

МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

- Назначение, области применения и устройство машин постоянного тока
- Генераторы постоянного тока
- Двигатели постоянного тока

Назначение и области применения машин постоянного тока

Машины постоянного тока (МПТ) являются обратимыми, т. е. они могут работать в качестве генератора (*ГПТ*) или двигателя (*ДПТ*) без изменения схемы.

Широкое применение ДПТ обусловлено следующими причинами:

- возможность плавного регулирования частоты вращения вала
- хорошие пусковые свойства: большой пусковой момент при сравнительно небольшом пусковом токе.

ДПТ применяют в электротранспорте, в приводах прокатных станов, в системах автоматического регулирования и др. *ГПТ* используют в качестве возбудителей для питания обмоток возбуждения мощных синхронных машин, цеховых сетей постоянного тока, в частности, для питания *ДПТ*, электромагнитов, для питания электролитических ванн, зарядки аккумуляторов, сварки, в качестве датчиков частоты вращения и др.

Машины постоянного тока унифицированы.

Выпускаются двигатели серий 2П и 4П в диапазоне мощностей от 0,37 до 12500 кВт, частот вращения от 32 до 4000 об/мин, крановые серии Д на напряжения 220 и 440 В; генераторы серий 2ПН на напряжения 115, 230 и 460 В мощностью от 0,37 до 180 кВт с КПД = 0,6...0,9.

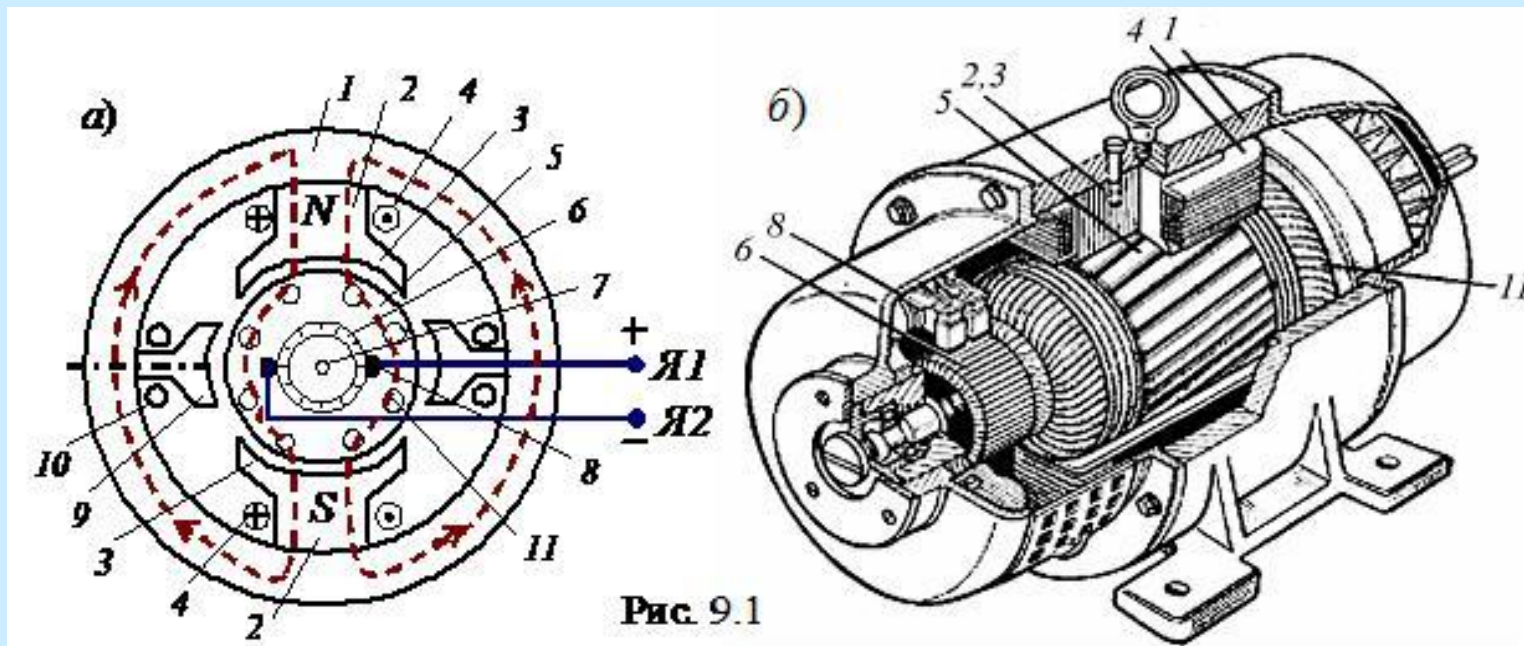
Кроме того, выпускаются универсальные коллекторные двигатели (серий УЛ, УМТ, МУН), работающие от сети как постоянного, так и переменного тока. Универсальные машины находят применение в бытовой и специальной технике, как исполнительные двигатели.

