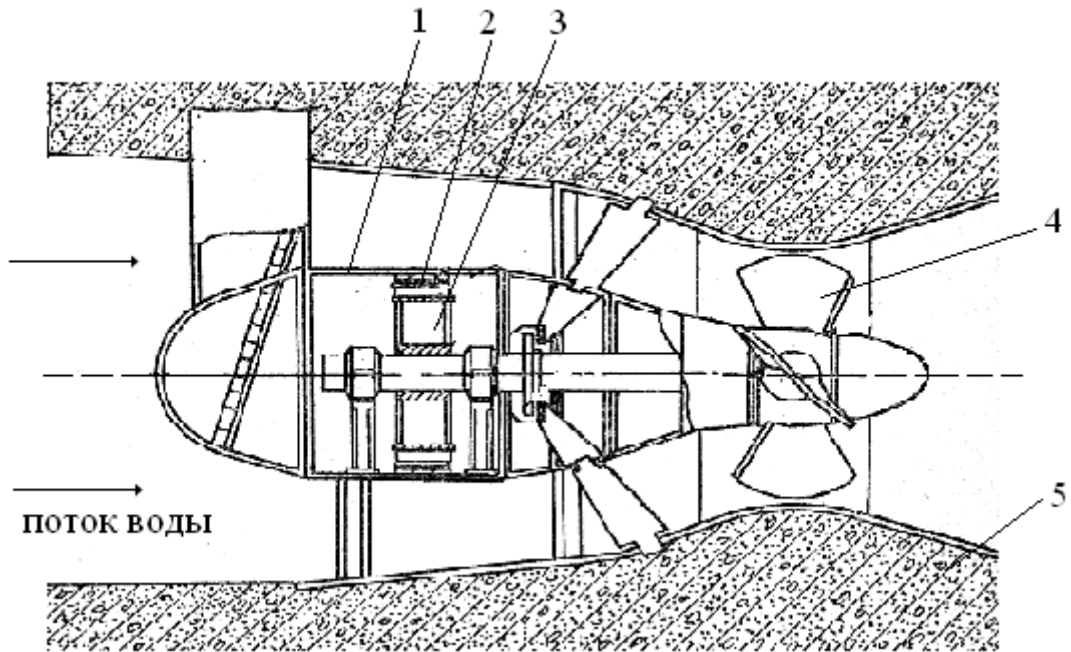


Рис. 1.2.

На тепловых станциях с помощью паровых турбин приводят во вращение *турбогенераторы*. Синхронные генераторы присоединяются также к двигателям внутреннего сгорания, к ветряным установкам и т.д.

