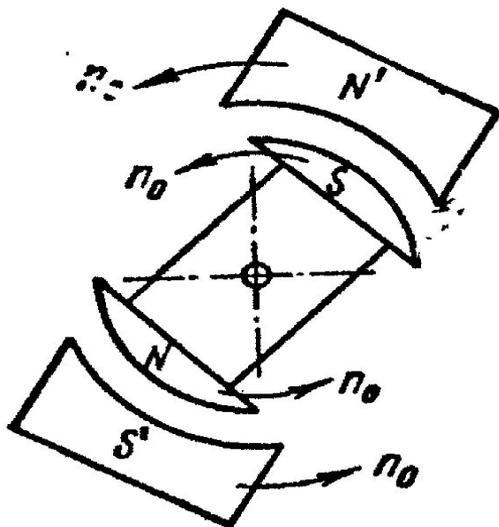


Принцип работы синхронного двигателя.

Большинство синхронных двигателей изготавливается на скорости вращения 1500, 1000, 750, 600 об/мин и менее.

Статор синхронного двигателя устроен так же как и статор двигателя асинхронного. Трёхфазная обмотка статора присоединяется к трёхфазной сети. Ротор синхронного двигателя представляет собой электромагнит, т.е. имеет обмотку, через которую пропускается постоянный ток. Обмотка ротора называется обмоткой возбуждения, а ток, протекающей в обмотке называется током возбуждения.



На рисунке схематически показано вращающееся магнитное поле статора в виде полюсов магнита N' и S', а также поле обмотки возбуждения (полюса N и S). Обе магнитные системы могут вращаться вокруг оси.

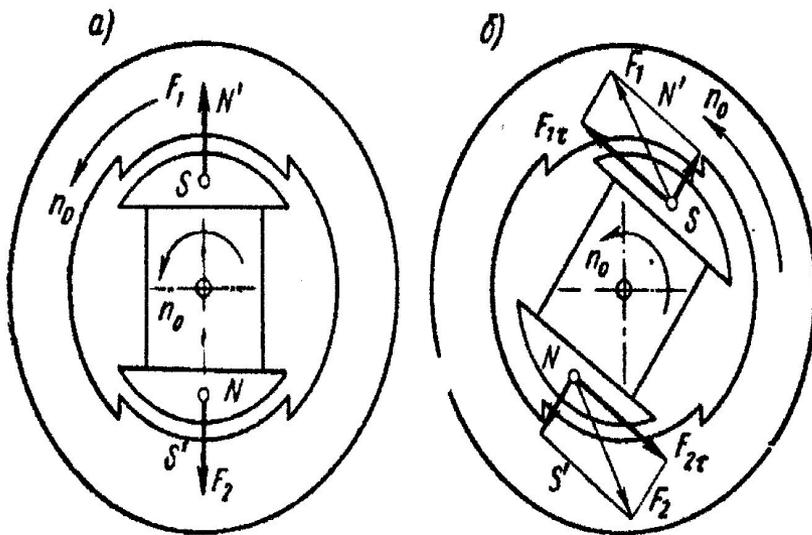
При подключении статора к сети магнитное поле статора начинает вращаться со скоростью $n_0 = 3000$ об/мин вокруг неподвижного ротора.

СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Принцип работы синхронного двигателя.

При скорости $n_0 = 3600$ об/мин в течение секунды мимо каждого полюса ротора будет проходить по 50 раз полюс N' и полюс S' вращающегося поля статора. Таким образом, на ротор будут действовать силы, направленные то в одну, то в другую сторону. В результате ротор, обладающий определённым моментом инерции, не сдвинется с места.

Если каким-либо образом разогнать ротор до скорости n_0 , то силы взаимодействия полюсов ротора с магнитным полем статора обеспечат вращение ротора со скоростью поля n_0 . В режиме идеального холостого хода оси