Машины постоянного тока входят в состав автомобильного, судового, самолетного, ракетного и технологического электрооборудования.

Основной недостаток ***МПТ*** - наличие щёточно-коллекторного узла, который требует тщательного ухода в эксплуатации и снижает надёжность машин. Кроме того, для питания ***ДПТ*** требуются источники постоянного тока (***ГПТ*** или выпрямители).

Устройство машин постоянного тока

Основными частями *МПТ* (рис. 9.1) являются *статор (индуктор)* и *якорь*, отделённые друг от друга воздушным зазором (0,3...0,5 мм).



Устройство статора (индуктора)

Статор (индуктор) - это стальной цилиндр *1*, внутри которого крепятся главные полюса *2* с полюсными наконечниками *3*, образуя вместе с корпусом магнитопровод машины. Полюсные наконечники служат для равномерного распределения магнитной индукции в зазоре между полюсами статора-индуктора и якоря. На главных полюсах расположены последовательно соединённые катушки *обмотки возбуждения 4*, предназначенные для создания неподвижного магнитного потока $\Phi_{\text{в}}$ машины.

Концы *Ш1* и *Ш2* обмотки возбуждения (*ОВ*) выводят на клеммный щиток, расположенный на корпусе машины. Помимо основных полюсов внутри статора располагают дополнительные полюса *9* с обмотками *10*, которые служат для уменьшения искрения в скользящих контактах (между щётками и коллектором).

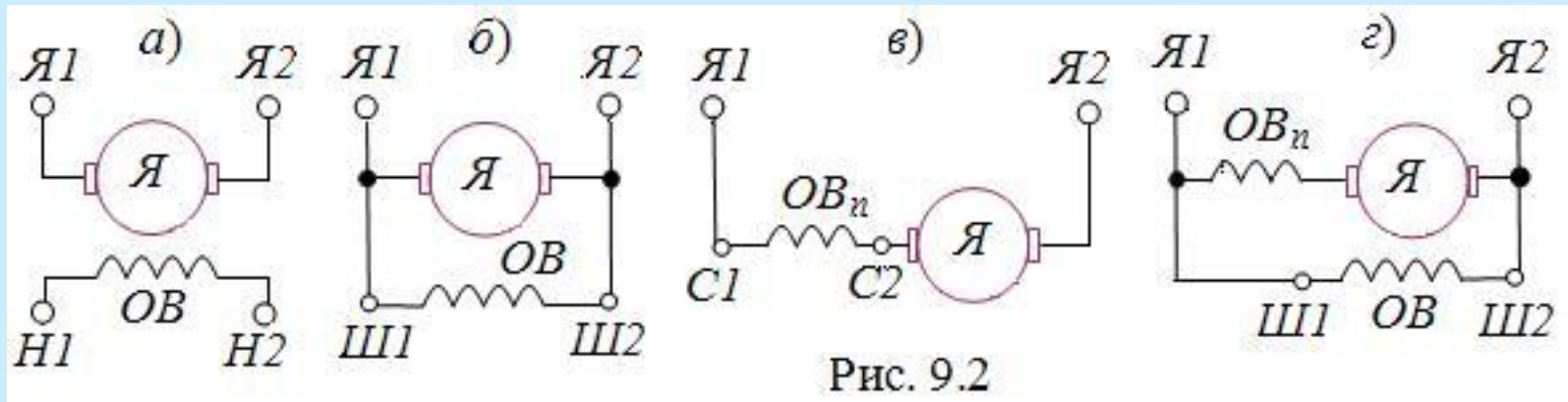
Устройство якоря

Якорь (подвижная часть машины) - это цилиндр 5, набранный из листов электротехнической стали, снаружи которого имеются пазы, в которые уложена **якорная обмотка 11**. Отводы обмотки якоря (**ОЯ**) припаивают к пластинам коллектора 6, расположенного на вращающемся в подшипниках валу 7.