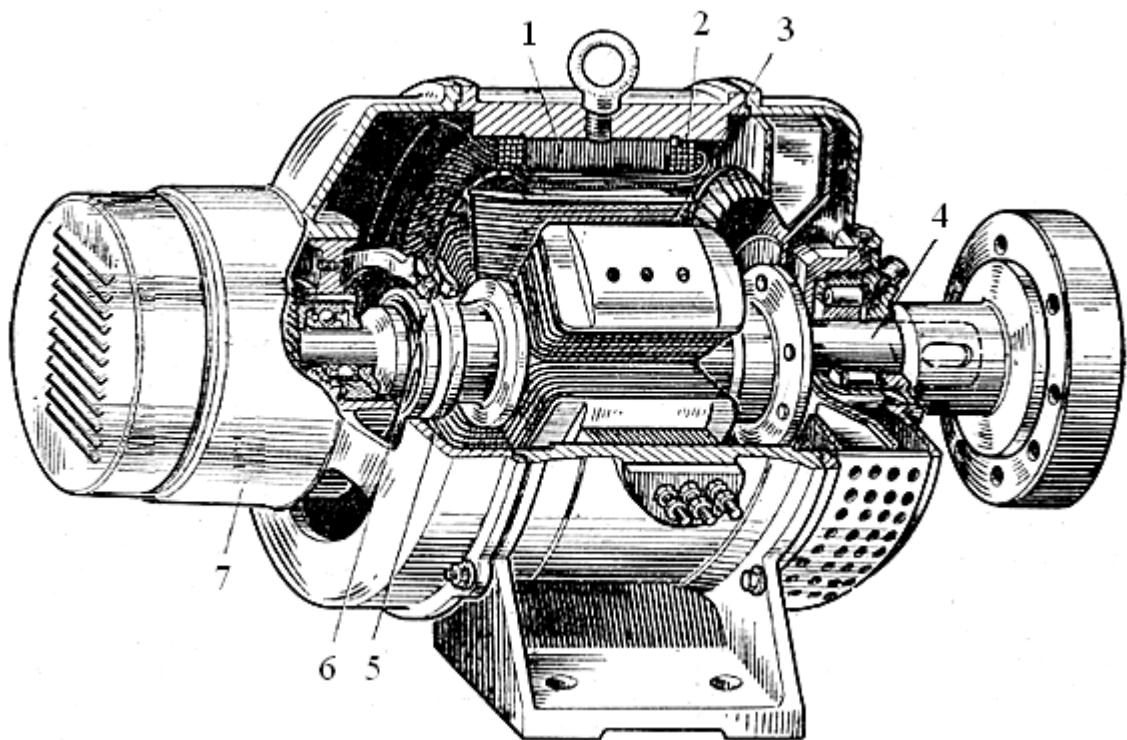


Рис. 1.3. Устройство явнополюсной синхронной машины.

Любая синхронная машина состоит из двух основных частей: неподвижного статора и вращающегося ротора (рис. 1.3.). Статор и ротор разделены воздушным зазором, который у крупных синхронных машин обычно значительно больше, чем у одинаковых по мощности асинхронных машин.

По конструкции статор синхронной машины принципиально не отличается от статора асинхронной машины. Магнитопровод статора 1 (рис. 1.3.) набирают из штампованных изолированных листов электротехнической стали. В пазах статора размещают распределённую обмотку переменного тока 2 (обычно трёхфазную). На валу 4 укрепляют ротор 3 с обмоткой возбуждения. Концы этой обмотки подводят к контактным кольцам 5. Для подачи постоянного тока в обмотку возбуждения по контактным кольцам скользят щетки 6. Источником постоянного тока в рассматриваемой машине служит возбудитель 7, представляющий собой генератор постоянного тока, якорь которого укреплен на общем валу с ротором синхронной машины.

Роторы синхронных машин бывают с *явно выраженными* (рис. 1.4.) и *неявно выраженными* (рис. 1.5.) полюсами. Такие синхронные машины соответственно называют *явнополюсными* и *неявнополюсными*.

Постоянный ток, проходя по обмотке возбуждения (рис. 1.4. и рис. 1.5.), создаёт магнитное поле ротора – *поле возбуждения* « Φ_B ».

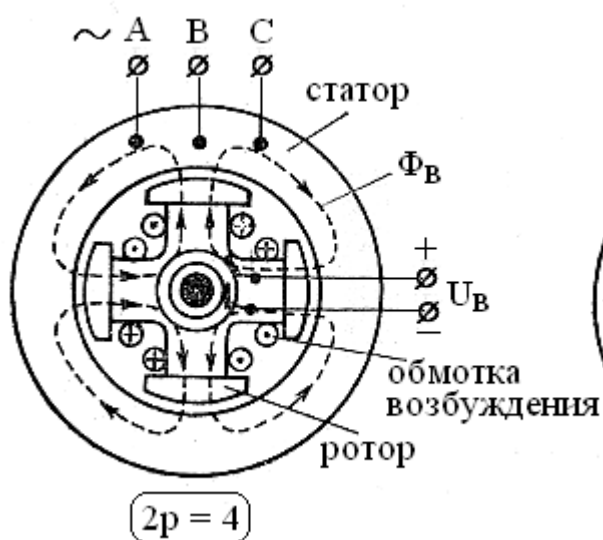


Рис. 1.4.