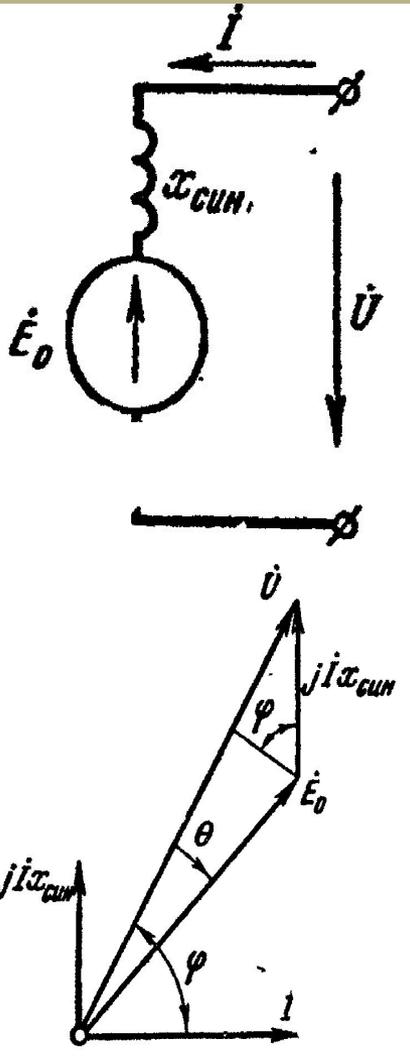


обеих магнитных систем совпадают (рис. а). На полюса ротора действуют радиальные силы F_1 и F_2 , которые не создают вращающего момента. Если к валу двигателя приложить механическую нагрузку, то ось ротора сместится назад на угол, зависящий от величины момента сопротивления. На полюса ротора будут действовать силы, тангенциальные составляющие которых создают вращающий момент M .

тангенциальные составляющие которых создают вращающий момент M .

СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Векторная диаграмма синхронного двигателя.



На рисунке показана схема замещения синхронного двигателя. Этой схеме соответствует уравнение:

$$\dot{U} = \dot{E}_0 + j \dot{I} \cdot x_{\text{сѐи}}$$

На следующем рисунке показана векторная диаграмма синхронного двигателя. Вектор E_0 отстаёт по фазе от вектора U . Физически это соответствует тому, что ось магнитного потока ротора отстаёт по фазе на угол Θ (относительно положения, которое она занимала в режиме холостого хода). Угол Θ тем больше, чем значительней нагрузка на валу двигателя.

Активная мощность, потребляемая двигателем:

$$P = 3UI \cdot \cos \varphi = \frac{3E_0U}{x_{\text{нѐи}}} \sin \Theta$$

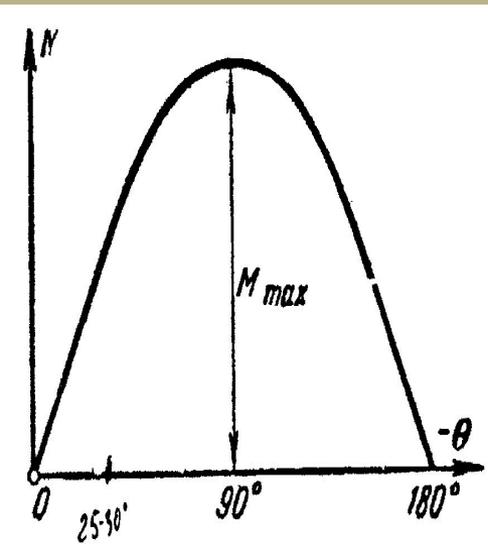
Вращающий момент, развиваемый двигателем:

$$M = M_{\text{max}} \sin \Theta$$

Зависимость вращающего момента двигателя от угла Θ при $E_0 = \text{const}$ (т.е. при неизменном токе возбуждения) называется угловой характеристикой.

СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Угловая характеристика синхронного двигателя.



Устойчивая работа синхронного двигателя возможна, когда при увеличении момента сопротивления M_c и соответствующем возрастании угла Θ электромагнитный вращающий момент также увеличивается, т.е. когда

$$\frac{dM}{d\Theta} > 0$$

Таким образом, при изменении Θ от 0 до 90° работа двигателя будет устойчивой. При $\Theta \geq 90^\circ$ работа двигателя невозможна, так как при этом увеличение механической нагрузки на валу двигателя сопровождается уменьшением вращающего момента.

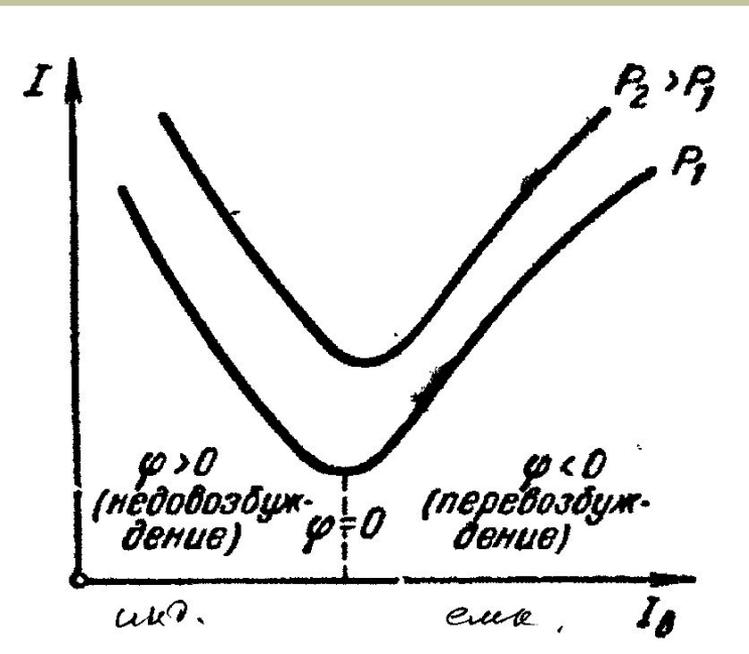
При работе двигателя в номинальном режиме угол Θ обычно не превышает $25-30^\circ$. При этих значениях угла отношение максимального момента к номинальному, определяющее кратковременную перегрузочную способность синхронного двигателя, равно:

$$\lambda = \frac{M_{\max}}{M_i} = \frac{1}{\sin\Theta} = 2,5 - 2$$

СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Влияние тока возбуждения на работу двигателя.