Коллектор представляет собой цилиндр, набранный из медных пластин, изолированных друг от друга и от вала. Коллектор играет роль механического выпрямителя переменной ЭДС, индуктируемой в обмотке якоря. К коллектору с помощью пружин прижимаются неподвижные **медно-графитовые щётки 8**, соединённые с клеммами **Я1** и **Я2** щитка. Образовавшиеся скользящие контакты дают возможность соединить вращающуюся **ОЯ** с внешней электрической цепью (снять выпрямленное напряжение с коллектора (генераторный режим) или соединить якорную обмотку с источником постоянного напряжения и распределить токи в стержнях **ОЯ** таким образом, чтобы их направления под разноименными полюсами были бы противоположными (двигательный режим)). Суммарное сопротивление цепи якоря $R_{я} = 0,5 \dots 5 \text{ Ом}$.

Схемы возбуждения МПТ

В зависимости от того, как обмотка возбуждения включена относительно сети якоря, различают *МПТ независимого возбуждения* (ОВ к якорю не подключена) и *МПТ с самовозбуждением*, которое подразделяется на параллельное, последовательное и смешанное.



а) независимого, б) параллельного, в) последовательного и г) смешанного возбуждения МПТ

Принцип работы генератора постоянного тока

Генератор преобразует механическую энергию первичного двигателя в электрическую энергию.

Принцип работы ГПТ основан на явлении электромагнитной индукции. Если посредством первичного двигателя привести якорь машины во вращение с постоянной угловой частотой ω и подать постоянное напряжение в обмотку возбуждения статора, то в каждом стержне обмотки якоря будет наводиться ЭДС

$$e_1 = B_{cp} l v$$

Напряжение на зажимах обмотки якоря

$$U = E_{я} - R_{я}I_{я} = C_e\Phi\omega - R_{я}I_{я},$$

где $R_{я}$ и $I_{я}$ - сопротивление цепи и ток якоря.

Свойства ГПТ определяются их основными характеристиками:
холостого хода, внешней и регулировочной.