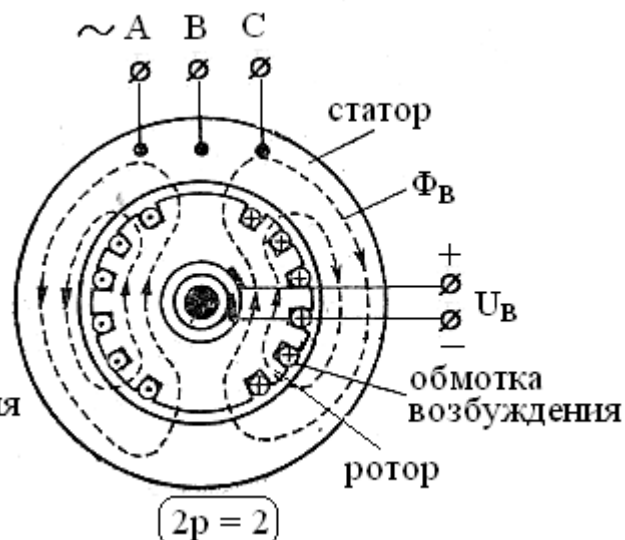


Рис. 1.5.

Частота f_1 энергии переменного тока, вырабатываемой синхронными генераторами, зависит от частоты вращения ротора « n_1 » и числа пар полюсов « p »:

$$f_1 = p \cdot n_1 / 60.$$

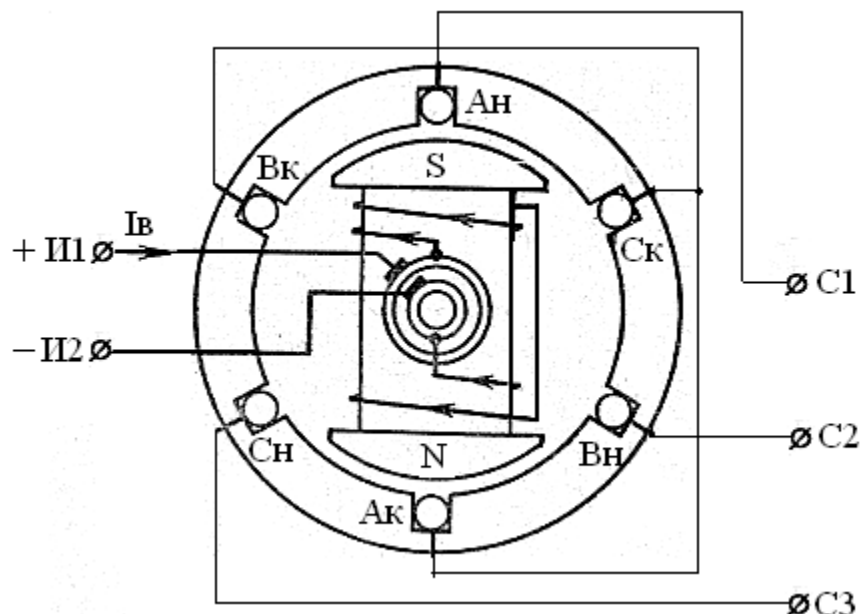
В силовом электроприводе, в устройствах автоматики, в устройствах звукозаписи применяют большое количество синхронных машин, работающих в двигательном режиме, - *синхронных двигателей*. Основная особенность синхронных двигателей – при постоянной частоте питающей сети f_1 его ротор вращается со строго постоянной (синхронной) частотой вращения.

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}, [\text{об/мин}]$$

Принцип работы синхронной машины.

Если ротор синхронной машины (рис. 1.6.) привести во вращение с некоторой частотой (скоростью) « n_1 » и возбудить его, то поток возбуждения « Φ_v » будет пересекать проводники обмотки статора и в фазах последней будет индуцироваться э.д.с. с частотой « f_1 ». Э.д.с. статора составляет симметричную трёхфазную систему, и при подключении к обмотке статора нагрузки по обмотке будут протекать токи. Эти токи образуют вращающееся магнитное поле статора, частота вращения которого n_1 равна частоте вращения ротора. При суммировании этих полей образуется общее вращающееся магнитное поле. Машина при этом будет работать *в режиме генератора*.

