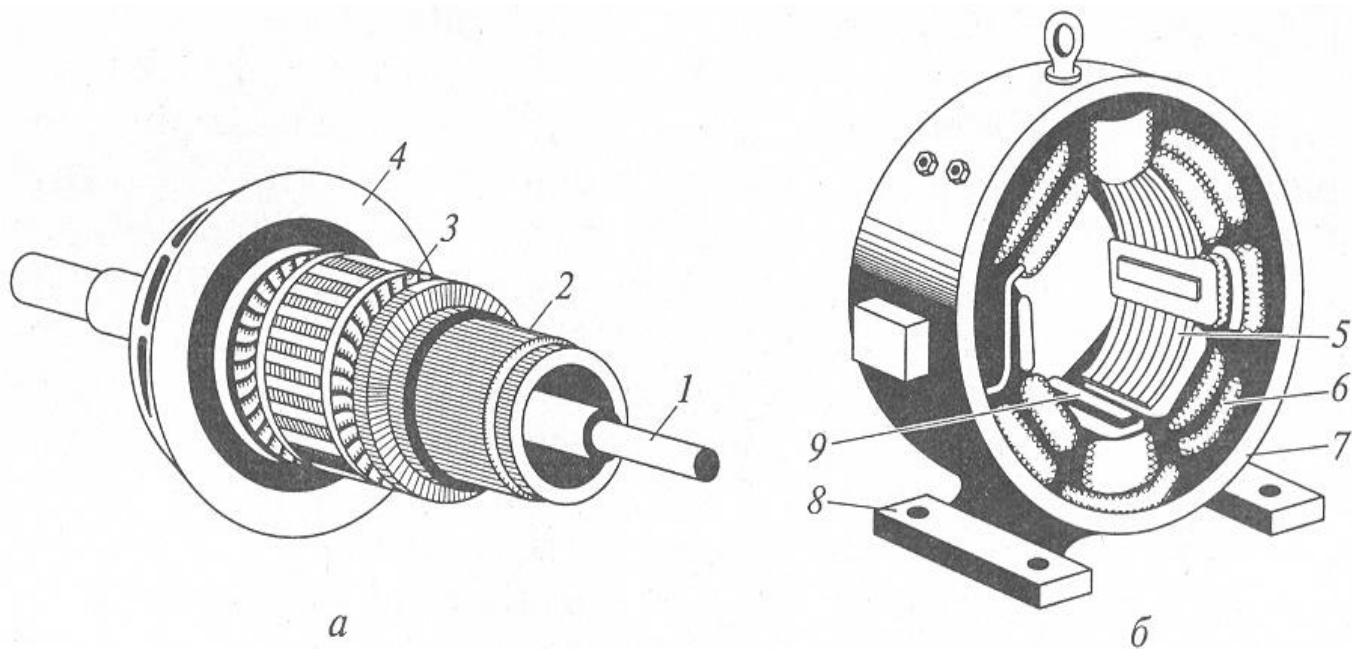




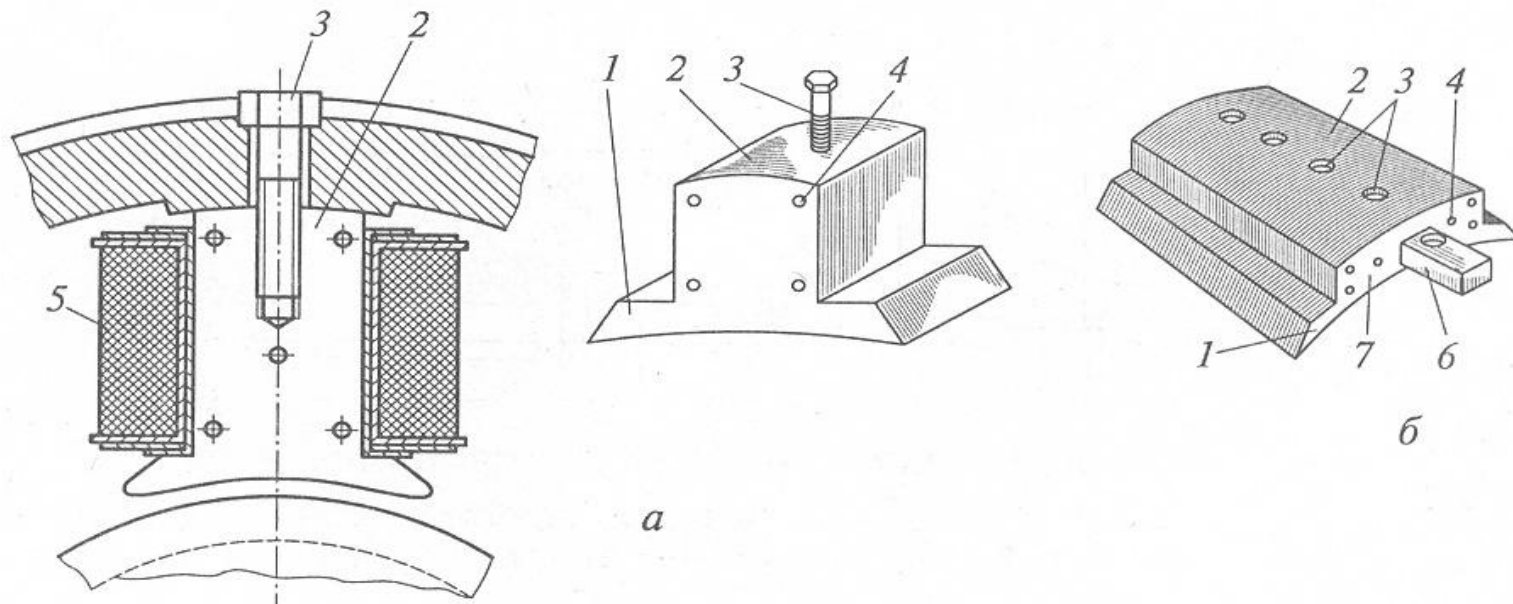
МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Конструкция машин постоянного тока



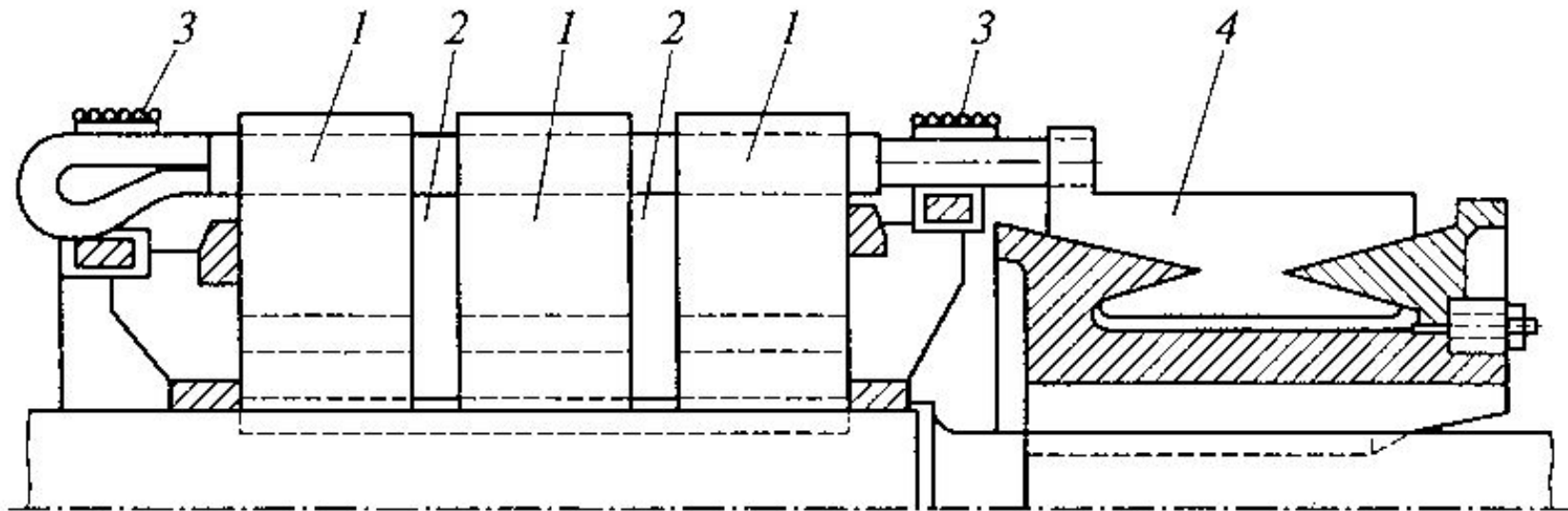
Конструкция машины постоянного тока: 1 – вал, 2 – задний подшипниковый щит, 3 – коллектор, 4 – щетки, 5 – якорь, 6 – главные полюсы, 7 – обмотка возбуждения, 8 – станина, 9 – передний подшипниковый щит, 10 – вентилятор, 11 – лапы, 12 – подшипники

Конструкция машин постоянного тока



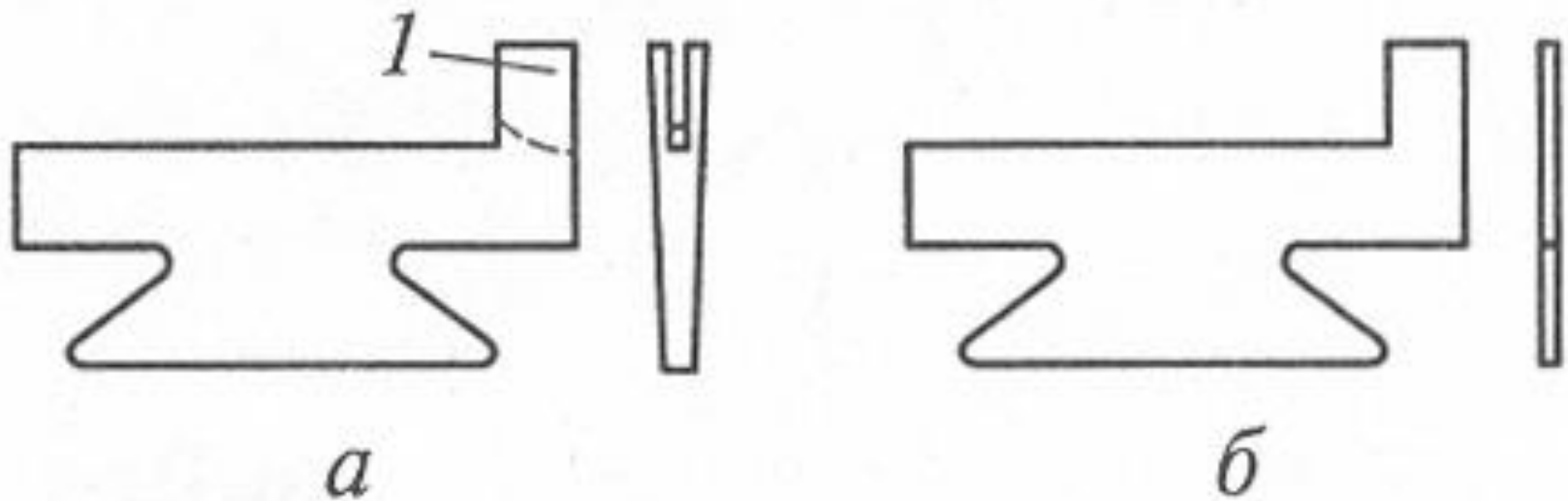
Крепление главных полюсов машины постоянного тока с помощью болтов, ввернутых в полюс (а), и с помощью болтов, ввернутых в массивный стержень (б): 1 – полюсный наконечник, 2 – сердечник полюса, 3 - болт, 4 – заклепка, 5 – катушка обмотки возбуждения, 6 – массивный стержень, 7 – крайние листы полюса

Конструкция машин постоянного тока



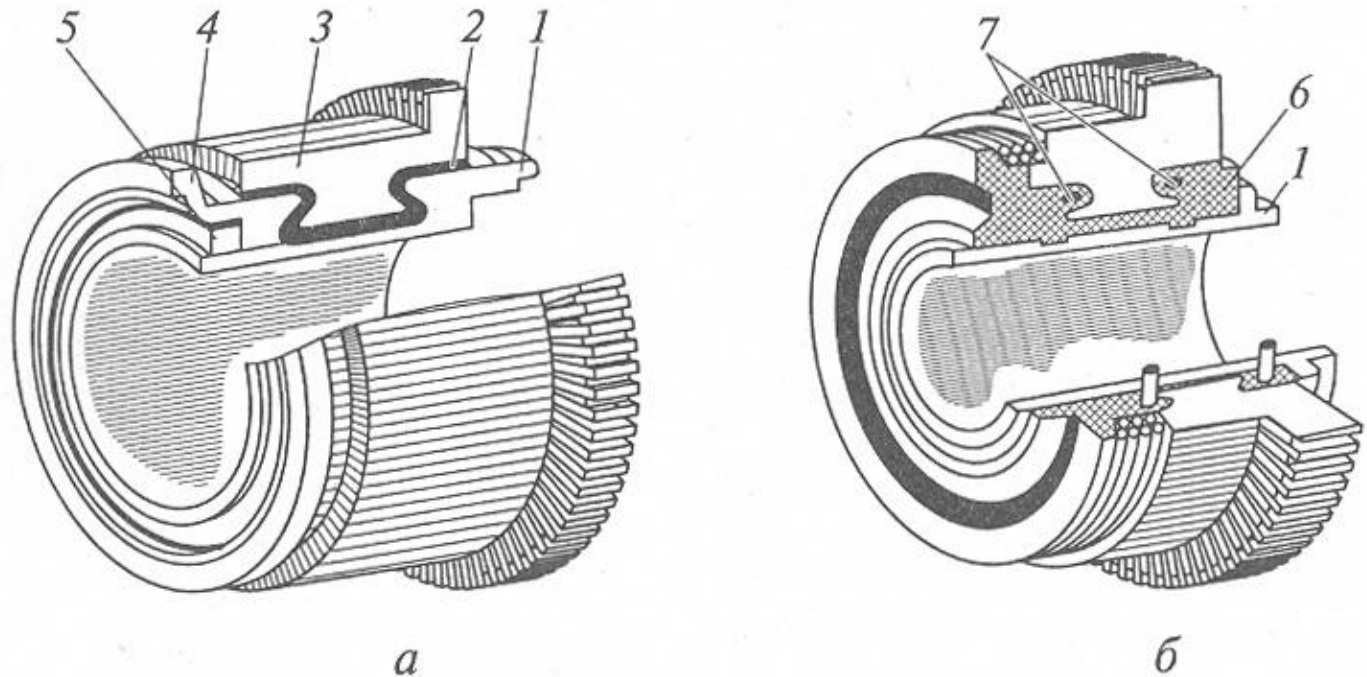
Конструкция многопакетного сердечника якоря: 1 – пакет сердечника, 2 – радиальный вентиляционный канал, 3 – бандаж лобовой части обмотки якоря, 4 – пластина коллектора

