

Машины постоянного тока

Машины постоянного тока (МПТ) используются как в качестве *генераторов*, так и в качестве *двигателей*.

Наибольшее применение нашли *двигатели постоянного тока (ДПТ)*:

- от долей ватт (в устройствах автоматики и вычислительной техники), до нескольких тысяч киловатт (привод прокатных станов, шахтных подъемников и др.);
- ДПТ широко используются для привода *подъемных средств* (крановые двигатели) и привода *транспортных средств* (тяговые двигатели).

Основные преимущества ДПТ по сравнению с бесколлекторными двигателями переменного тока:

- хорошие пусковые и регулировочные свойства;
- возможность получения частоты вращения более 3000 об/мин.

Основные недостатки ДПТ:

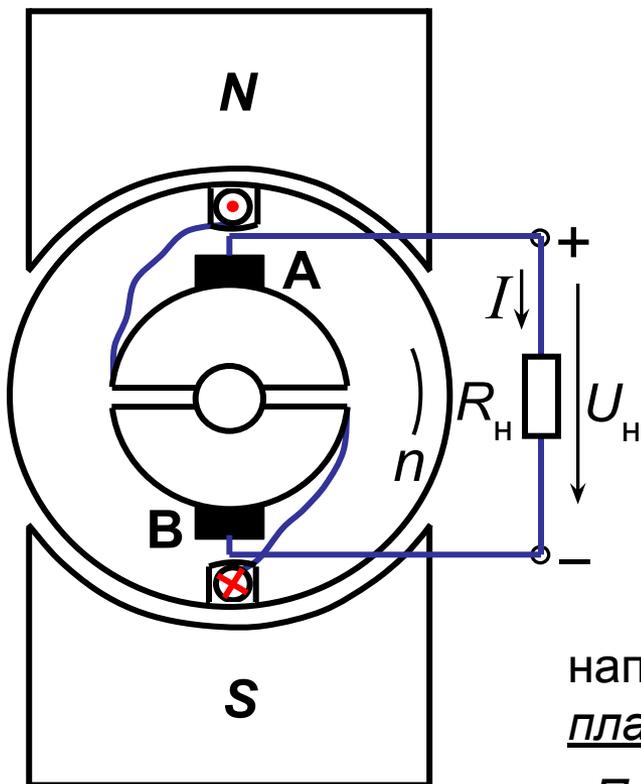
- относительно высокая стоимость;
- сложность в изготовлении;
- пониженная надежность;
- наличие радиопомех и пожароопасности.

Все недостатки ДПТ обусловлены *наличием коллекторно-щеточного узла*. Они ограничивают применение ДПТ.

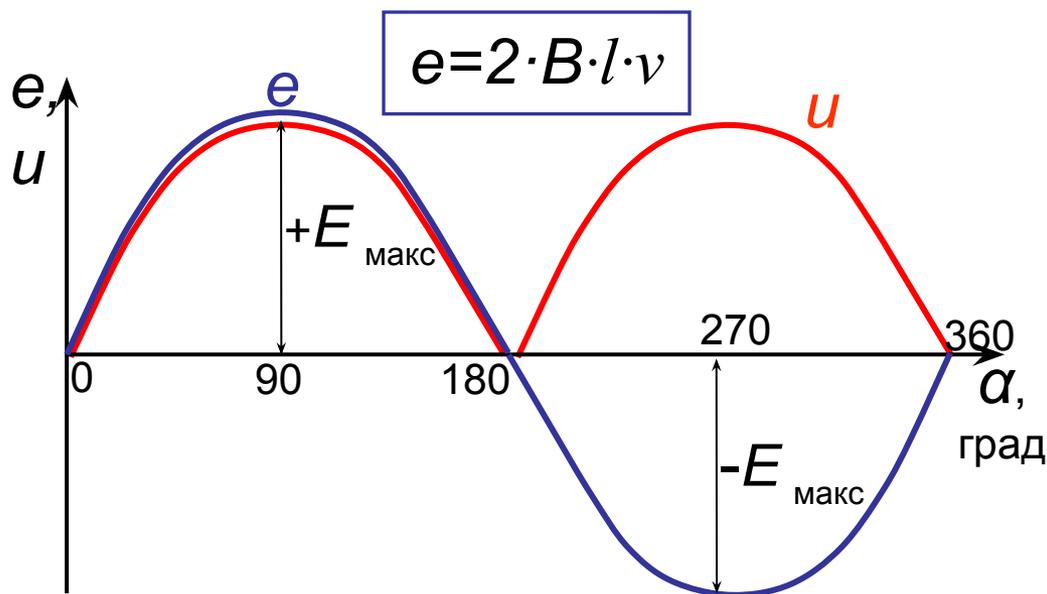
Принцип действия машин постоянного тока

Характерным признаком коллекторных МПТ является наличие у них коллекторно-щеточного узла – механического преобразователя переменного тока в постоянный и наоборот