Рис. 1.6.



Зависимости напряжения на выводах обмотки статора U_1 от величины и характере тока нагрузки I_1 называются *внешними характеристиками* синхронного генератора (рис. 1.7. а). $U_1 = f(I_1)$ при $(I_b, n_1, \cos \varphi_1) = \text{const}$.

При чисто *активной нагрузке* (кривая 1) увеличение нагрузочного тока сопровождается сравнительно небольшим уменьшением напряжения, происходящим главным образом за счет падения напряжения на собственном сопротивлении обмотки статора.

При *активно-индуктивной нагрузке* (кривая 2) увеличение тока I_1 сопровождается, более резким уменьшением напряжения, что объясняется главным образом *размагничивающим* действием реакции якоря.

При *активно-емкостной нагрузке* (кривая 3) увеличение тока I_1 сопровождается ростом напряжения U_1 , что объясняется *намагничивающим* действием реакции якоря.

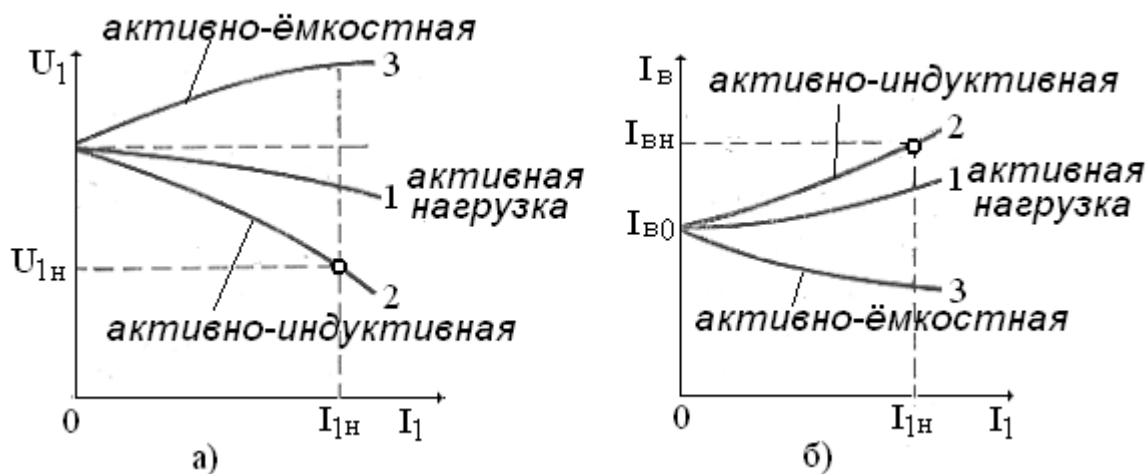


Рис. 1.7. Внешние характеристики а) и регулировочные характеристики б) синхронного генератора.

При увеличении тока нагрузки I_1 для поддержания U_1 постоянным в случае активной или индуктивной нагрузки приходится *увеличивать ток возбуждения I_b* , а в случае емкостной нагрузки – *уменьшать I_b* . Зависимости $I_b = f(I_1)$ при $(U_1 \text{ и } \cos \varphi_1) = \text{const}$ называются *регулирующими характеристиками* (рис. 1.7 б)), где: кривая 1 – активная нагрузка; кривая 2 – активно-индуктивная нагрузка; кривая 3 – активно-емкостная нагрузка.

Синхронная машина может работать и в качестве двигателя, если подвести к обмотке её статора трёхфазный ток из сети. В этом случае в результате взаимодействия магнитных полей статора и ротора поле статора

увлекает за собой ротор. При этом ротор вращается в ту же сторону и с той же скоростью, как и поле статора.

Существенным недостатком синхронных двигателей является отсутствие у них пускового момента. Инерционность ротора не позволяет ему сразу (мгновенно) развить частоту вращения, равную частоте вращения поля, которая устанавливается, как только в обмотке статора появляется ток. В результате под полюсами ротора проходят полюсы поля статора разной полярности, а поэтому между этими полями не возникает устойчивой магнитной связи, способной создать электромагнитный момент одного направления.