Конструкция машин постоянного тока



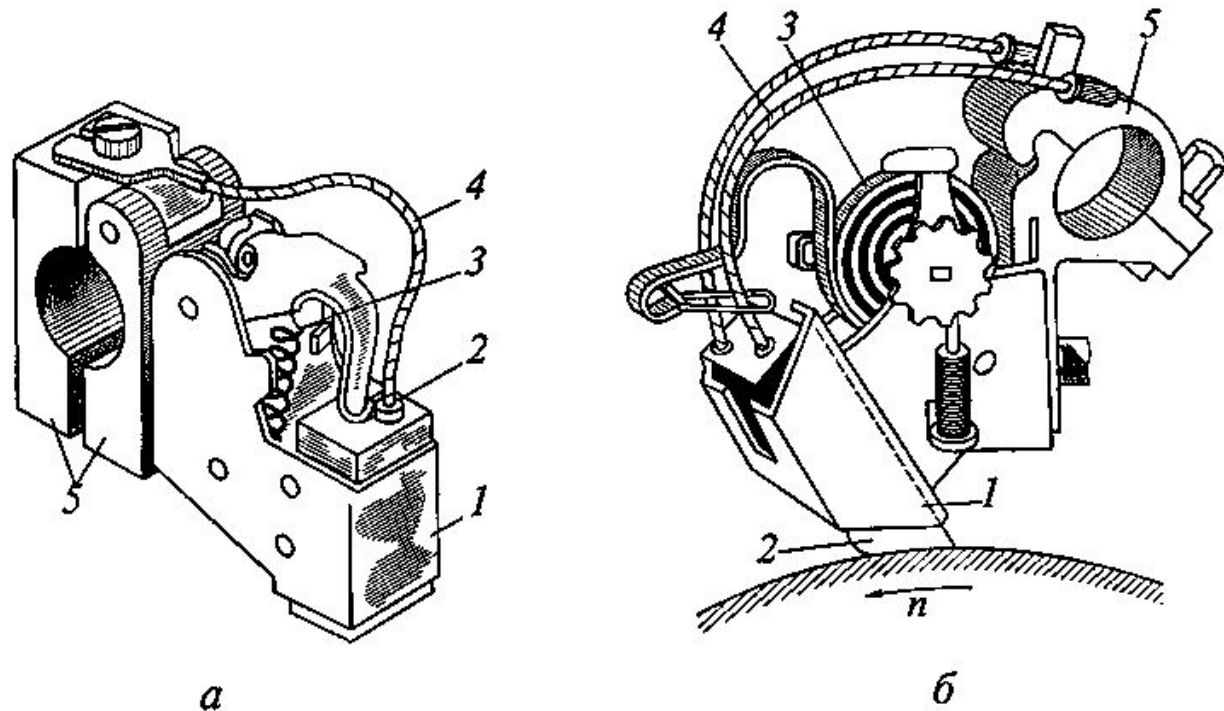
Медная (а) и изоляционная (б) пластины коллектора: 1 – выступ (петушок) коллекторной пластины

Конструкция машин постоянного тока



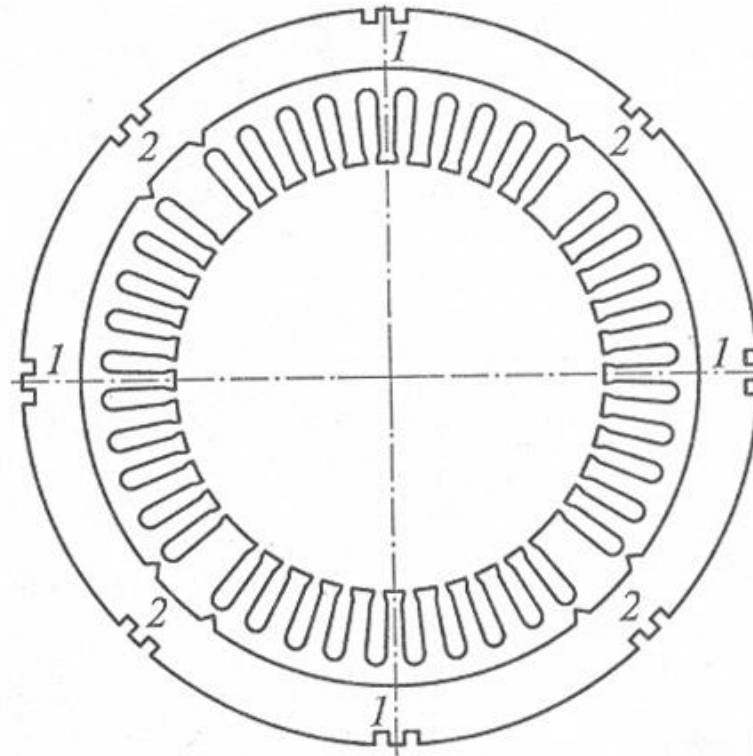
Устройство коллекторов на стальной втулке (а) и на пластмассе (б): 1 – стальная втулка, 2 – миканитовые изоляционные манжеты, 3 - коллекторные пластины, 4 – нажимной фланец, 5 - контргайка, 6 - пластмасса, 7 - стальные бандажи

Конструкция машин постоянного тока



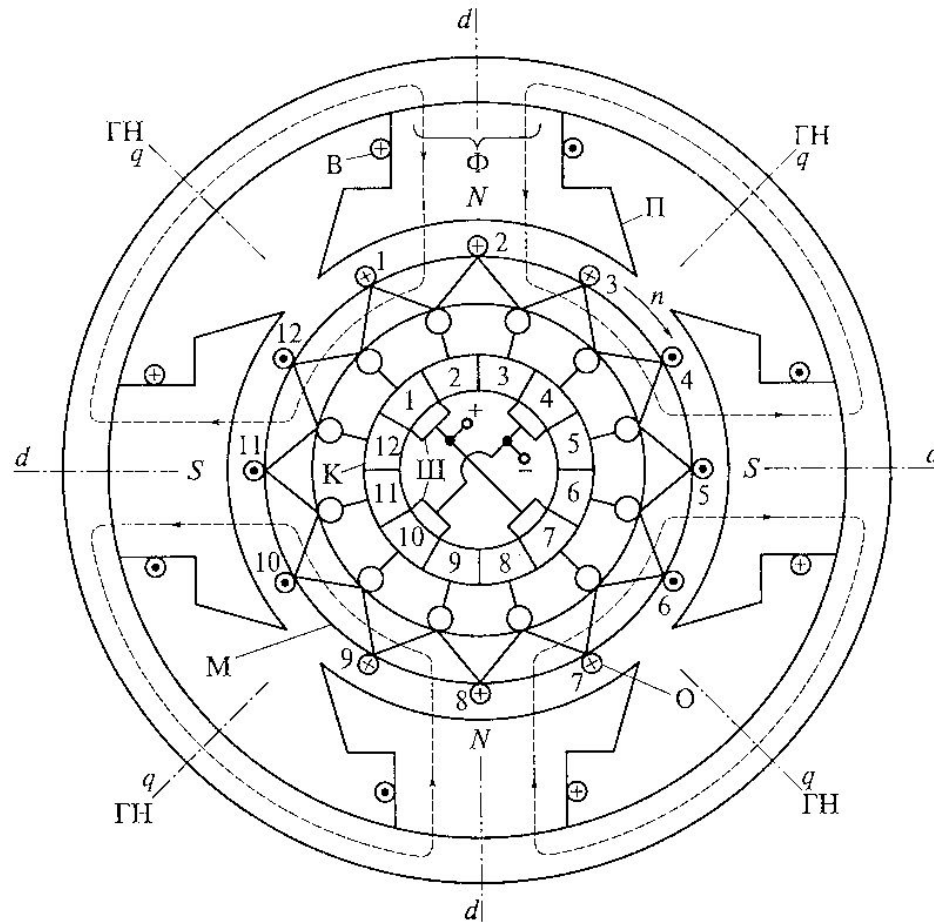
Устройство щеткодержателей с радиальным (а) и наклонным (б) расположением щеток: 1 – щеткодержатель, 2 – щетка, 3 – пружина, 4 – электрический вывод, 5 – колодки

Конструкция машин постоянного тока



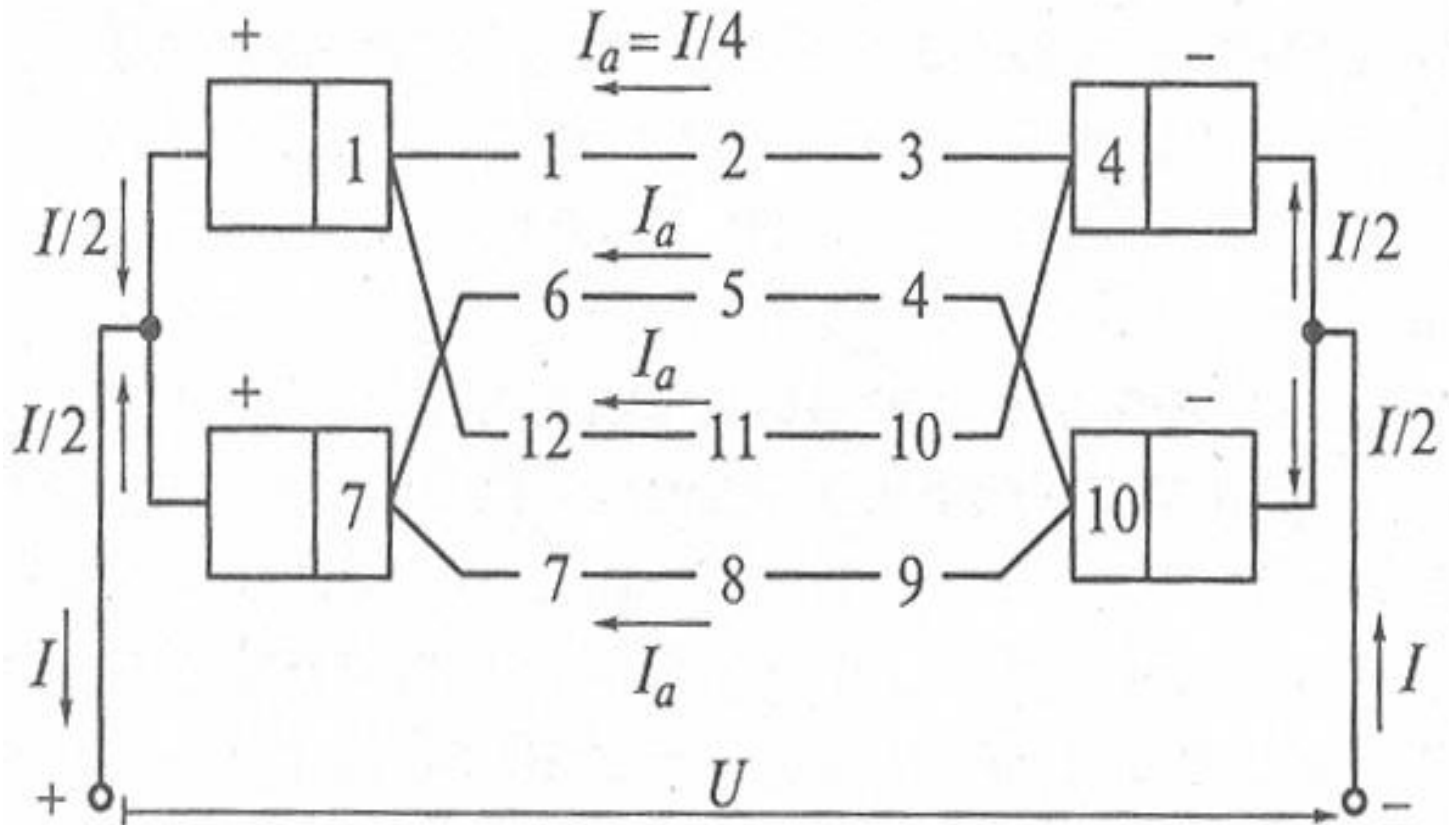
Лист неявнополюсного шихтованного магнитопровода статора с распределенными обмотками: 1 – пазы для обмотки возбуждения и компенсационной обмотки, 2 – пазы для обмотки дополнительных полюсов

Принцип работы



Принципиальная схема машины постоянного тока с кольцевой обмоткой якоря

Принцип работы



Электрическая схема якорной цепи

Принцип работы

Если машина работает в режиме двигателя, то к щеткам подводится постоянный ток. Коллектор в этом случае преобразует постоянный ток внешней сети в переменный ток, протекающий по обмотке якоря, т.е. является инвертором.

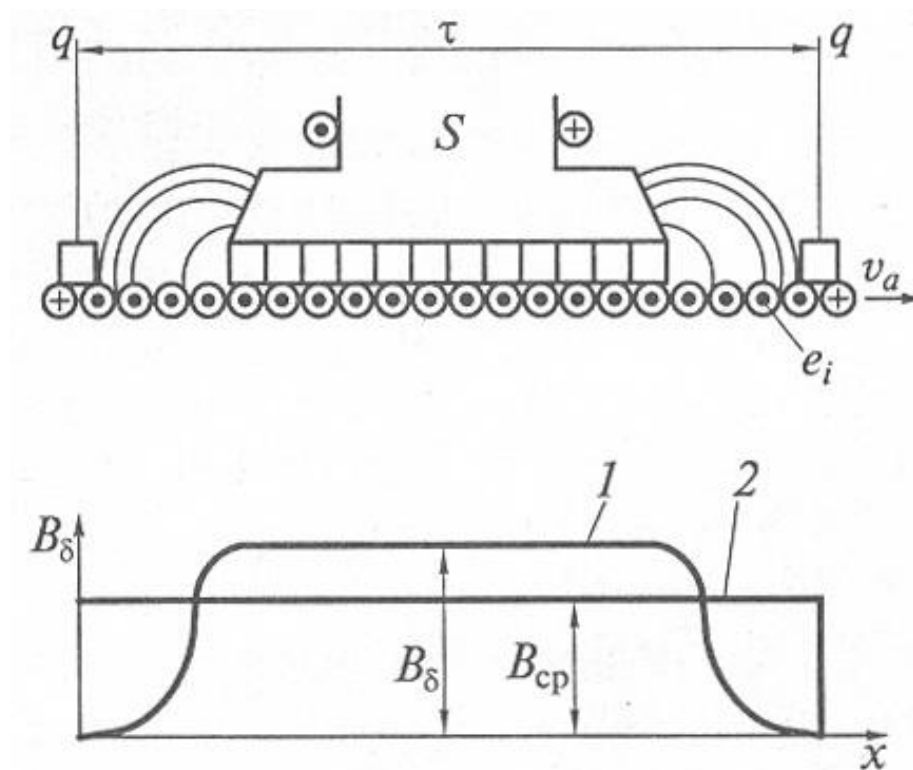
Если машина работает в режиме генератора, то переменная ЭДС обмотки выпрямляется с помощью коллектора, т.е. коллектор является выпрямителем.