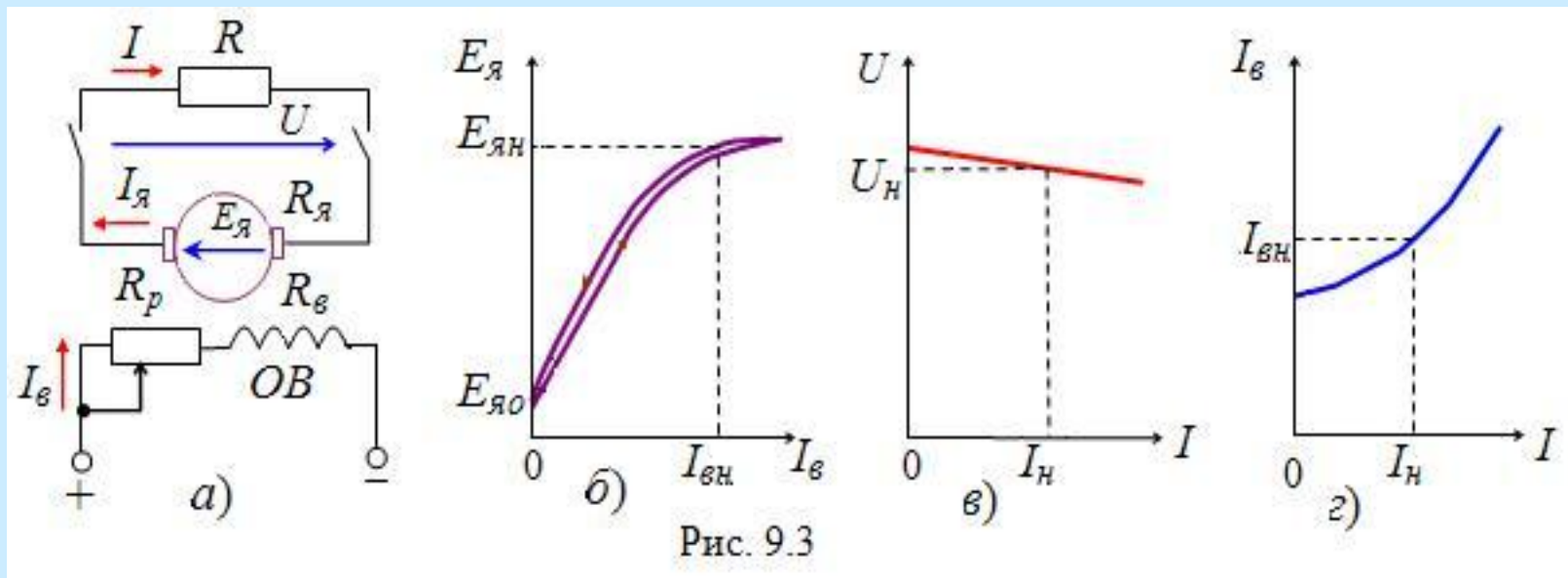
Характеристика холостого хода

$E_x = U_x = f(I_b)$ ($n = const$; $I = 0$) снимается при разомкнутой цепи приёмника и показывает, как нужно изменять ток возбуждения I_b посредством реостата R_p , чтобы получить те или иные значения ЭДС E_x генератора.

Внешняя характеристика $U = f(I)$, представляющая собой зависимость напряжения U на выводах генератора от тока нагрузки I при $n = const$ и $I_b = const$.

Регулировочной характеристикой называют характеристику $I_b = f(I)$ при $n = const$ и $U = const$. Она показывает, как следует изменять ток возбуждения, чтобы поддерживать постоянным напряжение U генератора при изменении нагрузки (тока I).

ГПТ независимого возбуждения и его характеристики



схема

характеристики:

холостого хода

внешняя

регулировочная

Принцип работы двигателей постоянного тока

В основе работы двигателя постоянного тока (ДПТ) - преобразователя электрической энергии в механическую, приводящую во вращения вал машины, лежит **закон Ампера**. Для создания вращающего момента постоянное напряжение U подводится одновременно к обмотке возбуждения ОВ (создающей магнитный поток Φ машины), и (посредством неподвижных щёток) к коллектору.