При заданной механической нагрузке двигателя потребляемая им активная мощность практически остаётся постоянной независимо от величины тока возбуждения. Для каждой нагрузки синхронного двигателя можно получить расчётным или опытным путём зависимость величины потребляемого тока от тока возбуждения. Эти зависимости принято называть U-образными характеристиками.



Левые ветви характеристик соответствуют индуктивным $\cos \varphi$, а правые ветви – емкостным $\cos \varphi$. Из характеристик видно, что ток, потребляемый синхронным двигателем из сети, зависит от механической нагрузки на валу двигателя и от величины тока возбуждения.

Для повышения общего $\cos \varphi$ промышленных электроустановок применяют синхронные двигатели, работающие с перевозбуждением.

Обычно синхронные двигатели рассчитывают на $\cos \varphi = 0,8-0,9$ (емк.).

СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Экономичный режим эксплуатации синхронного двигателя.

Потери мощности в синхронном двигателе складываются из:

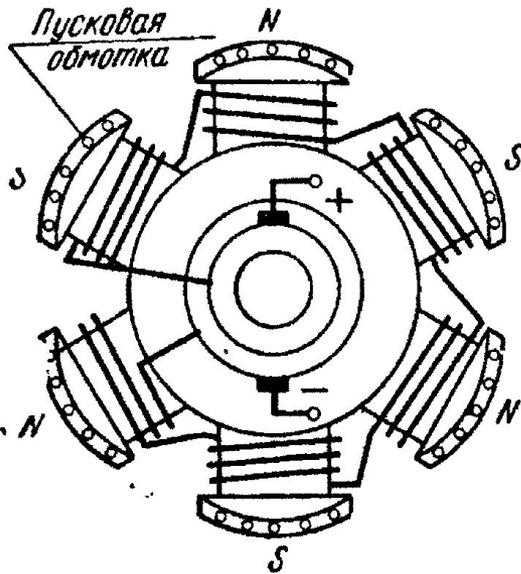
- постоянных потерь, не зависящих от нагрузки и режима работы;
- переменных потерь, зависящих от механической нагрузки и от величины тока возбуждения.

К постоянным относят механические потери и магнитные потери в статоре. Переменные потери включают потери мощности в обмотке ротора, определяемые током возбуждения, и потери в обмотке статора, зависящие от нагрузки и от тока возбуждения.

Увеличение тока возбуждения и перевод двигателя с режима при $\cos \varphi = 1$ на режим с емкостным $\cos \varphi$ вызывает увеличение потерь в двигателе. В результате этого к.п.д. двигателя уменьшается. Однако, работа с опережающим $\cos \varphi$ является экономически целесообразной. Это связано с тем, что наиболее распространённые асинхронные двигатели работают с индуктивным $\cos \varphi$. В этих условиях общий $\cos \varphi$ нагрузки предприятия повышается, а потребляемый из сети ток уменьшается благодаря работе синхронных двигателей с емкостным $\cos \varphi$.

Пуск синхронного двигателя.

Проблема пуска синхронного двигателя долгое время ограничивала их использование, так как в момент включения на ротор действуют противоположно направленные силы и ротор не в состоянии стронуться с места.



Эта проблема была решена применением схемы асинхронного пуска. Для этого ротор двигателя кроме обмотки возбуждения имеет короткозамкнутую обмотку типа «беличьей клетки».