ЭДС обмотки якоря и электромагнитный момент

При холостом ходе машины, когда ток в якоре I_a равен нулю, магнитный поток создается только обмоткой возбуждения. Поскольку воздушный зазор между якорем и полюсным наконечником мал, то большая часть потока будет замыкаться под полюсным наконечником.

В этом случае магнитная индукция под полюсным наконечником постоянна, а в межполюсном пространстве она будет резко уменьшаться и на геометрической нейтрали (поперечная ось q) будет равна нулю.

ЭДС обмотки якоря и электромагнитный момент



Распределение магнитного поля в воздушном зазоре машины постоянного тока при холостом ходе: 1 – реальное распределение индукции, 2 – среднее значение индукции

ЭДС обмотки якоря и электромагнитный момент

Пусть i -й проводник обмотки якоря (всего в обмотке якоря N последовательно соединенных проводников) имеет активную длину l_{δ} и вращается в магнитном поле с окружной скоростью v_a . Тогда наводимая в нем ЭДС будет равна

$$e_i = B_{\delta i} l_{\delta} v_a$$

ЭДС обмотки якоря и электромагнитный момент

ЭДС машины E равна ЭДС параллельной ветви, в которой расположены $N/(2a)$ последовательно соединенных проводника. Предполагая, что обмотка имеет диаметральный шаг $y_1 = \tau$, получим

$$E = \sum_{i=1}^{N/2a} e_i = l_a v_a \sum_{i=1}^{N/2a} B_{\delta i}.$$

Заменяем реальное распределение магнитной индукции (кривая 1) прямой 2, параллельной оси абсцисс и имеющей ординату $B_{\text{ср}}$, равную

$$B_{\text{ср}} = (1/\tau) \int_0^{\tau} B_{\delta}(x) dx.$$

ЭДС обмотки якоря и электромагнитный момент

Если представить линейную скорость v_a
в виде

$$v_a = \pi D_a \omega / 2\pi = 2r\tau \omega / 2\pi$$

и учесть, что магнитный поток полюса Φ
 $= B_{\text{ср}} \tau l_\delta$, то ЭДС машины можно записать в
виде:

$$E = pN/(2\pi a) \omega \Phi, \quad E = c\omega \Phi$$

ЭДС обмотки якоря и электромагнитный момент

При нагрузке машины по проводникам обмотки якоря протекает ток параллельной ветви $i_a = i/(2a)$, где i — сетевой ток машины. При взаимодействии тока i_a с магнитным полем возникает электромагнитная сила. При установке щеток на поперечной оси на все N проводников обмотки якоря эти силы будут действовать в одну сторону. Тогда сила, действующая на i -й проводник, и развиваемый ей момент будут равны

$$f_i = B_{\delta} i_a l_{\delta}, \quad m_i = \sum f_i D_a$$

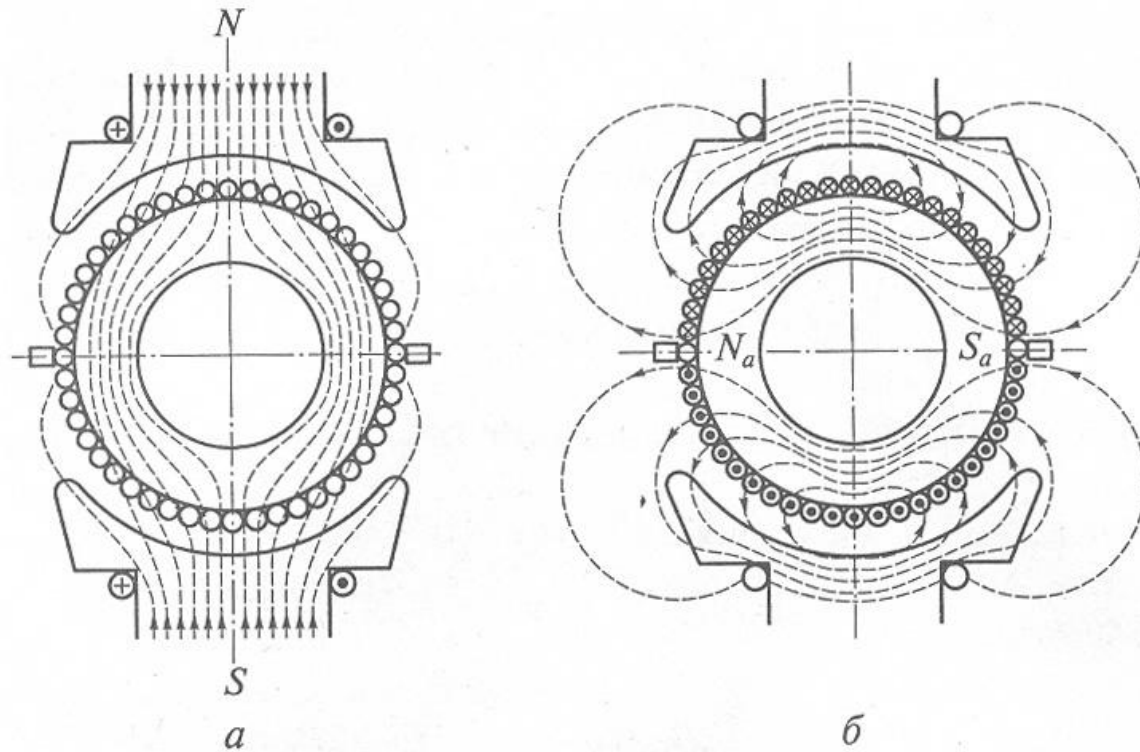
ЭДС обмотки якоря и электромагнитный момент

Так как длина l_δ всех проводников одинакова и через них протекает один и тот же ток i_a , то электромагнитный момент, развиваемый машиной, будет равен

$$M = \frac{1}{2} D_a \sum_1^N B_{\delta i} I_a l_\delta = \frac{1}{2} D_a I_a l_\delta \sum_1^N B_{\delta i}$$

$$M = (pN / 2\pi a) i_a \Phi = c i_a \Phi = c' i \Phi$$

Реакция якоря



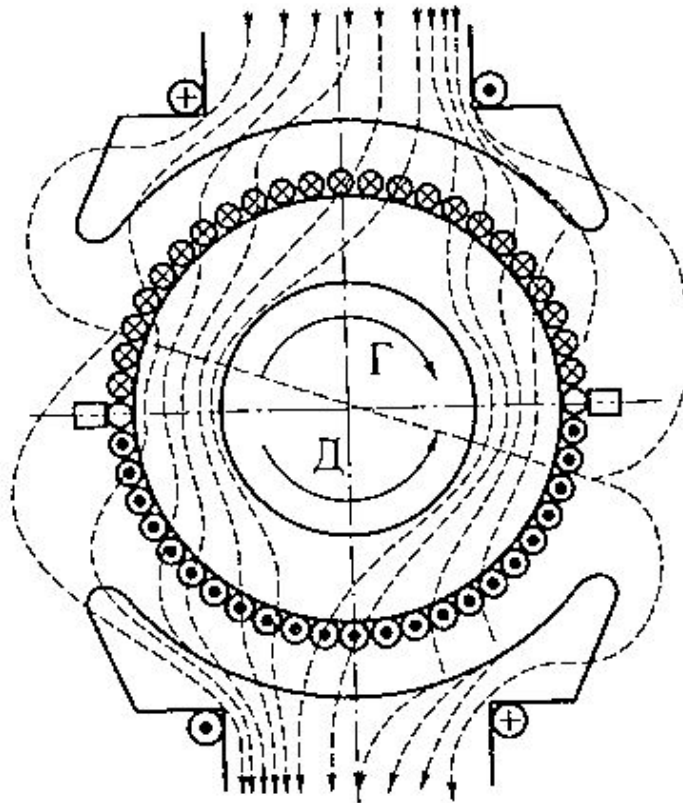
Поле возбуждения (а) и поле якоря (б) при установке щеток на геометрической нейтрали

Реакция якоря

Для того чтобы определить характер распределения поля в воздушном зазоре машины при нагрузке, найдем распределение МДС и индукции поперечного поля якоря. При расчетах обычно делают допущение, что проводники обмотки якоря равномерно распределены по его окружности. Через каждый из N проводников обмотки якоря протекает ток параллельной ветви $i_a = i/(2a)$. Тогда линейная нагрузка якоря A равна

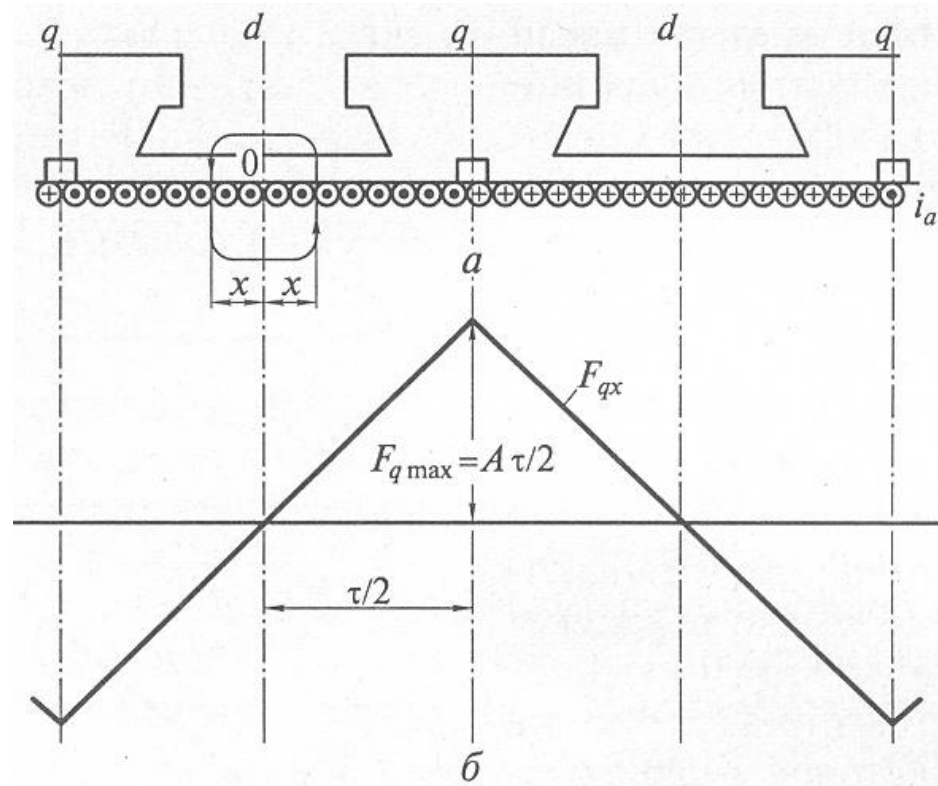
$$A = i_a N / (\pi D_a)$$

Реакция якоря



Распределение результирующего магнитного поля машины постоянного тока при нагрузке

Реакция якоря



Развернутые в линию статор и якорь (a) и распределение МДС якоря (b) вдоль воздушного зазора

Реакция якоря

Полный ток в пределах, охватываемых этой линией, равен $2xA = 2F_{qx}$, где F_{qx} - поперечная МДС якоря на один воздушный зазор. При $x = 0$ - $F_{qx} = 0$. С увеличением x поперечная МДС якоря возрастает, достигая максимального значения F_{qmax} на геометрической нейтрали (при $x = \pm\tau/2$):

$$F_{qmax} = \tau A/2$$

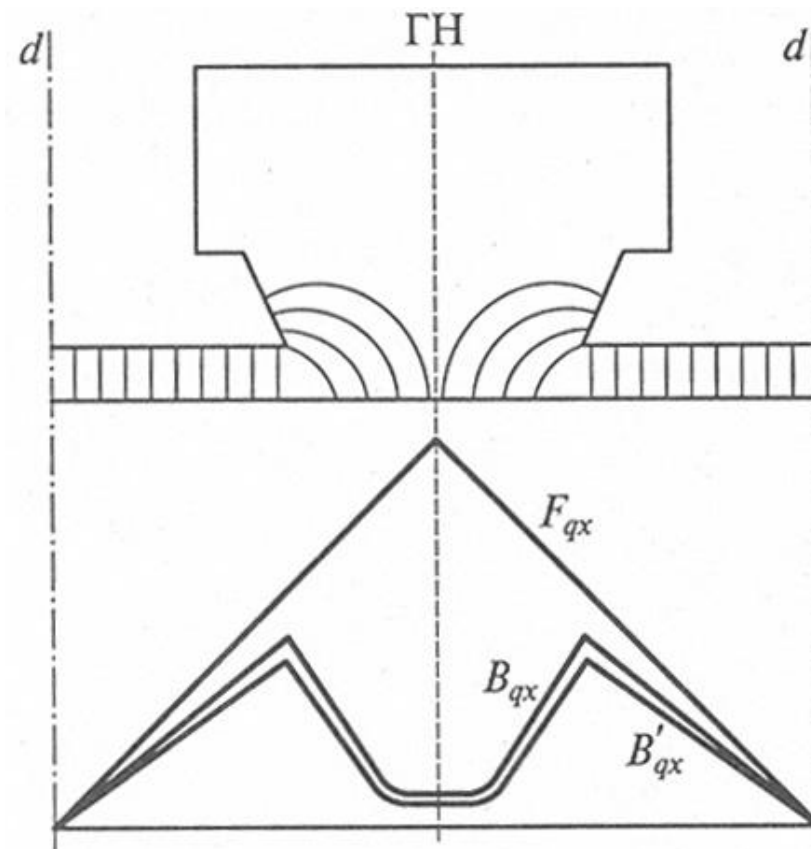
Реакция якоря

При $x > \tau/2$ МДС F_{qx} уменьшается, так как линия поля будет охватывать часть проводников с противоположным направлением тока.