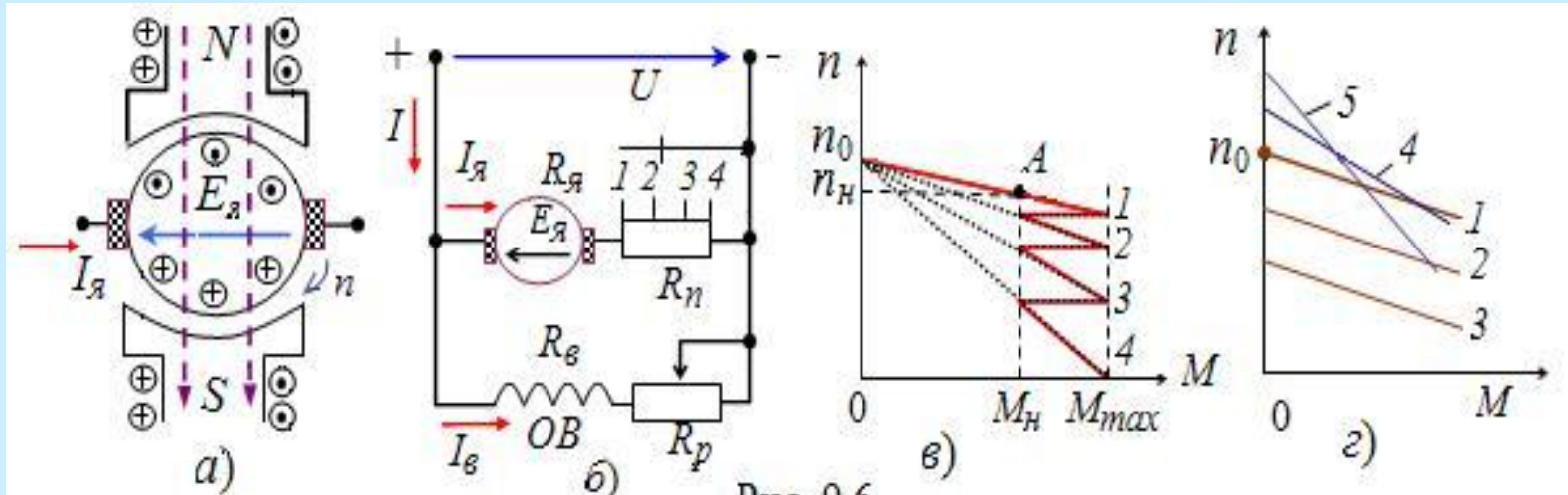


Рис. 9.6

Уравнение электрического равновесия для якорной обмотки выглядит следующим образом:

$$U = E_{\text{я}} + U_{\text{я}} I_{\text{я}},$$

где U - напряжение на зажимах якорной обмотки.

Умножив члены последнего уравнения на величину $I_{\text{я}}$, получим уравнение баланса мощностей цепи якоря ДПТ

$$P_{\text{э}} = U I_{\text{я}} = E_{\text{я}} I_{\text{я}} + R_{\text{я}} I_{\text{я}}^2,$$

которое показывает, что электрическая мощность $P_{\text{э}}$, подводимая к якорю двигателя из сети, преобразуется в электромагнитную мощность $P_{\text{эм}} = E_{\text{я}} I_{\text{я}} = M/\omega$ и мощность электрических потерь $P_{\text{я}} = R_{\text{я}} I_{\text{я}}^2$ в обмотке якоря.

Двигатели постоянного тока классифицируют по способу возбуждения: **независимое, параллельное (шунтовое), последовательное** (сериесное) и **смешанное** (сериесно-шунтовое или компаундное).

Двигатели постоянного тока (ДПТ) параллельного возбуждения

В этих двигателях обмотка возбуждения ОВ подключена параллельно с обмоткой якоря к сети (рис. 9.6, б).

В цепь обмотки возбуждения включен регулировочный реостат с сопротивлением R_p , а в цепь якоря - пусковой реостат с сопротивлением R_n .

Ток возбуждения не зависит от тока якоря I_a .

$$I_b = U / (R_b + R_p),$$

Ток якоря $I_a = (U - E_a) / R_a$

В начальный момент пуска ДПТ частота вращения якоря $n = 0$, по-этому противо-ЭДС $Eя = 0$ и ток $I_я$ недопустимо увеличивается.

Чтобы ограничить недопустимо большой пусковой ток в обмотке якоря и, как следствие, возникающий рывок или удар на валу и искрение в контактах щётки-коллектор, последовательно с якорем включают пусковой реостат $Rп$ (рис. 9.6, б), сопротивление которого рассчитывают из условия, чтобы пусковой ток $Iяп = U/(Rя + Rп) < (2...2,5)Iян$,

где $Iян$ - номинальный ток якоря.

При этом двигатель развивает достаточно большой пусковой момент $Mп = (2...4)Mн$. Это обеспечивает быстрый разгон механизма на валу. По мере разгона двигателя ЭДС якоря $Eя$ увеличивается и сопротивление пускового реостата необходимо уменьшить до нуля, т. е. при $n = n_н$, $Rп = 0$.

Электромеханические свойства *ДПТ* определяются его *скоростной* $n(I_{\text{я}})$ или механической $n(M)$ характеристиками.

Скоростная характеристика представляет зависимость частоты вращения n от тока якоря $I_{\text{я}}$ при $U = \text{const}$ и $I_{\text{в}} = \text{const}$.