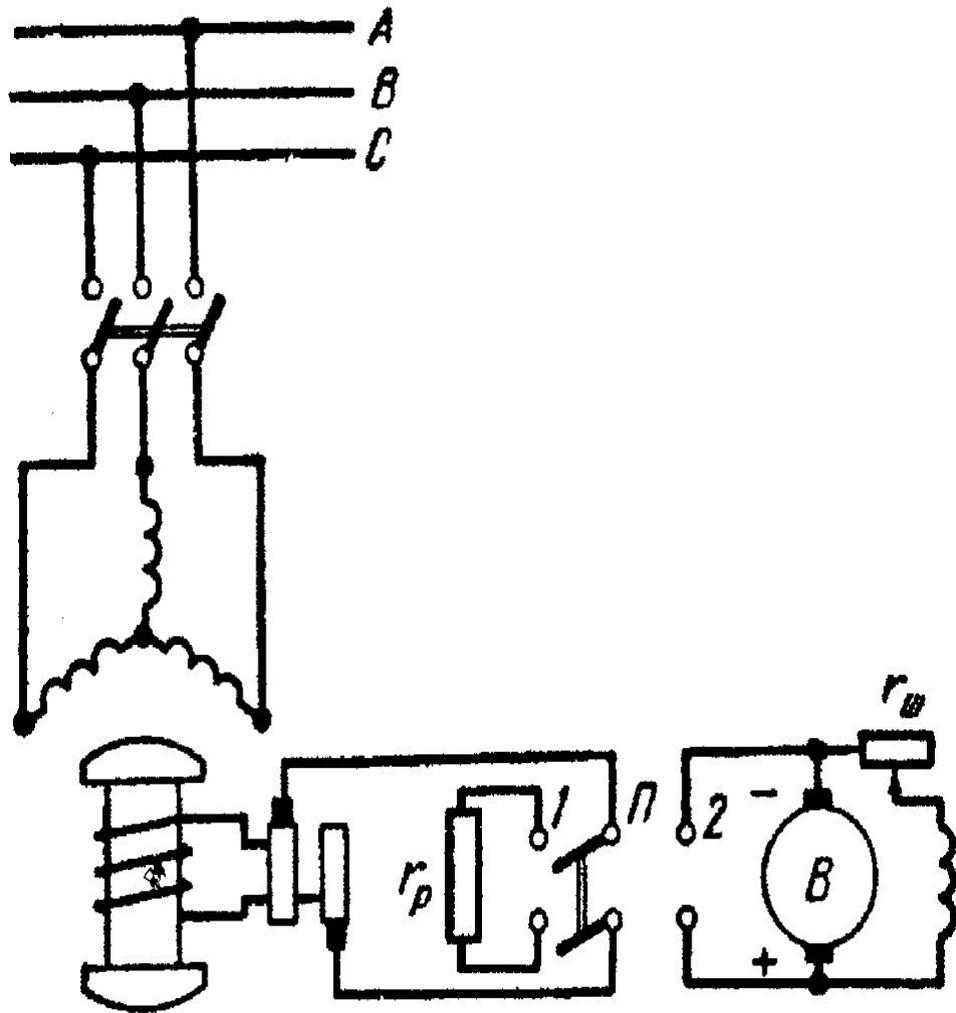
При этом в момент включения ротор ведёт себя как ротор обычного асинхронного двигателя, т.е. начинает раскручиваться за счёт сил Ампера, действующих на короткозамкнутые проводники ротора с индуцированным в них током. После того как ротор достиг скорости близкой к n_0 начинает действовать ме-

ханизм синхронного двигателя и скорость вращения ротора остаётся неизменной и равной n_0 .

Для реализации этого метода используют специальные пусковые схемы включения синхронных двигателей.

СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Пуск синхронного двигателя.



На рисунке показана схема пуска синхронного двигателя. Перед пуском обмотка возбуждения отключается от возбудителя и при помощи переключающего устройства П замыкается на сопротивление реостата r_p (переключатель в положении 1). После этого обмотка статора присоединяется к сети трёхфазного тока. Возникшее вращающееся магнитное поле будет индуцировать токи в обмотке ротора.

Взаимодействие этих токов с вращающимся полем вызывает появление момента, который и производит разгон ротора так, как это имеет

место в асинхронном двигателе. Когда ротор достигнет скорости, близкой к синхронной, в обмотку возбуждения подают постоянный ток (переключатель П переводят в положение 2).

СИНХРОННЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Свойства синхронных двигателей и области их применения.

Преимущества синхронных двигателей:

- 1) стабильность скорости вращения при различных нагрузках;
- 2) меньшая зависимость вращающего момента от напряжения сети;
- 3) возможность работы с опережающим $\cos \varphi$ (используется для повышения общего коэффициента мощности промышленной установки).

Недостатки синхронных двигателей:

- 1) необходимость двух родов тока – постоянного и переменного;
- 2) относительная сложность пуска;
- 3) невозможность регулирования скорости при постоянной частоте питающей сети;
- 4) выпадение из синхронизма при значительных механических перегрузках.

Синхронные электродвигатели чаще применяют в непрерывно действующих агрегатах относительно большой мощности (центробежные и поршневые насосы, вентиляторы, компрессоры и т.д.).