Поперечную МДС якоря F_{qx} можно представить в виде двух составляющих, одна из которых ($F_{\delta x}$) равна магнитному напряжению воздушного зазора δ_x , а другая ($\sum F_{\text{стх}}$) - сумме магнитных напряжений ферромагнитных участков магнитной цепи:

$$F_{qx} = F_{\delta x} + \sum F_{\text{стх}}$$

Реакция якоря по поперечной оси

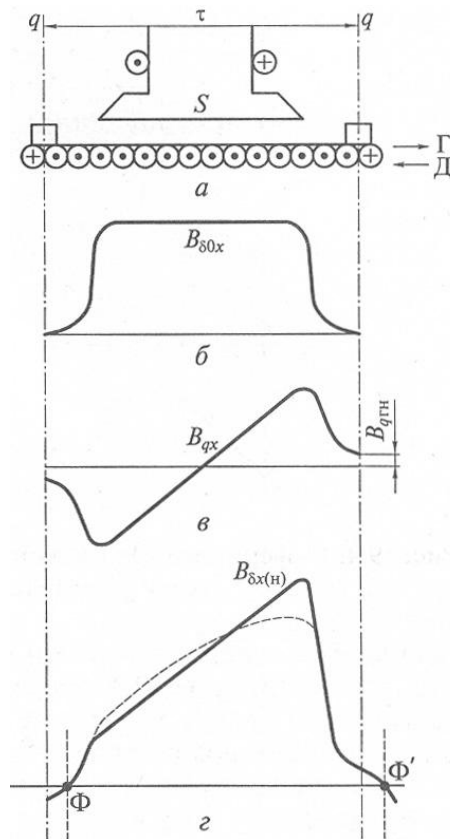


Распределение поперечного поля якоря в воздушном зазоре

Реакция якоря

В машине с ненасыщенной магнитной системой распределение результирующего магнитного поля в зазоре машины при нагрузке можно получить, применив принцип наложения, т. е. путем суммирования в каждой точке x кривых распределения индукции поперечного поля якоря B_{qx} и распределения индукции поля возбуждения $B_{\delta ox}$. В итоге получится кривая распределения результирующего магнитного поля в воздушном зазоре $B_{\delta x(n_2)}$.

Размагничивающее действие реакции якоря



Полюсное деление машины (а), распределение поля возбуждения (б), поля якоря (в) и результирующего поля (г) в воздушном зазоре

Физические основы коммутации

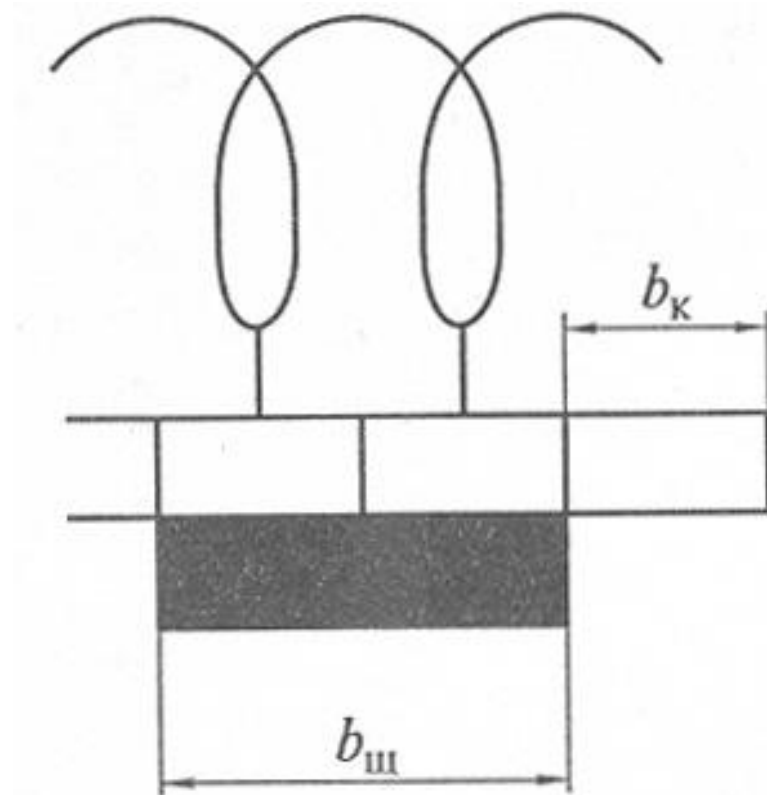
При вращении якоря коллекторные пластины поочередно входят в соприкосновение со щеткой. При этом секции, присоединенные к этим пластинам, замыкаются щеткой накоротко, а при дальнейшем перемещении якоря переходят в другую параллельную ветвь обмотки. При переходе секции из одной параллельной ветви в другую ток в ней меняет направление на противоположное. *Процесс переключения секции из одной параллельной ветви в другую носит название коммутации.* Секция, накоротко замкнутая щеткой, называется коммутируемой секцией, а время, в течение которого происходит это замыкание, — периодом коммутации.

Физические основы коммутации

Период коммутации T_k (с) зависит от ширины щетки $b_{щ}$ и окружной скорости коллектора $v_k = \pi D_k n / 60 = K b_k n / 60$. Для простой петлевой обмотки справедливо

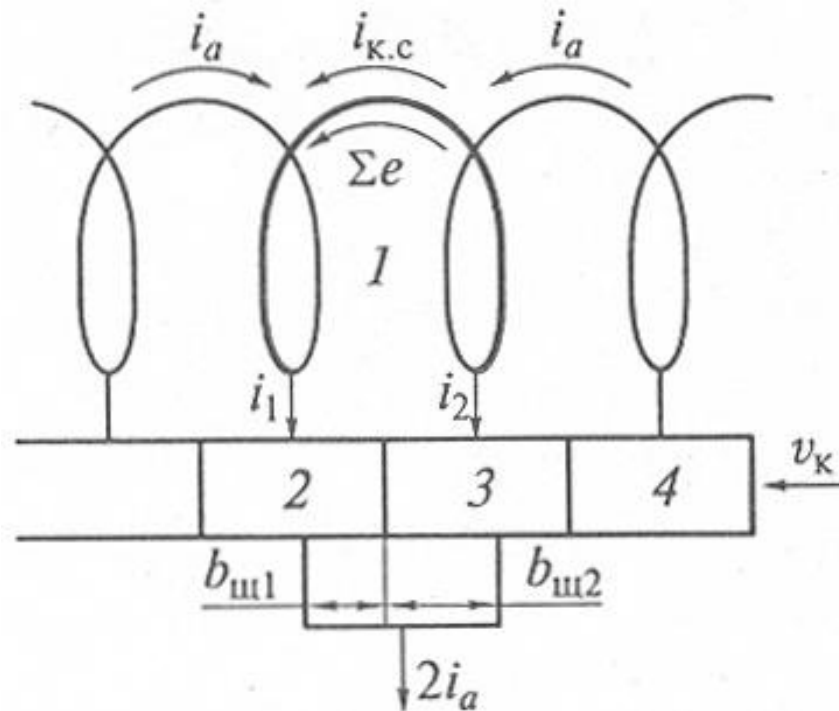
$$T_k = b_{щ} / v_k = 60 \beta_{щ} / (K n)$$

Физические основы коммутации



Коммутируемая секция простой петлевой обмотки

Физические основы коммутации



Расчетная схема для вывода закона изменения тока в коммутируемой секции:

1 – коммутируемая секция, 2 – 4 –
коллекторные пластины

Физические основы коммутации

Улучшение коммутации путем увеличения сопротивления коммутируемой секции. Сопротивление цепи коммутируемой секции состоит из сопротивления самой секции, сопротивления выводов секции, соединяющих ее с коллектором, и переходного сопротивления щеточного контакта. Сопротивления секции и выводов малы по сравнению с $r_{щ}$, а их увеличение приведет к росту электрических потерь и снижению КПД.

Физические основы коммутации

Улучшение коммутации путем уменьшения реактивной ЭДС. Этот метод в первую очередь относится к машинам, не имеющим дополнительных полюсов. Значение реактивной ЭДС может быть получено по формуле Пихельмайера:

$$e_p = 2w_s / \delta A v_a \xi$$

Физические основы коммутации

Улучшение коммутации путем создания коммутирующего поля в зоне коммутации. Наиболее целесообразным способом улучшения коммутации является компенсация реактивной ЭДС. Для этого в зоне, где располагаются проводники коммутируемых секций, необходимо создать такое магнитное поле, чтобы ЭДС вращения имела направление, противоположное направлению реактивной ЭДС и была бы равна или несколько превышала ее. Если $e_p - e_k = 0$, то в машине будет прямолинейная коммутация, а если $e_p - e_k < 0$, то коммутация будет носить ускоренный характер. Для того чтобы получить оптимальную ускоренную коммутацию, следует увеличить ЭДС e_k принять ее равной $e_k = (1,1 - 1,15) e_p$.

Физические основы коммутации

Создание коммутирующего поля с помощью дополнительных полюсов является наилучшим способом улучшения коммутации в машинах постоянного тока. В настоящее время дополнительные полюсы применяются во всех машинах мощностью 1 кВт и выше.

Физические основы коммутации

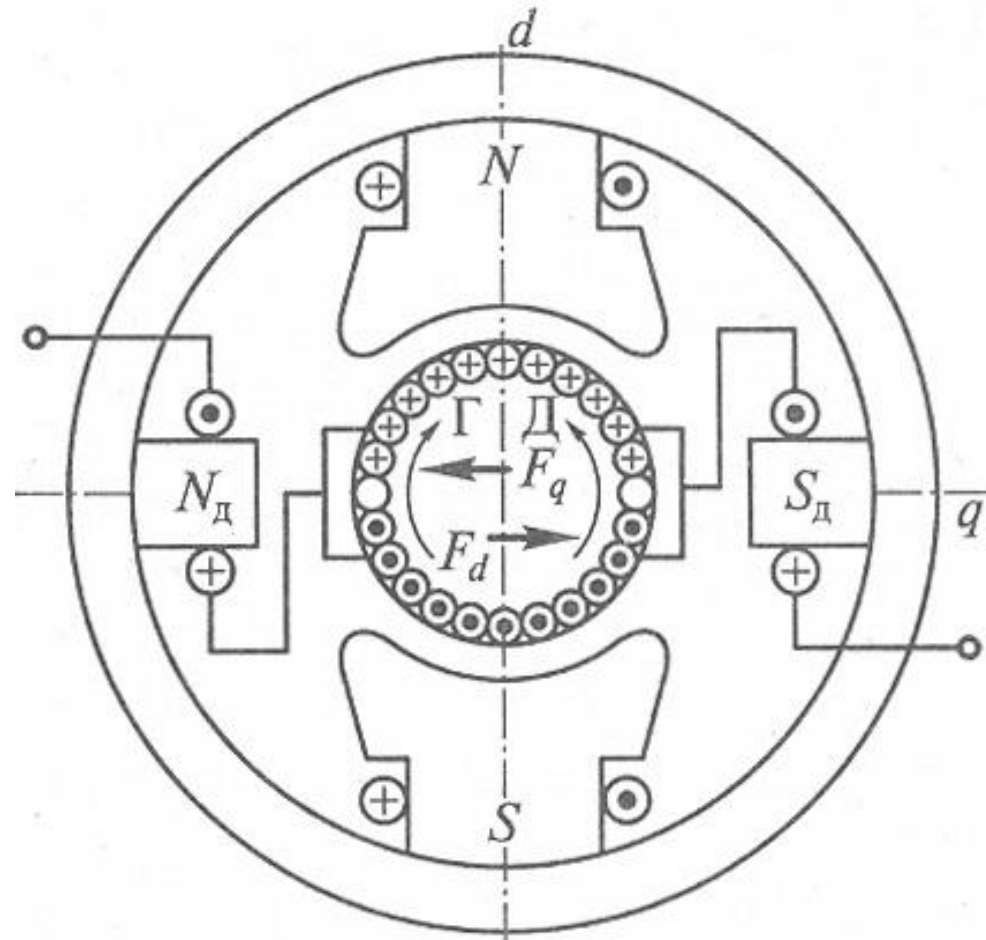


Схема установки дополнительных полюсов

Физические основы коммутации

Создание коммутирующего поля путем сдвига щеток. Сдвиг щеток с геометрической нейтрали для получения коммутирующего поля применяется в машинах, не имеющих дополнительных полюсов. Щетки сдвигаются с нейтрали таким образом, чтобы коммутируемые секции располагались за физической нейтралью, в зоне, где имеется поле главных полюсов. Щетки следует сдвигать с геометрической нейтрали по направлению вращения якоря у генераторов и против направления вращения — у двигателей.

Физические основы коммутации

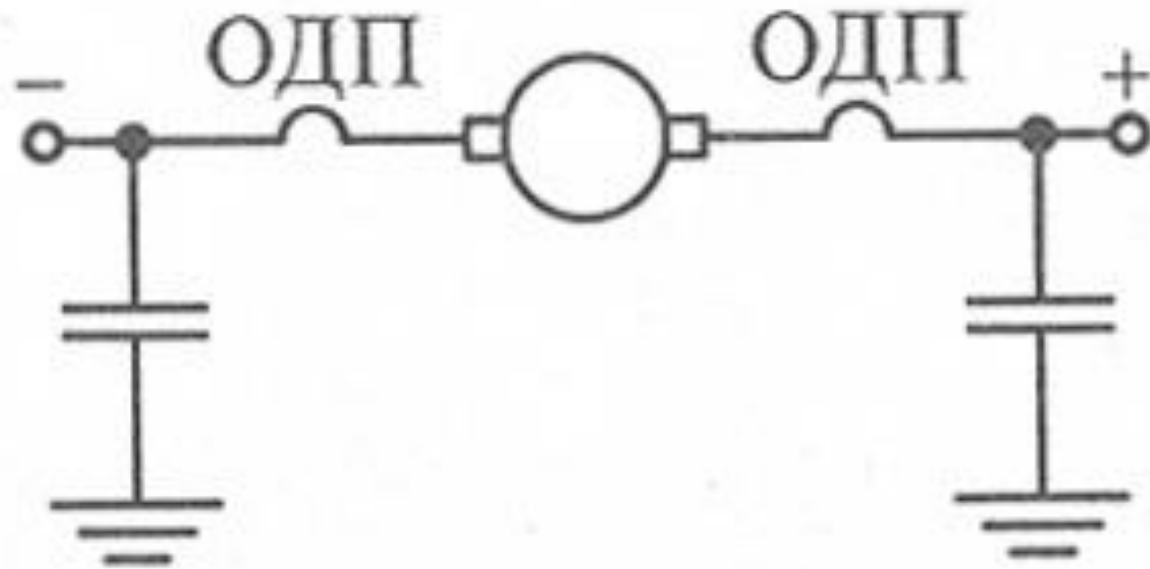


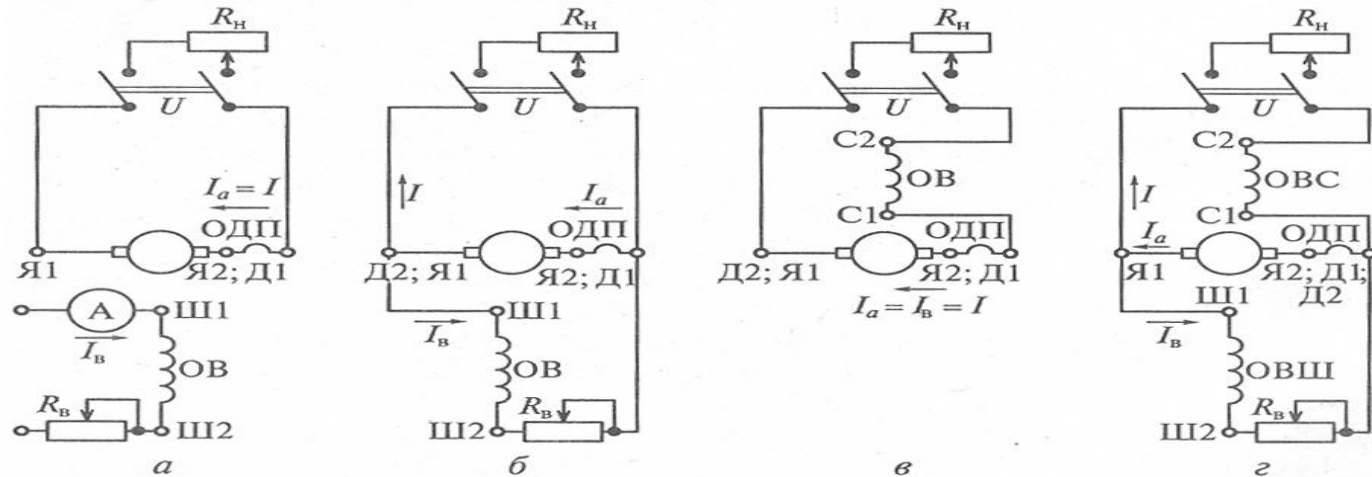
Схема включения обмотки дополнительных полюсов (ОДП) и конденсаторов для уменьшения радиопомех

Генераторы постоянного тока

Классификация генераторов постоянного тока производится по способу их возбуждения. Они подразделяются на генераторы с независимым возбуждением и с самовозбуждением.