Уравнение *естественной скоростной* характеристики получают из рассмотренного выше выражения тока якоря, решив его относительно частоты вращения,

$$n = (U - R_{\text{я}}I_{\text{я}})/(CE\Phi_{\text{в}}) = (U/CE\Phi_{\text{в}}) - (R_{\text{я}}/CE\Phi_{\text{в}})I_{\text{я}}.$$

Механическая характеристика $n(M)$ представляет зависимость частоты вращения якоря n от развиваемого ДПТ момента $M = Mc$ при условии постоянства напряжения U сети и сопротивлений в цепи якоря и в цепи возбуждения.

Заменяв ток $Iя$ в выражении скоростной характеристики значением из выражения вращающего момента $M = CM Iя \Phiв$, получим уравнение естественной механической характеристики

$$n = (U/CE\Phiв) - (Rя/CECM\Phiв^2)M = n_0 - n,$$

где $n_0 = U/CE\Phiв$ - частота вращения якоря при "идеальном" холостом ходе ($Mc = 0$); сопротивления $Rн = 0$ и $Rр = 0$; напряжение на якоре $U = Un$ и магнитный поток двигателя $\Phiв = \Phiвн$.

Естественная механическая характеристика $n(M)$ ДПТ параллельного возбуждения является жесткой, т. к. снижение частоты вращения n при моменте сопротивления на валу $M = M_{сн}$ составляет (3...7)% от n_0 .

Если сопротивление пускового реостата $R_p > 0$ ($R_p = 0$), получают искусственные, т. н. реостатные механические характеристики 2...4 (рис. 9.6, в), проходящие через точку n_0 - частоту вращения ХХ двигателя. Чем больше сопротивление R_p , тем характеристика круче.

Пуск ДПТ

Прямой пуск двигателя ($R_n = 0$) применяют только для двигателей малой мощности (до 1 кВт), у которых сопротивление якорной цепи относительно велико и обмотка якоря не успевает нагреться.

Пуск двигателя с использованием пускового реостата называют реостатным. Перед пуском для получения максимального пускового момента при допустимом пусковом токе регулировочный реостат в обмотке возбуждения полностью выводят ($R_p = 0$) (при этом магнитный поток Φ_v имеет максимальное значение), а рукоятку переключателя пускового реостата устанавливают в положение 4 при наличии трёх ступеней реостата, (рис. 9.6, б), при котором сопротивление R_n имеет максимальное значение. В начальный период пуск осуществляется по реостатной характеристике 4 (рис. 9.6, в); при этом двигатель развивает максимальный пусковой момент.

По мере разгона сопротивление пускового реостата R_n ступенчато уменьшают; разгон двигателя осуществляется по отдельным отрезкам реостатных характеристик 4, 3 и 2 (см. жирные линии на рис. 9.6, в). При полностью выведенном сопротивлении R_n и достижении значения $M = M_n$ частота вращения n якоря устанавливается на естественной механической характеристике 1 (точка А).

Безреостатный пуск при пониженном напряжении

При пуске двигателей большой мощности использование пускового реостата (из-за его громоздкости и значительных потерь энергии) становится неэффективным. В этом случае применяют безреостатный пуск при пониженном напряжении, подводимом к цепи якоря.

Получаемые (при условии, что $R_n = 0$ и $R_p = 0$) искусственные механические характеристики имеют вид 2 и 3 (рис. 9.6, г) и проходят параллельно естественной 1 и тем ниже, чем меньше величина напряжения U .

Способы регулирования частоты вращения и реверсирование ДПТ параллельного возбуждения

Из рассмотрения механических характеристик двигателя следует, что при моменте $M = M_c = const$ частоту вращения якоря

$$n = U / (C E \Phi \omega) - ((R_{я} + R_n) / (C E C M \Phi \omega^2)) M = n_0 - n$$

можно регулировать тремя способами:

- **реостатным** - изменением сопротивления цепи якоря ($R_{я} + R_n = var$);
- **полюсным** - изменением магнитного потока полюсов ($R_{в} + R_p = var$);
- **якорным** - изменением напряжения, подводимого к якорю ($U = var$).

Реверсирование двигателей можно обеспечить изменением направления тока или в обмотке якоря, или в обмотке возбуждения