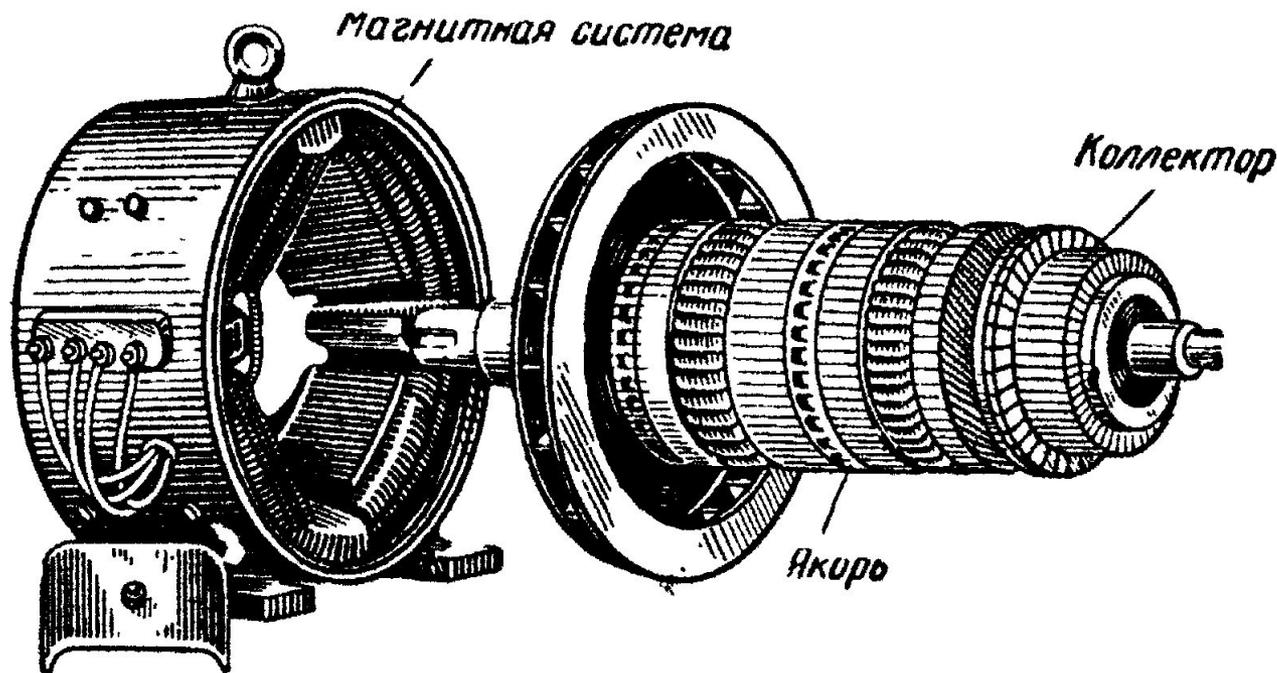
МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Генератор постоянного тока.

Генераторы постоянного тока применяют для зарядки аккумуляторных батарей, для питания электролизных установок, в электромашинных агрегатах, используемых для регулировки скорости рабочих машин.

Основные части генератора постоянного тока:

- 1) неподвижная магнитная система, создающая магнитное поле машины;
- 2) приводимый во вращение якорь, в обмотке которого индуцируется э.д.с.
- 3) коллектор, посредством которого получают постоянное напряжение.



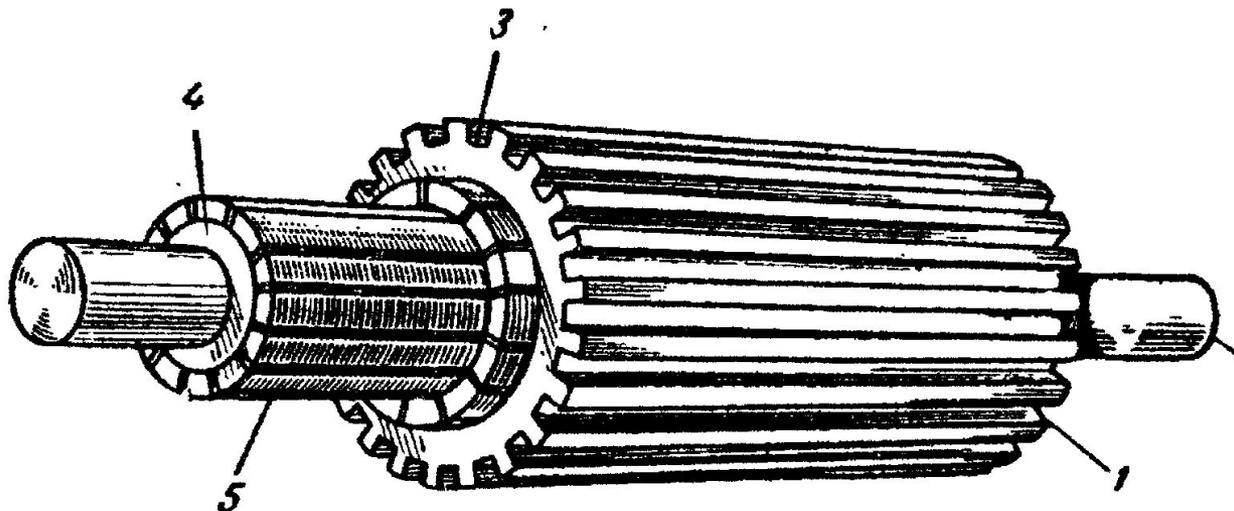
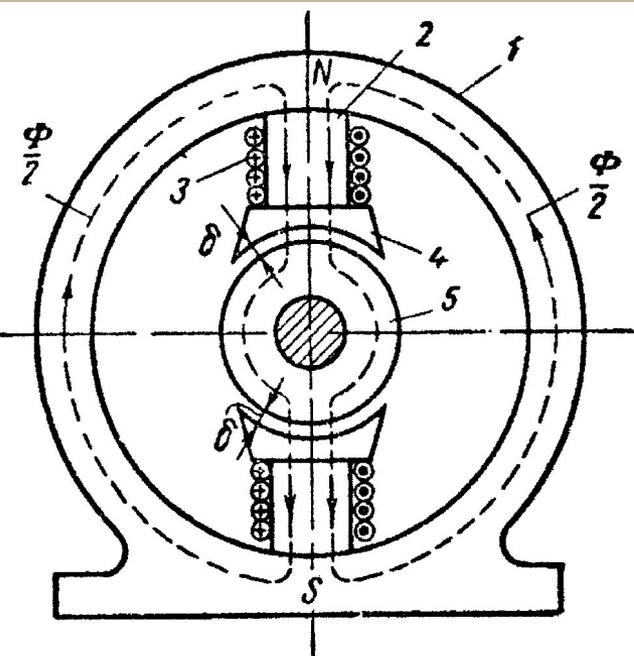
Станина магнитной системы изготовлена из литой стали. К внутренней поверхности станины прикреплены сердечники электромагнитов. На сердечники надеты катушки из медного изолированного провода.