Генераторы первого типа выполняются с электромагнитным или магнитоэлектрическим возбуждением. В генераторах с электромагнитным возбуждением обмотка возбуждения, расположенная на главных полюсах, подключается к независимому источнику питания.

Генераторы постоянного тока



Электрические схемы генераторов постоянного тока с электромагнитным возбуждением: *а* - независимое возбуждение, *б* - параллельное возбуждение, *в* - последовательное возбуждение, *г* - смешанное возбуждение; ОДП - обмотка добавочных полюсов, ОВ - обмотка возбуждения, ОВС - обмотка последовательного возбуждения (сериесная), ОВШ - обмотка параллельного возбуждения (шунтовая)

Генераторы постоянного тока

Уравнение равновесия напряжений для цепи якоря. Для режима генератора уравнение цепи якоря имеет вид

$$U = E - I_a \sum r_a - \Delta U_{\text{щ}}$$

Уравнение равновесия напряжений для цепи возбуждения. Для обмотки независимого напряжения справедливо

$$U_B = I_B \sum r_B$$

Для генераторов параллельного и смешанного возбуждения справедливо

$$U = I_B \sum r_B$$

Генераторы постоянного тока

Уравнение баланса токов (для генераторов параллельного и смешанного возбуждения)

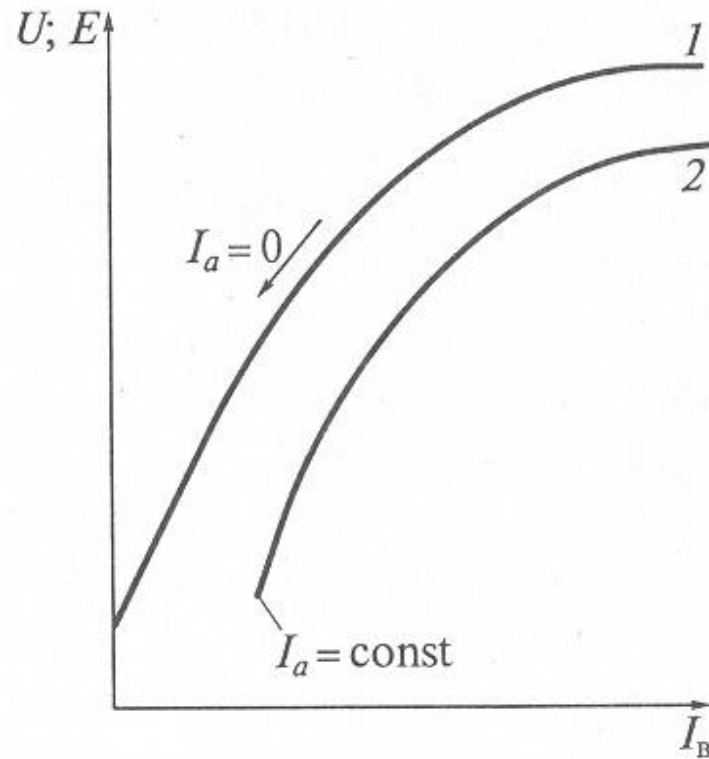
$$I_a = I_B + I$$

Рабочие свойства электрических машин определяются их характеристиками. Для генераторов постоянного тока основными являются характеристика холостого хода, нагрузочная, внешняя и регулировочная характеристики.

Генераторы постоянного тока

Нагрузочная характеристика представляет собой зависимость напряжения генератора от тока возбуждения $U = f(I_{\text{в}})$ при неизменном токе якоря $I_{\text{а}} = \text{const}$. Практическое значение этой характеристики заключается в возможности определить по ней размагничивающее действие реакции якоря и определить зависимость реакции якоря от насыщения магнитной цепи и тока якоря.

Генераторы постоянного тока

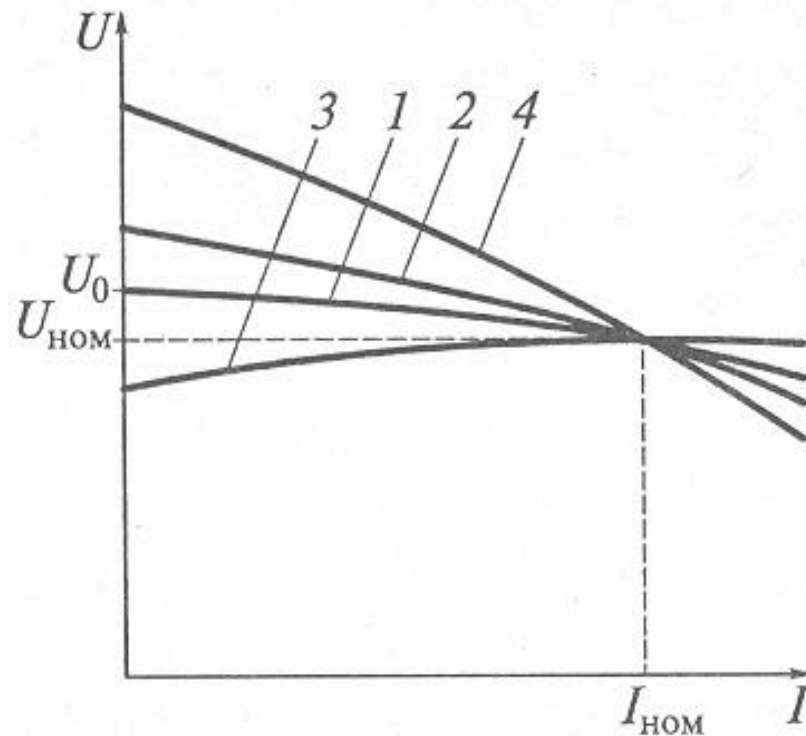


Характеристика холостого хода (1) и нагрузочная характеристика (2) генератора независимого возбуждения

Генераторы постоянного тока

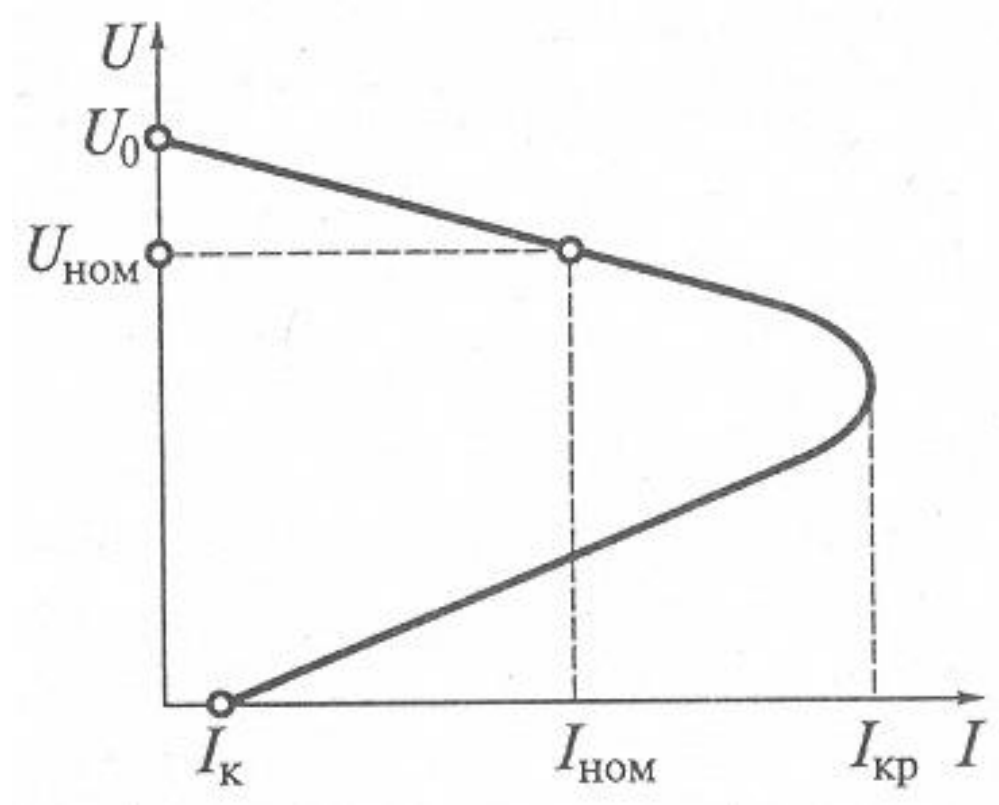
Внешняя характеристика представляет собой зависимость напряжения генератора от тока нагрузки $U = f(I)$ при постоянном токе возбуждения $I_{\text{в}} = \text{const}$ (для генератора с независимым возбуждением) или при постоянном сопротивлении цепи обмотки возбуждения $\sum r_{\text{в}} = \text{const}$ (для генераторов с самовозбуждением).

Генераторы постоянного тока



Внешние характеристики генератора постоянного тока с независимым (1), параллельным (2), смешанным согласным (3) и смешанным встречным (4) возбуждением

Генераторы постоянного тока

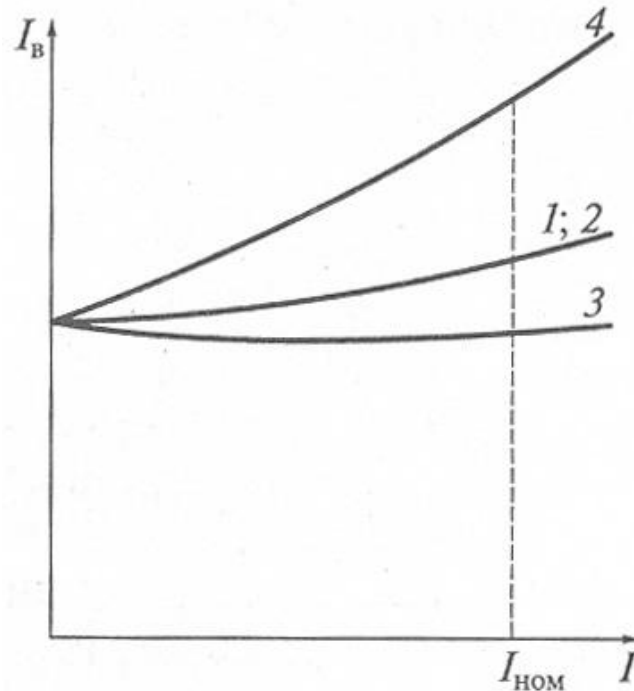


Внешняя характеристика генератора
параллельного возбуждения

Генераторы постоянного тока

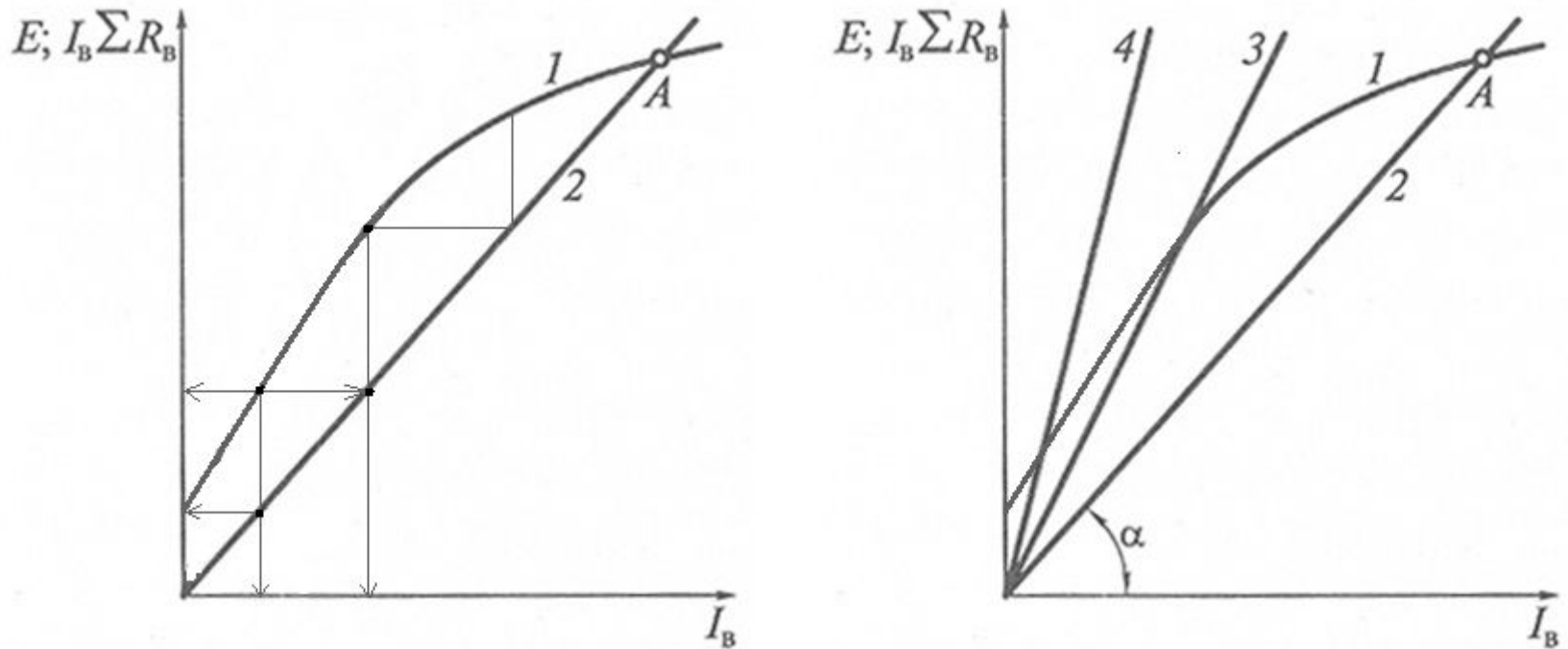
Регулировочная характеристика представляет зависимость тока возбуждения генератора от его тока нагрузки $I_{\text{в}} = f(I)$ при неизменном напряжении $U = U_{\text{ном}}$. Ее обычно снимают при увеличении нагрузки (первая точка характеристики соответствует режиму холостого хода, когда $I = 0$).