Для пуска синхронного двигателя необходимо предварительно привести ротор во вращение с частотой, близкой к синхронной. В этом случае ротор *втягивается в синхронизм*, т.е. начинает вращаться с синхронной частотой.

Для получения пускового момента синхронный двигатель (СД) снабжается асинхронным пуском (за счет дополнительной короткозамкнутой обмотки на полюсах ротора). Т.е. *синхронный двигатель пускается как асинхронный двигатель*, а затем его ротор втягивается в синхронизм. Такой способ пуска называется *асинхронным*.

Внимание! *При асинхронном пуске обмотку возбуждения СД отключают от тока и замыкают на активное сопротивление чтобы исключить дополнительные тормозные моменты и перенапряжения (опасные для изоляции) в обмотке. При приближении к синхронной частоте вращения ротора на обмотку возбуждения подают напряжение.*

Кроме рассмотренного асинхронного пуска, СД могут быть пущены вход ещё двумя способами: с помощью *вспомогательного (разгонного) двигателя* и плавным повышением частоты тока – *частотный пуск*.

Угловые, U-образные и рабочие характеристики синхронных машин

На рис. 1.8 представлены U-образные характеристики СМ - зависимости тока статора от тока возбуждения при постоянной нагрузке $M = \text{const}$ и постоянном напряжении $U = \text{const}$. φ – угол между током и напряжением обмотки статора. Линия СД соответствует $\cos \varphi = 1$, ($\varphi = 0$) и представляет регулировочную характеристику СМ. Линия АБ соответствует $\theta = 90^\circ$ и

определяет границу устойчивой работы синхронной машины. θ – **угол нагрузки** СМ (угол между векторами Э.Д.С. и напряжения обмотки статора). При изменении нагрузки СМ изменяется и угол θ . В генераторном режиме $\theta < 0$. В двигательном режиме $\theta > 0$. Работу машины в левой области характеризует **недовозбуждённый режим**: машина потребляет реактивную мощность из сети и является для неё **индуктивной нагрузкой**. При работе в правой области характеристики машина находится в **перевозбуждённом режиме**: она генерирует реактивную мощность и для сети является **ёмкостной нагрузкой**.

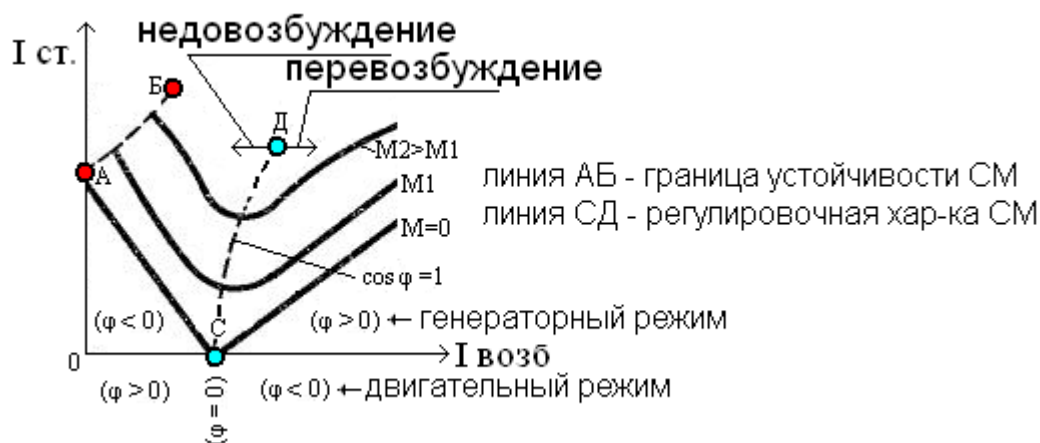


Рис. 1.8.

Синхронные машины широко применяют для компенсации реактивной мощности и повышения $\cos \varphi$. Для этого создаётся режим работы с большими значениями тока возбуждения и Э.Д.С. Если при этом не используют механическую энергию вращающегося ротора, то такую машину называют **синхронным компенсатором**.