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Генератор постоянного тока.

Катушки электромагнитов, образующие обмотку возбуждения, питаются постоянным током и создают неизменный во времени и в пространстве магнитный поток Φ . Магнитные линии этого потока замыкаются через якорь и станину.

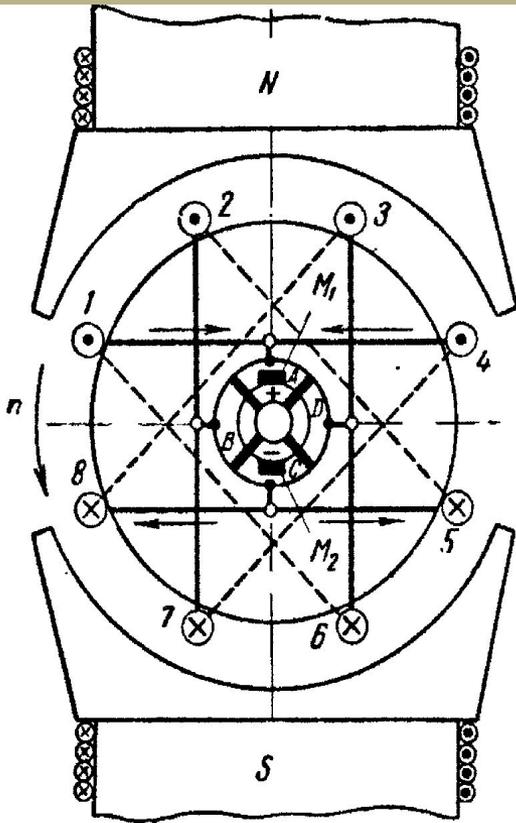
Якорь представляет собой стальной цилиндр, укрепленный на валу машины. На наружной по-



верхности якоря имеются каналы, в которые укладывается обмотка якоря. Коллектор 4 собирается из медных пластин 5, изолированных друг от друга и от вала машины. Каждая из пластин коллектора присоединяется к определённой точке обмотки якоря.

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Генератор постоянного тока.



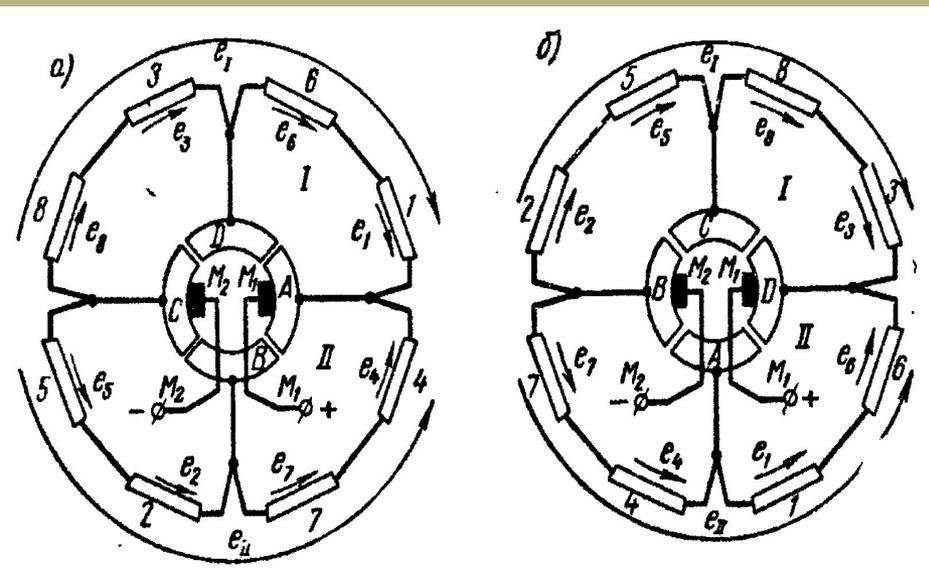
Рассмотрим обмотку якоря, состоящую из 8 проводящих стержней. Все стержни соединены последовательно. В рассматриваемом примере стержни соединены через два с третьим: стержень 1 соединён со стержнем 4, стержень 4 – со стержнем 7, стержень 7 – со стержнем 2, стержень 2 – со стержнем 5, стержень 5 – со стержнем 8, стержень 8 – со стержнем 3, стержень 3 – со стержнем 6 и стержень 6 – со стержнем 1.