Генераторы постоянного тока



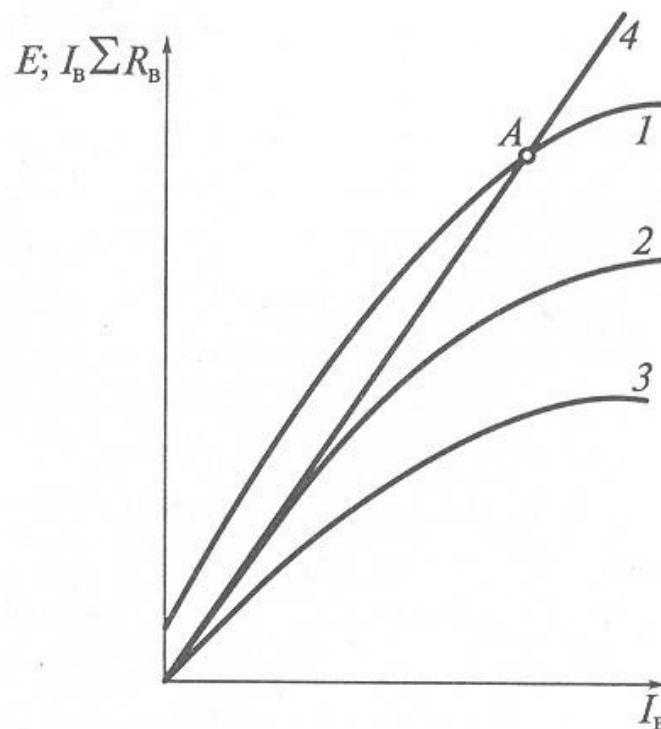
Регулировочные характеристики генератора постоянного тока с независимым (1), параллельным (2), смешанным согласным (3) и смешанным встречным (4) возбуждением

Условия самовозбуждения ГПТ с параллельным и смешанным возбуждением



Характеристика холостого хода (1) и характеристики цепи возбуждения (2 - 4) при постоянной частоте вращения генератора

Условия самовозбуждения ГПТ с параллельным и смешанным возбуждением



Характеристики холостого хода (1 - 3) и характеристика цепи возбуждения (4) при переменной частоте вращения генератора

Условия самовозбуждения ГПТ с параллельным и смешанным возбуждением

Для самовозбуждения генератора необходимо выполнение следующих условий:

1. В машине должен существовать остаточный магнитный поток.
2. Поток возбуждения должен быть направлен согласно с остаточным потоком.
3. Сопротивление цепи обмотки возбуждения должно быть меньше критического или частота вращения якоря должна быть больше критической.

Классификация двигателей постоянного тока

Как и генераторы, двигатели постоянного тока классифицируются по способу включения обмотки возбуждения. Различают двигатели независимого, параллельного, последовательного и смешанного возбуждения. Электрические схемы этих двигателей имеют такой же вид, как и схемы соответствующих генераторов. Отличие заключается в том, что ток якоря I_a в двигателях независимого и последовательного возбуждения равен току сетевому току I , а в двигателях параллельного и смешанного возбуждения из сети потребляется и ток возбуждения I_B .

Основные уравнения

Уравнение равновесия напряжений для цепи якоря. Для режима двигателя уравнение цепи якоря имеет вид:

$$U = E + I_a \sum r_a + \Delta U_{\text{щ}}$$

Упрощение уравнения производится также, как в генераторах

$$U = E + I_a \sum R_a$$

Уравнения равновесия напряжений для цепи возбуждения не отличаются от аналогичных уравнений для генератора.

Основные уравнения

Уравнение баланса токов (для двигателей параллельного и смешанного возбуждения):

$$I = I_a + I_b$$

Уравнение движения

$$J \cdot d\omega/dt = M - M_c$$

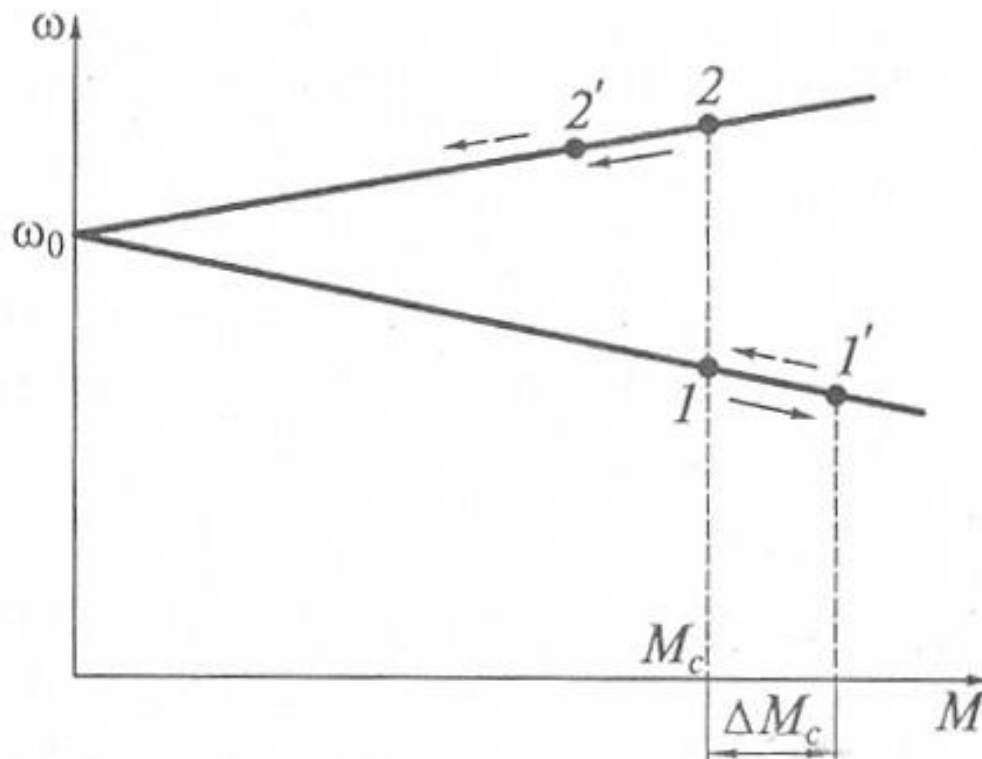
Уравнение частоты вращения двигателя

$$\omega = (U - I_a \sum R_a) / c\Phi$$

ИЛИ

$$n = (30/\pi) \omega = c_1 (U - I_a \sum R_a) / \Phi.$$

Условия устойчивой работы двигателей постоянного тока



Анализ устойчивости работы двигателя
постоянного тока

Способы и условия пуска двигателей постоянного тока

При пуске двигателя ($n = 0$) ЭДС, наводимая в обмотке якоря, равна нулю, а ток равен

$$I_{ап} = U / \sum R_a$$

Поскольку сопротивление цепи якоря $\sum R_a$ невелико, то при пуске с номинальным напряжением ($U = U_{ном}$) ток якоря в 10 — 50 раз будет превышать номинальное значение. Такой ток недопустим ни для щеток, ни для обмоток, ни для сети.

Способы и условия пуска двигателей постоянного тока

Кроме того, поскольку пропорционально росту тока возрастает электромагнитный момент двигателя, то большой момент может привести к поломке узла, соединяющего вал двигателя и приводимого механизма. По допустимым условиям работы коллекторно-щеточного узла пусковой ток ограничен - $I_{ап} \leq (2 - 2,5) I_{аном}$.

Способы и условия пуска двигателей постоянного тока

Поэтому *прямой пуск* (прямое включение в сеть) допускается только для двигателей малой мощности с относительно большим сопротивлением цепи якоря. Для более мощных двигателей необходимо уменьшать пусковой ток до указанных выше значений. Достигнуть этого можно или снижением подводимого напряжения, или включением последовательно с обмоткой якоря добавочного активного сопротивления (пускового реостата).

Способы и условия пуска двигателей постоянного тока

Пуск при пониженном напряжении можно осуществить, если двигатель подключен к отдельному регулируемому источнику постоянного тока. В этом случае напряжение источника при включении двигателя плавно увеличивают, что позволяет избежать больших толчков тока. Начальное напряжение при пуске выбирается так, чтобы в первый момент пуска ($n = 0$) ток в цепи якоря $I_{ап} \leq (2 - 2,5) I_{аном}$.

Способы и условия пуска двигателей постоянного тока

Пуск с помощью пускового реостата.
Максимальное значение сопротивления пускового реостата выбирается так, чтобы в первый момент пуска ($n = 0$) ток в цепи якоря $I_{ап} \leq (2 - 2,5) I_{аном}$. По мере разгона двигателя растет наводимая в его обмотке ЭДС, вследствие чего ток якоря будет уменьшаться. Поэтому по мере разгона двигателя сопротивление пускового реостата постепенно уменьшают, а когда частота вращения достигнет установившегося значения — выводят полностью ($R_{п} = 0$), поскольку пусковые реостаты по условиям охлаждения рассчитаны на кратковременное протекание тока.

Способы и условия пуска двигателей постоянного тока

Условия пуска двигателей независимого, параллельного и смешанного возбуждения.

Первым условием является ограничение пускового тока одним из двух рассмотренных способов.

Способы и условия пуска двигателей постоянного тока

Второе условие вытекает из требования минимального времени пуска. Для этого, как следует из уравнения движения, необходимо максимизировать пусковой момент. Увеличить пусковой момент $M_{\text{п}}$ при ограниченном значении тока $I_{\text{ап}}$ можно только за счет увеличения магнитного потока Φ . Поэтому вторым условием пуска является требование пуска при максимальном токе возбуждения. Для этого при пуске обмотку возбуждения включают на полное напряжение сети и полностью выводят регулировочный реостат $R_{\text{в}}$.

Способы и условия пуска двигателей постоянного тока

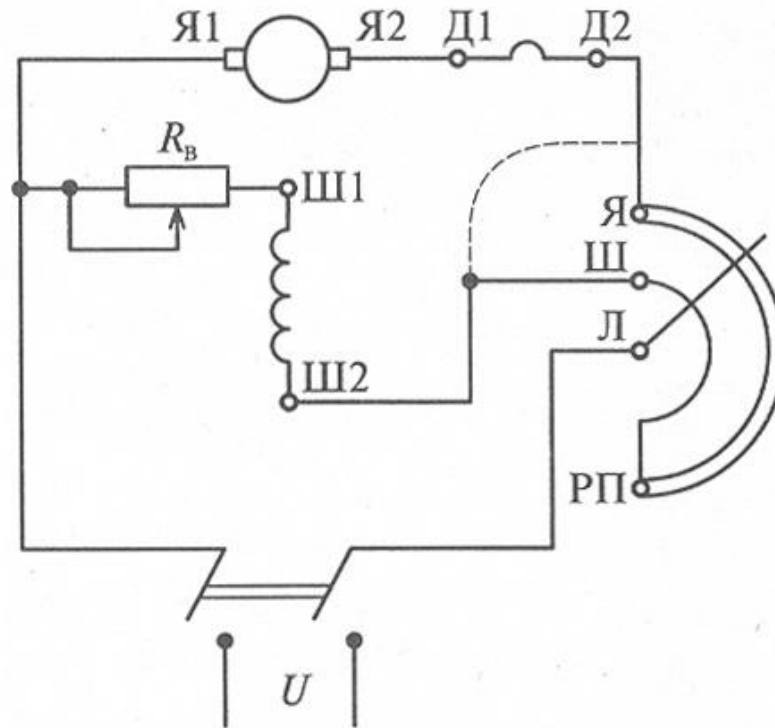


Схема включения пускового реостата РП для пуска двигателя параллельного возбуждения: Я, Ш, Л – выводы пускового реостата для подключения обмоток якоря и возбуждения, а также сети (линии)

Способы и условия пуска двигателей постоянного тока

Условия пуска двигателя последовательного возбуждения.

Первым условием является ограничение пускового тока одним из двух рассмотренных способов.

Второе условие пуска - запрещение пуска двигателя без нагрузки. Обычно пуск можно проводить, если $M_c \geq (20 - 30)\% M_{\text{ном}}$.

Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока

Частота вращения равна

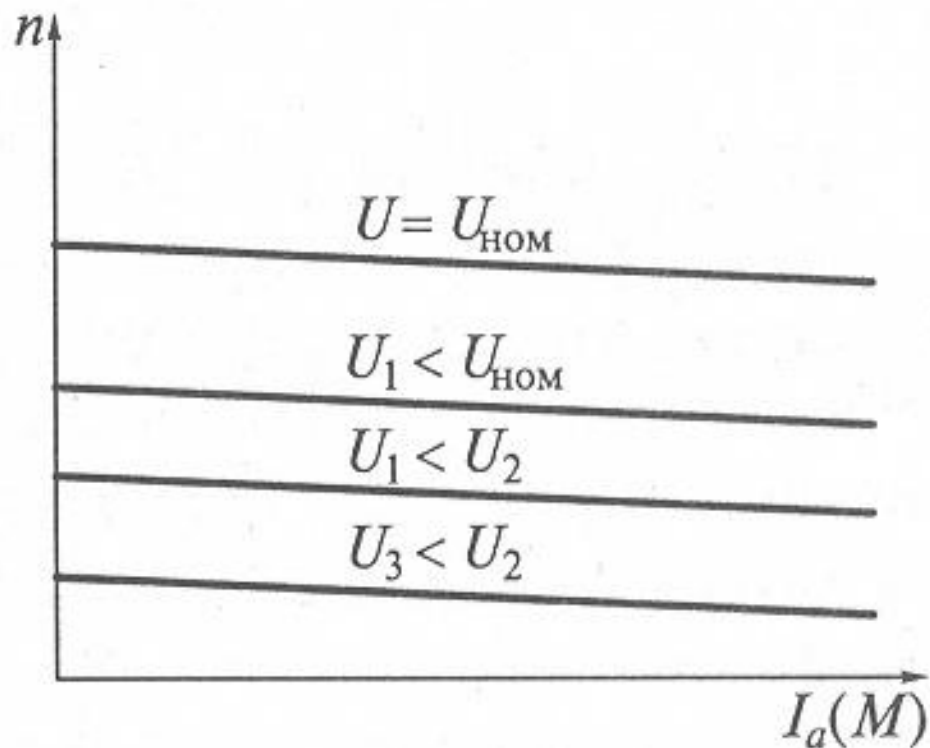
$$n = c_1 (U - I_a \sum R_a) / \Phi,$$

откуда следует, что ее можно регулировать тремя способами: изменением напряжения якоря U , изменением сопротивления цепи якоря $\sum R_a$, изменением потока возбуждения Φ .

Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока

1. *Регулирование частоты вращения изменением подводимого напряжения.* Регулирования скорости полагают неизменными сопротивление цепи якоря и ток возбуждения. В этом случае частота вращения двигателей постоянного тока примерно пропорциональна приложенному напряжению U . Поскольку работа двигателя при $U > U_{\text{ном}}$ обычно недопустима по потенциальным условиям работы коллектора, то данный способ позволяет регулировать частоту вращения вниз от частоты вращения, соответствующей естественной характеристике.

Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока



Скоростные и механические характеристики двигателя при плавном изменении напряжения, подводимого к цепи якоря

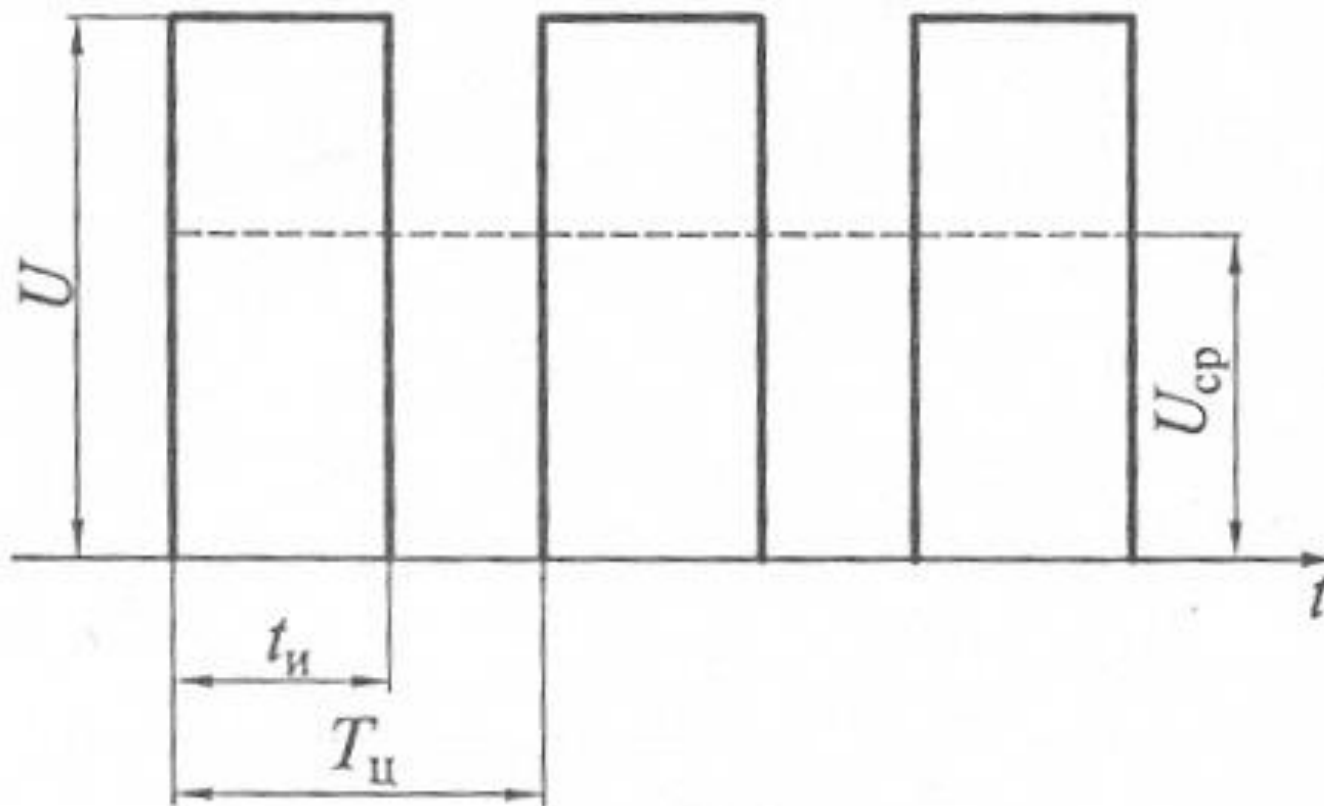
Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока

Частным случаем регулирования изменением напряжения является *импульсное регулирование напряжения*. В этом случае постоянное по значению и направлению напряжение периодически подается на якорь в виде отдельных импульсов. При таком питании среднее значение напряжения на якоре, которое определяет частоту вращения двигателя, равно

$$U_{\text{ср}} = (t_{\text{и}}/T_{\text{ц}})U = \gamma U$$

Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока

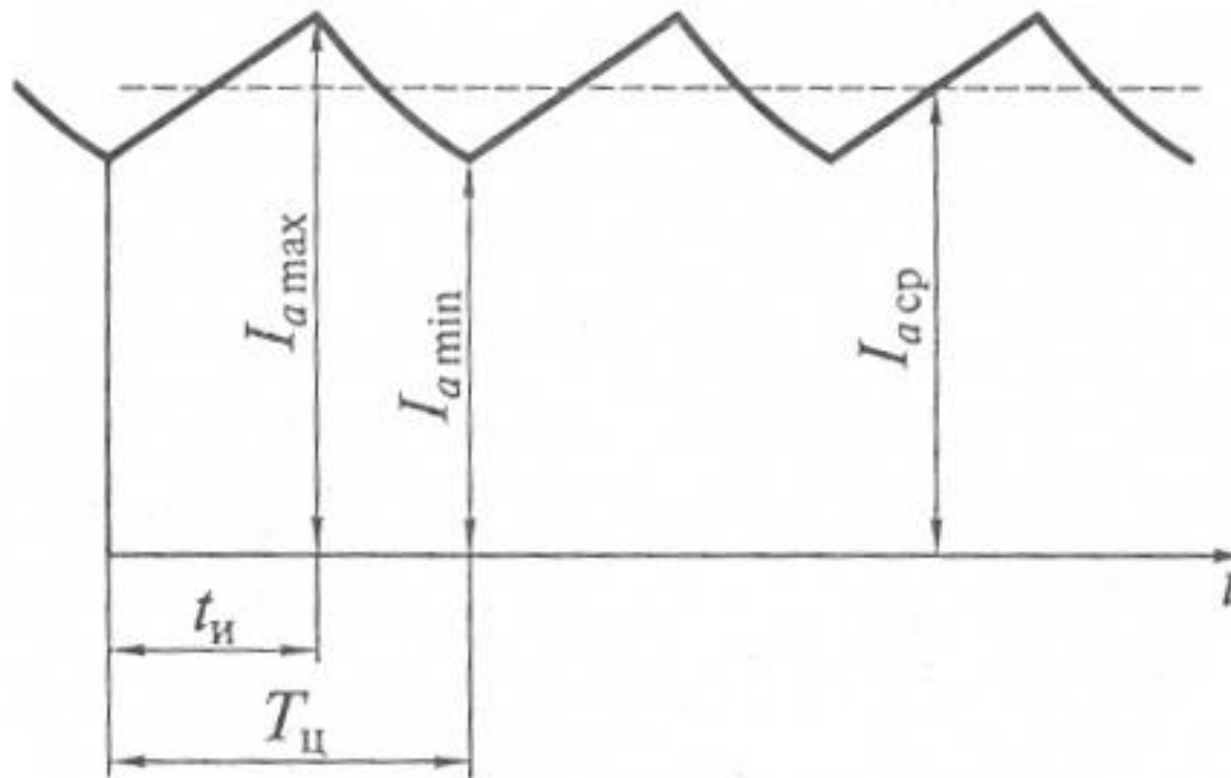
двигателей постоянного тока



Импульсное регулирование напряжения

Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока

двигателей постоянного тока



Ток якоря при импульсном регулировании напряжения

Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока

2. Регулирование частоты вращения

путем изменения сопротивления цепи якоря.

При рассмотрении этого способа регулирования полагают неизменными ток возбуждения I_B двигателя и напряжение сети U . Для изменения сопротивления $\sum R_a$ в цепь якоря последовательно включают регулировочный реостат $R_{ад}$. При одном и том же токе якоря I_a и, следовательно, электромагнитного момента M это приводит к уменьшению частоты вращения двигателя (чем больше сопротивление $R_{ад}$, тем меньше скорость).

Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока

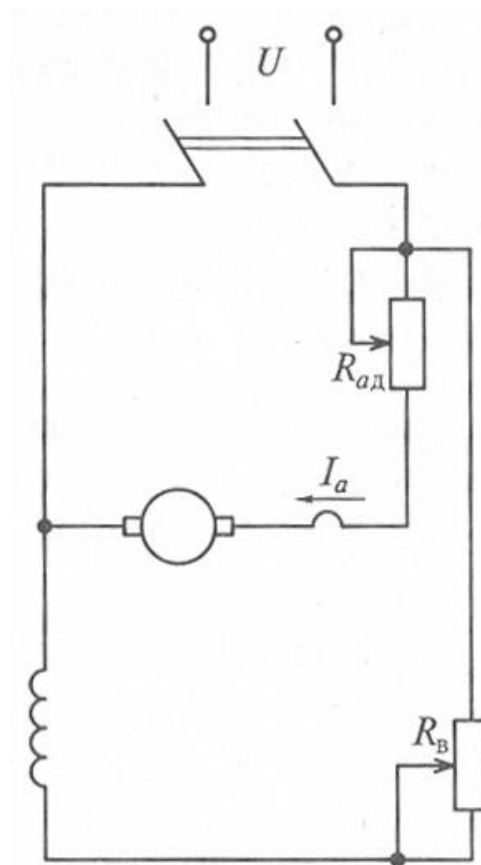
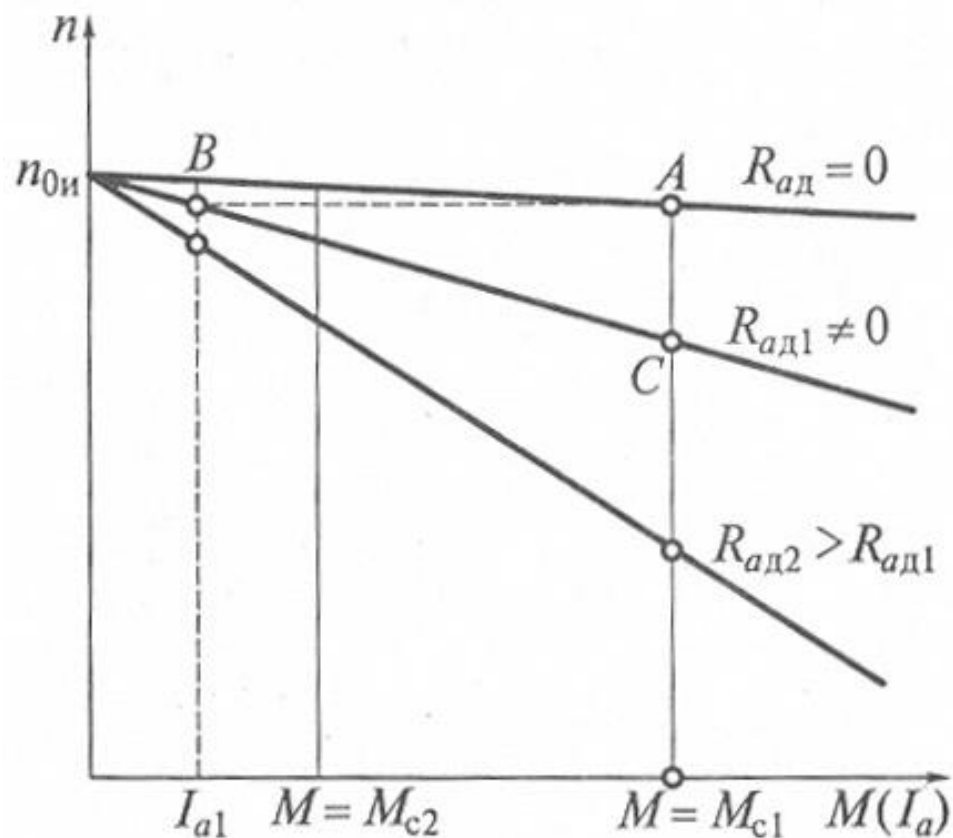


Схема включения регулировочного реостата $R_{ад}$
в цепь якоря

Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока

двигателей постоянного тока



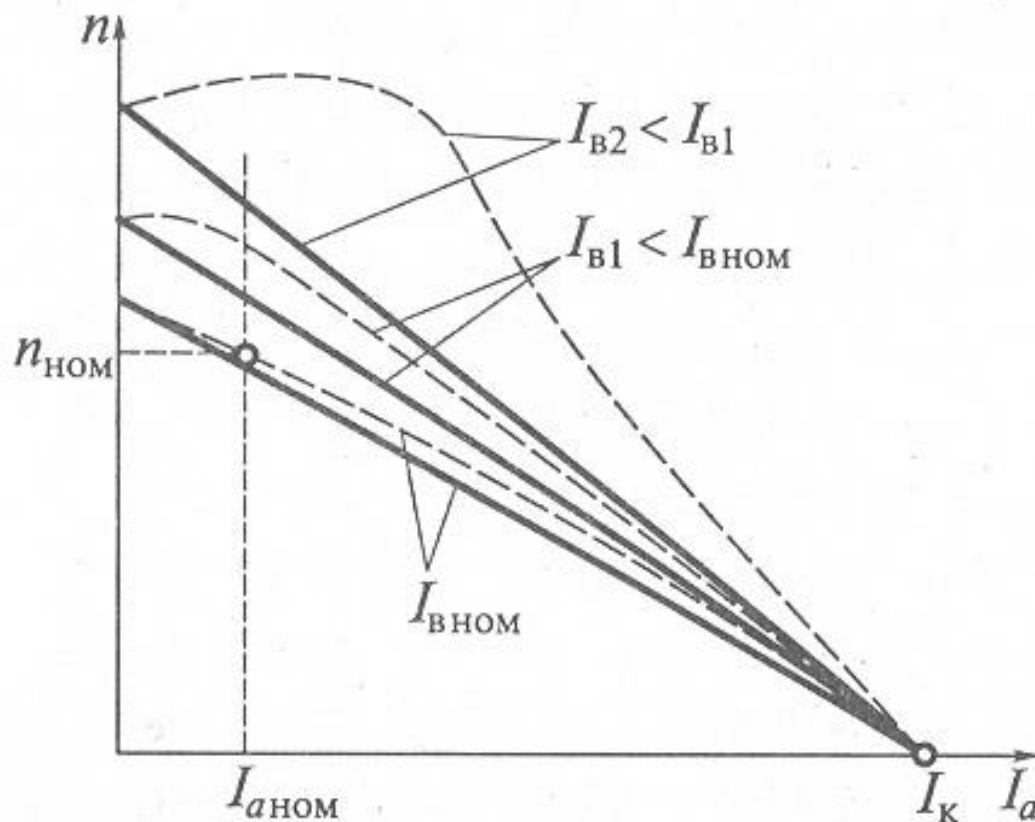
Механические (скоростные) характеристики при изменении сопротивления цепи якоря

Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока

3. Регулирование частоты вращения изменением магнитного потока. При рассмотрении этого способа регулирования полагают неизменными сопротивление и напряжение цепи якоря. Регулирование магнитного потока осуществляется изменением тока возбуждения двигателя. Так как в номинальном режиме (на естественной характеристике) магнитная цепь двигателя рассчитывается на работу почти с наибольшими значениями магнитного потока (на колене кривой характеристики холостого хода), то увеличение тока возбуждения не приводит к заметному увеличению потока. Поэтому поток изменяют в сторону уменьшения от расчетного значения путем уменьшения тока возбуждения.

Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока

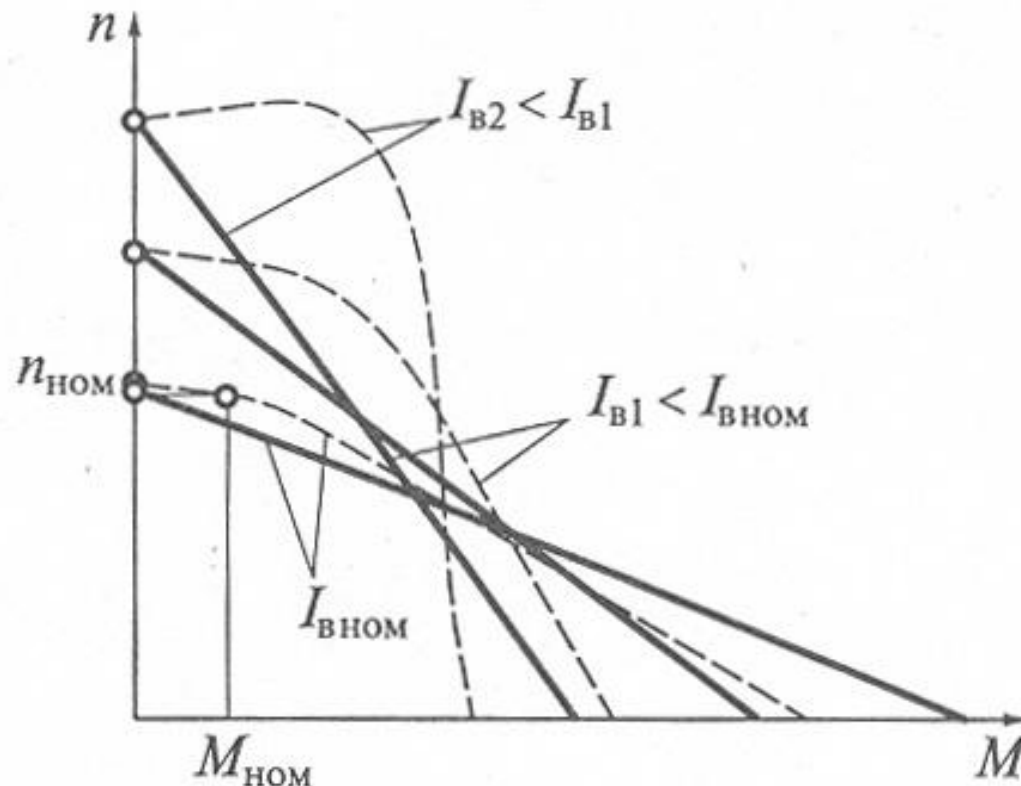
двигателей постоянного тока



Скоростные характеристики двигателей независимого (параллельного) возбуждения при изменении тока возбуждения

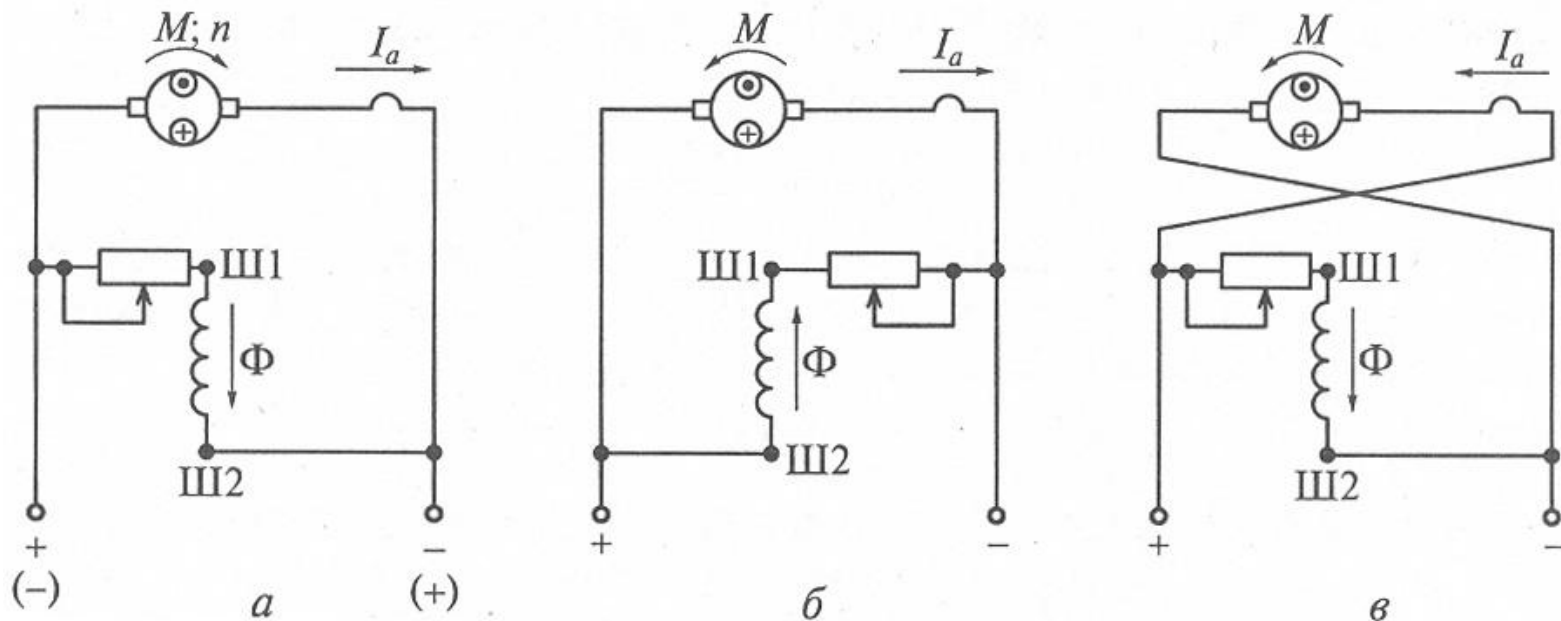
Способы регулирования скорости двигателей постоянного тока

двигателей постоянного тока



Механические характеристики двигателей независимого (параллельного) возбуждения при изменении тока возбуждения

Способы реверса и торможения двигателей постоянного тока



Схемы включения обмоток двигателя в рабочем режиме (*a*) и при реверсе путем изменения направления тока возбуждения (*б*) и полярности напряжения, подводимого к цепи якоря (*в*)

Способы реверса и торможения двигателей постоянного тока

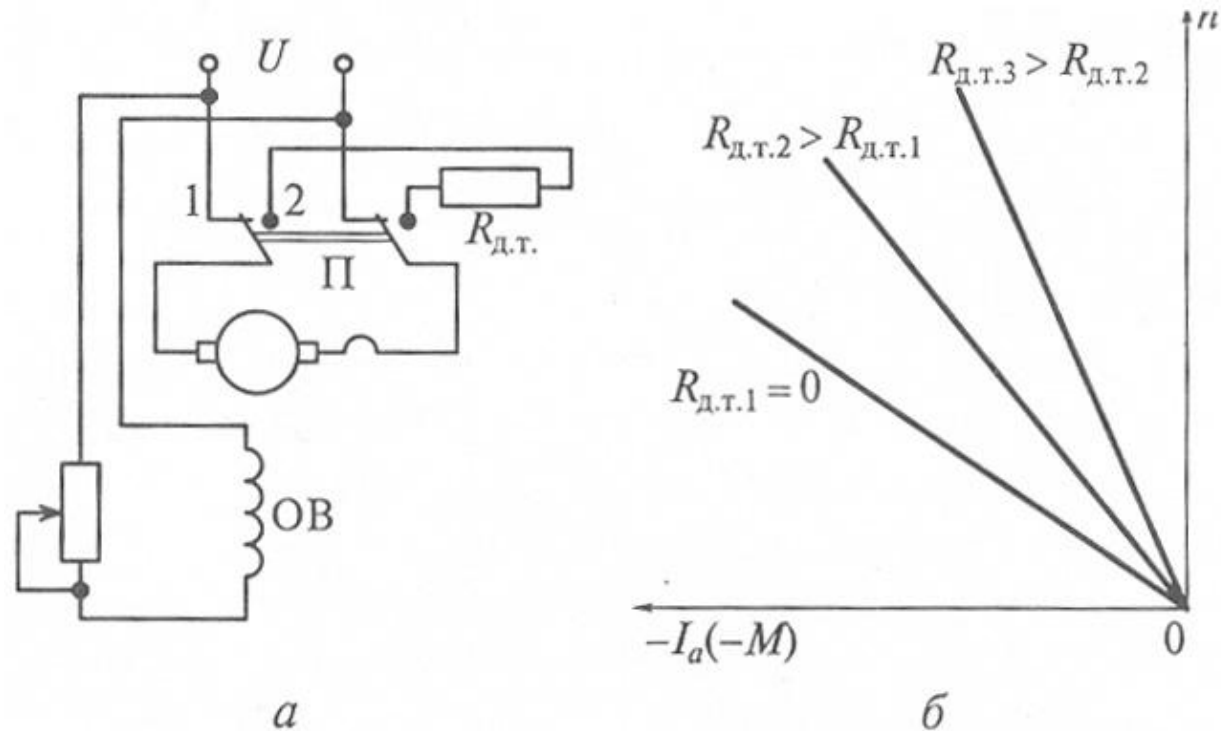


Схема динамического торможения (а) и механические (скоростные) характеристики (б) двигателя параллельного (независимого) возбуждения

Способы реверса и торможения двигателей постоянного тока

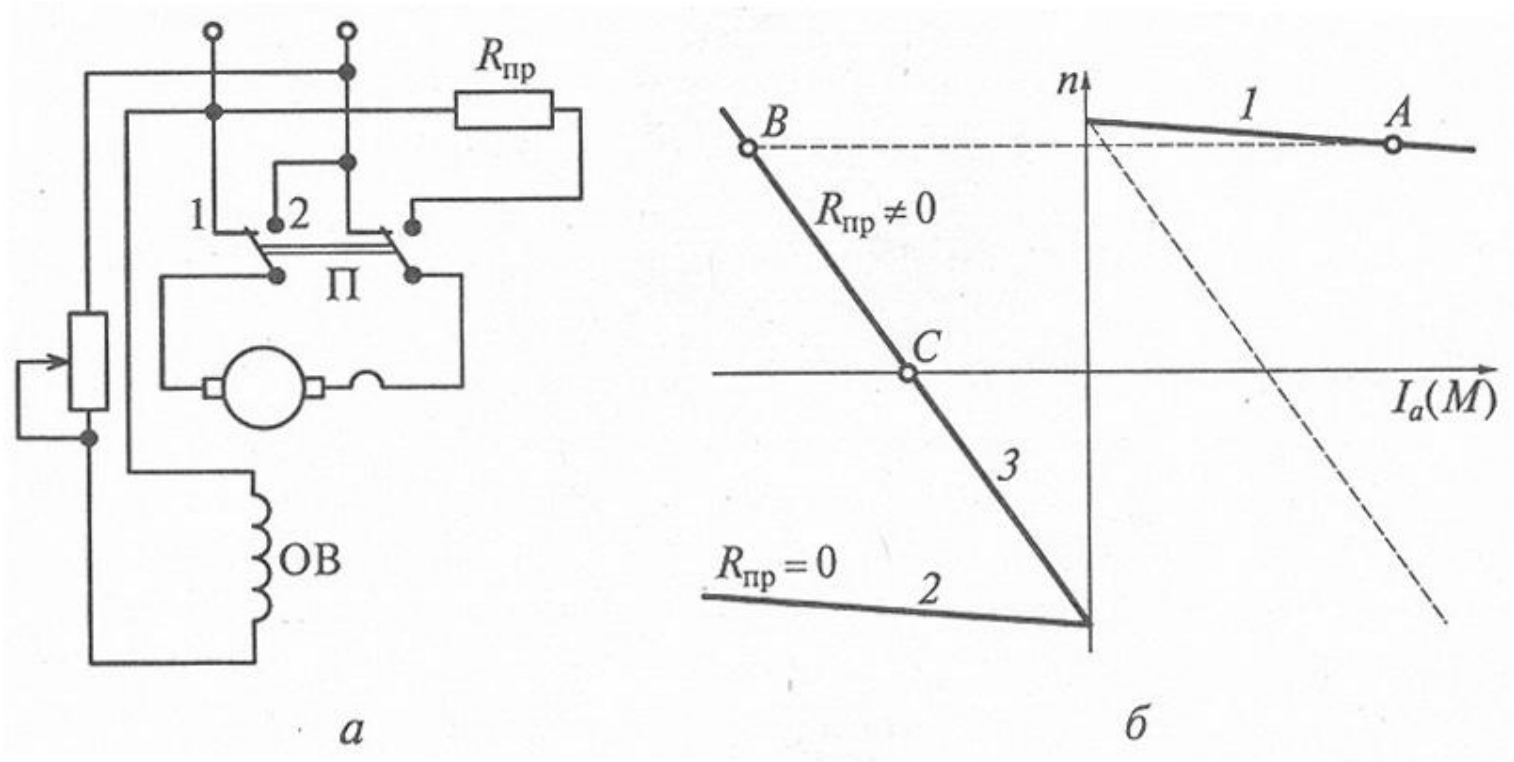


Схема (а) торможения противовключением и механические (скоростные) характеристики (б) двигателя параллельного (независимого) возбуждения