Угловая характеристика синхронной машины — это зависимость момента от угла нагрузки $M = f(\theta)$ представлена на рис. 1.9. Режим работы машины устойчив, если $\frac{dM}{d\theta} > 0$ (точка 1 на рис. 1.9)

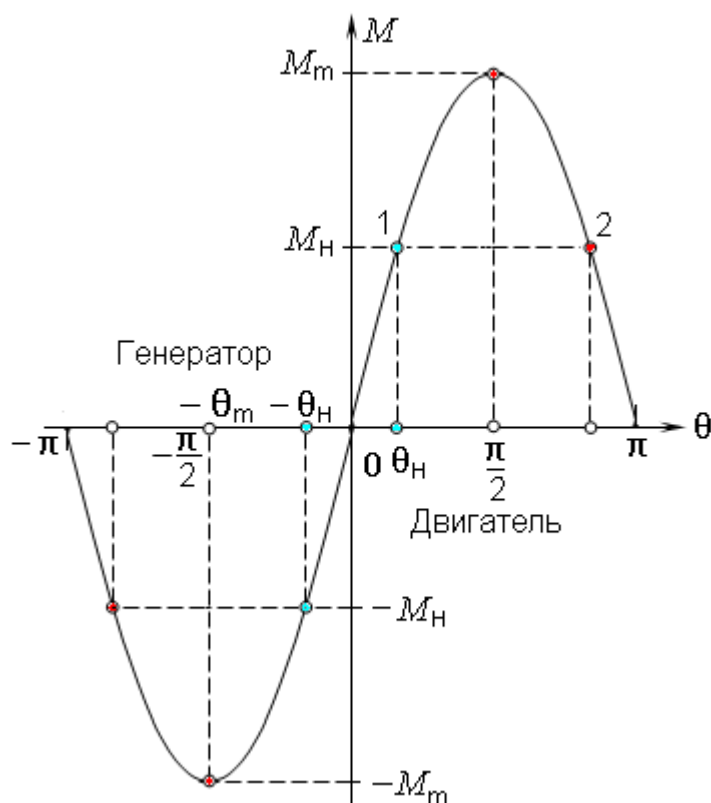


Рис. 1.9.

Действительно, при возрастании момента нагрузки M_H синхронного двигателя увеличивается угол θ до экстремальной точки ($M_{\max}$) после которой наступает зона неустойчивой работы СД (точка 2 на рис. 1.9). Аналогичные процессы происходят и в генераторе. Область устойчивой работы СМ соответствует интервалу $-\frac{\pi}{2} < \theta < \frac{\pi}{2}$.

Рабочие характеристики СД (рис. 1.10.) представляют собой зависимости частоты вращения n_1 , потребляемого тока I_1 , полезного момента M_2 , и коэффициента мощности $\cos \varphi_1$ от полезной мощности P_2 при неизменных напряжении U_1 , частоте сети f_1 , а также величине тока возбуждения I_B .

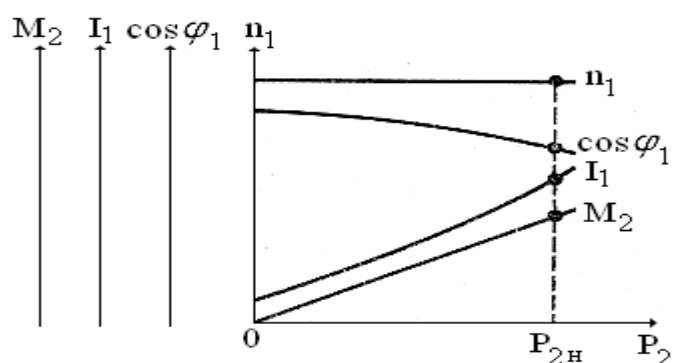


Рис. 1.10. Рабочие характеристики синхронного двигателя.