Перемычки между стержнями 1 – 4, 7 – 2, 5 – 8, 3 – 6, расположенные на переднем торце якоря, соединены соответственно с коллекторными пластинами А, В, С, D.

На рисунке перемычки, расположенные со стороны коллектора, показаны сплошными линиями, а с обратной стороны – пунктиром. Направление токов в проводниках определяются по правилу правой руки. Направление индукции магнитного поля – от северного полюса к южному. Направление движения проводников в верхней и нижней части – противоположное.

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Генератор постоянного тока.



На рис. а) показана электрическая схема соединения стержней якоря. Из схемы видно, что в обмотке якоря образовались 2 параллельные ветви I и II. В ветви I последовательно включены стержни 1, 6, 3 и 8 с суммарной э.д.с. $e_I = e_1 + e_6 + e_3 + e_8$, а в ветви II последовательно включены стержни 4, 7, 2, и 5 с суммарной э.д.с. $e_{II} = e_4 +$

$e_7 + e_2 + e_5$. Электродвижущие силы e_I и e_{II} равны друг другу по величине: $e_I = e_{II} = E$ (поскольку в них входят симметрично расположенные стержни)

Э.д.с. e_I и e_{II} направлены навстречу друг другу, поэтому ток в цепи обмотки якоря не возникает. Напряжение между пластинами коллектора А и С равно э.д.с. ветвей E.

При повороте якоря на 90° (рис. б) в ветви I и II входят уже другие стержни, но индуцированная в каждой ветви э.д.с. сохраняет своё значение. Напряжение между коллекторными пластинами В и D останется неизменным. При замыкании на внешнее сопротивление в цепи потечёт ток.

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Возбуждение генератора.

- В зависимости от способа питания обмотки возбуждения различают:
- 1) генераторы с независимым возбуждением;
- 2) генераторы с самовозбуждением.

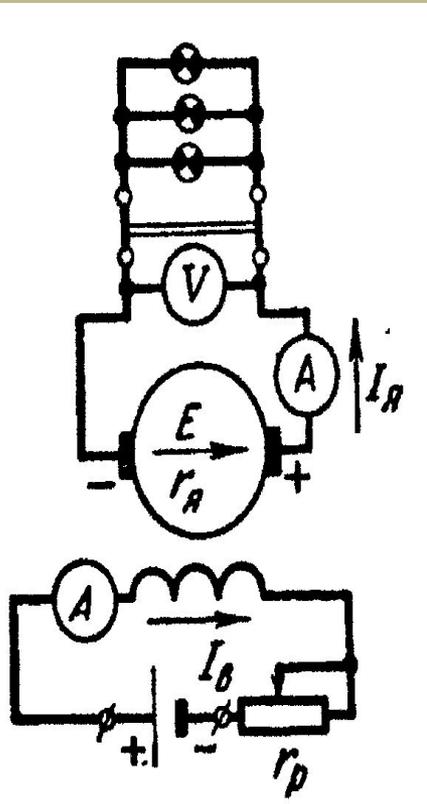
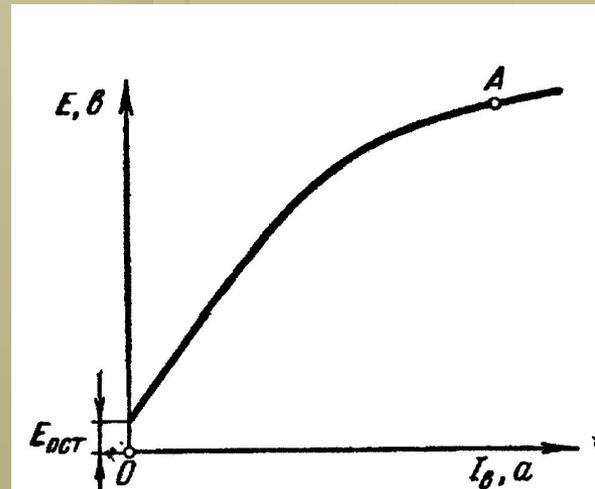


Схема генератора с независимым возбуждением включает источник постоянного тока, который и создаёт ток в обмотке возбуждения. Ток возбуждения в этой схеме не зависит от условий работы генератора.

При разомкнутой внешней цепи $I_1 = 0$ напряжение на зажимах генератора равно э.д.с. $U = E - I_1 r_1 = E$, где r_1 – сопротивление обмотки якоря. Реостат в цепи возбуждения позволяет регулировать э.д.с. генератора.

Характеристика холостого хода представляет зависимость э.д.с. от величины тока возбуждения.



Обращает внимание, что э.д.с. отлична от нуля даже при отсутствии тока возбуждения. Это связано с остаточной намагниченностью стального магнитопровода.

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

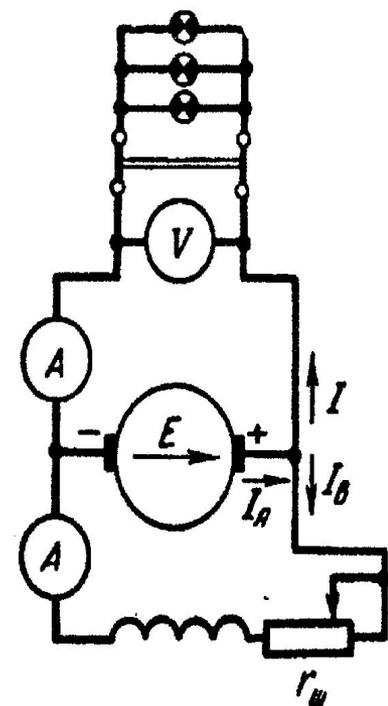
■ Генератор с параллельным возбуждением.

■ Генераторы с независимым возбуждением применяются только для специальных целей. Более распространены генераторы с самовозбуждением, в которых питание обмотки возбуждения происходит от якоря самой машины. Для обеспечения самовозбуждения необходимо:

а) наличие остаточного магнитного потока в машине;

б) правильное присоединение концов обмотки возбуждения к зажимам якоря, при котором ток возбуждения будет усиливать, а не ослаблять остаточный магнитный поток. На рисунке приведена схема

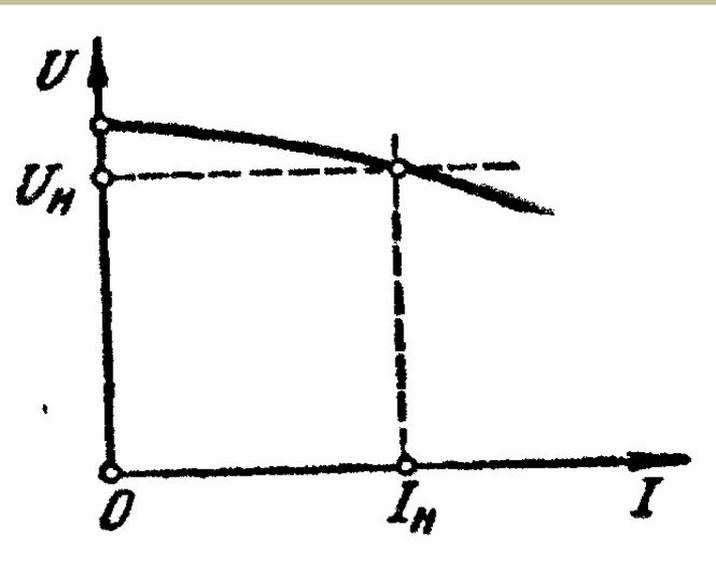
параллельного возбуждения. В этой схеме обмотка возбуждения подключена параллельно щёткам якоря. Ток якоря разветвляется на 2 цепи: внешнюю и цепь обмотки возбуждения. Параллельная обмотка возбуждения выполняется из большого числа витков тонкой проволоки. При этом ток возбуждения составляет 1 – 5 % от номинального тока машины.



МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Внешняя характеристика.

Представляет собой зависимость напряжения U на зажимах генератора от тока I при постоянной скорости вращения якоря. Напряжение на зажимах генератора определяется по формуле: $U = E - I \cdot r$, где I – ток в цепи якоря, r – сопротивление обмотки якоря.



Внешняя характеристика представлена на рисунке. Из характеристики видно, что увеличение тока через нагрузку, а следовательно и в цепи якоря приводит к снижению напряжения на зажимах генератора. Это является недостатком схемы параллельного возбуждения. Этот недостаток устраняется в схеме со смешанным возбуждением.

В этой схеме обмотка 1 включена параллельно, а обмотка 2 последовательно с цепью якоря. Увеличение тока нагрузки приводит к возрастанию магнитного потока возбуждения, что позволяет компенсировать падение напряжения на зажимах генератора.