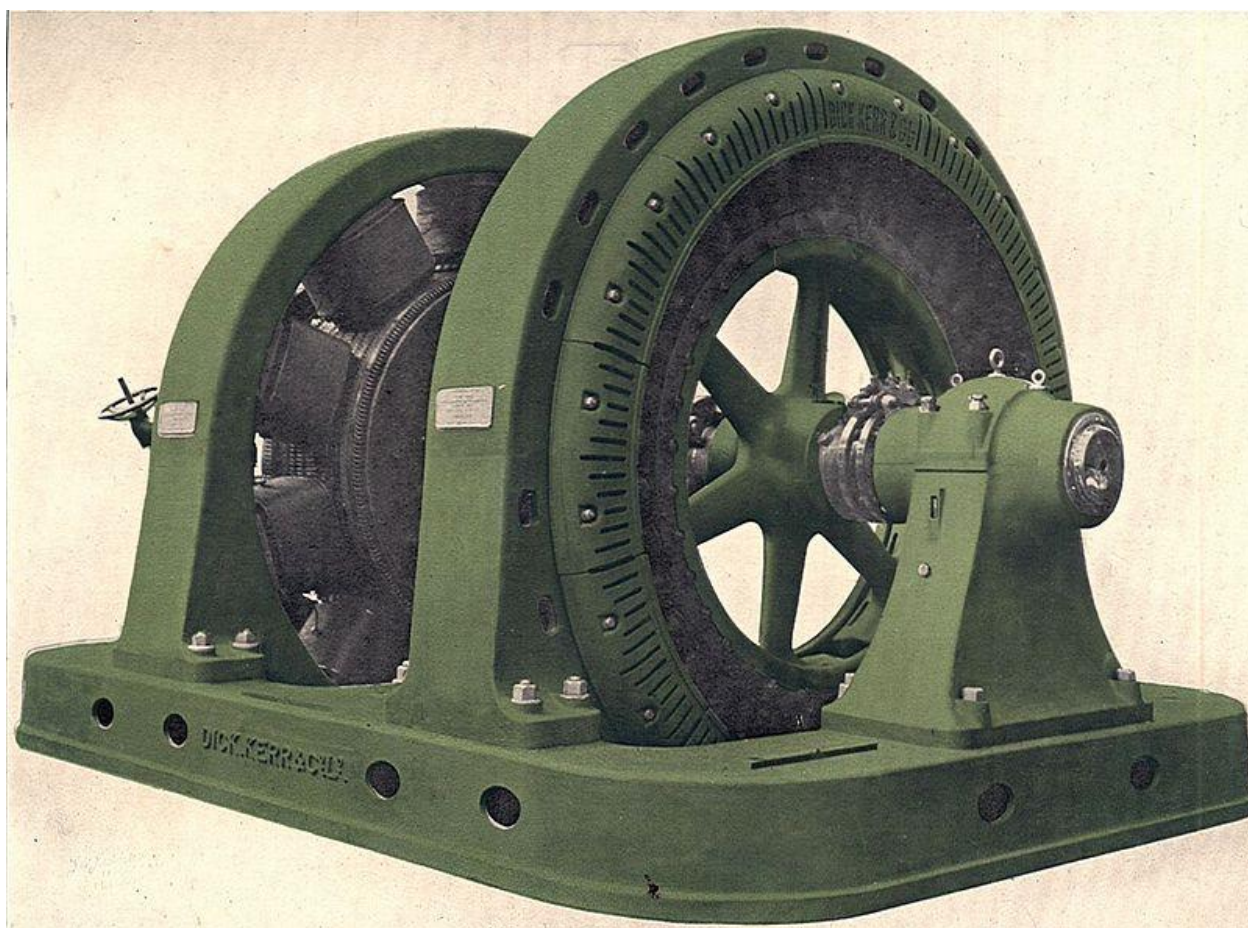


Рис. 1.11. Синхронный двигатель-генератор, использовавшийся как выпрямитель (1909).

На этом сайте инф. По СД

<http://electricalschool.info/main/electroshemy/208-tipovye-skhemy-puska-sinkhronnykh.html>