Принцип действия генератора постоянного тока



При вращении якоря в витке якорной обмотки наводится ЭДС

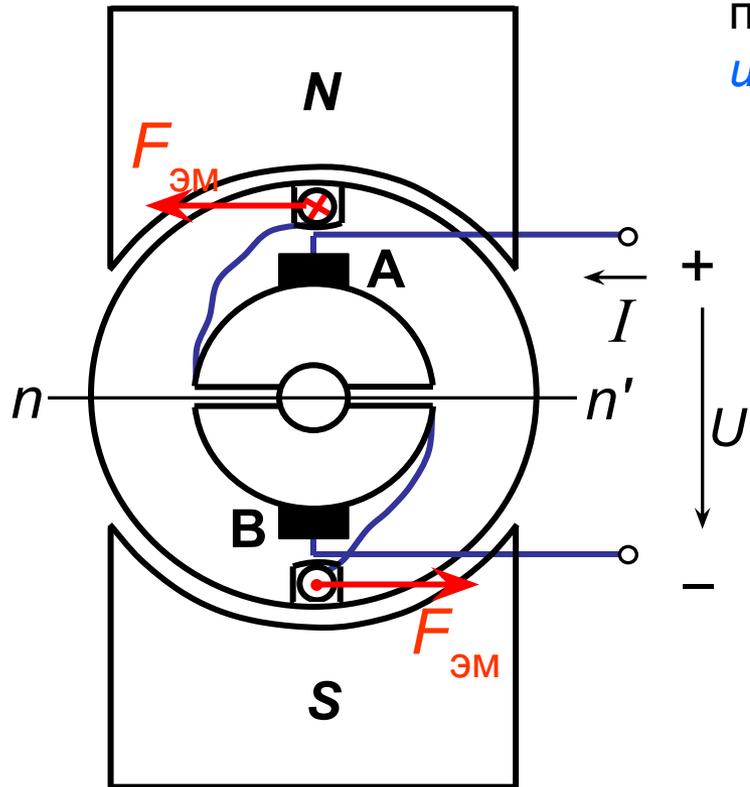


Когда ЭДС в витке якорной обмотке меняет свое направление происходит смена коллекторных пластин под щетками.

Полярность щеток всегда остается неизменной независимо от положения витка якорной обмотки.

Принцип действия двигателя постоянного тока

Рассмотренная упрощенная модель МПТ может быть использована и в качестве ДПТ.



Для этого отключим нагрузку R и подведем к щеткам напряжение от источника постоянного тока

В результате взаимодействия тока I с магнитным полем появляются электромагнитные силы $F_{эм}$, создающие электромагнитный момент $M_{эм}$.

Одновременно с переходом каждого проводника в зону другого полюса в этих проводниках меняется направление тока.

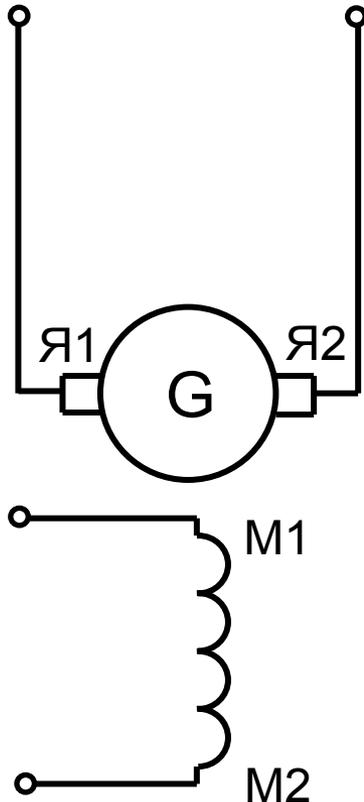
Назначение коллектора в ДПТ - изменять направление тока в проводниках обмотки якоря при их переходе из зоны магнитного полюса одной полярности в зону полюса другой полярности.

При прохождении проводниками обмотки якоря геометрической нейтралю n n' электромагнитные силы $F_{эм} = 0$.

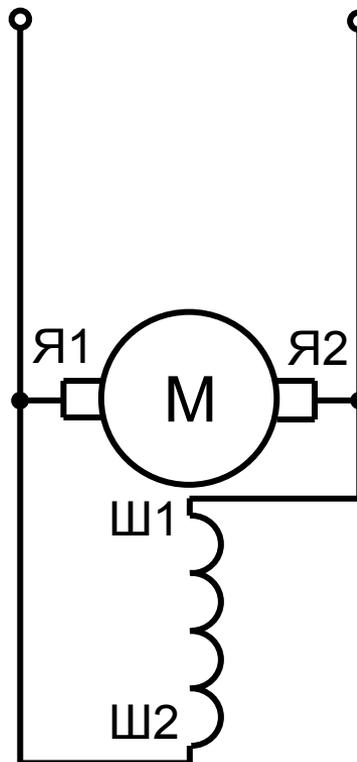
С увеличением числа проводников в обмотке якоря и числа пластин коллектора вращение якоря становится устойчивым и равномерным.

Способы возбуждения электрических машин постоянного тока

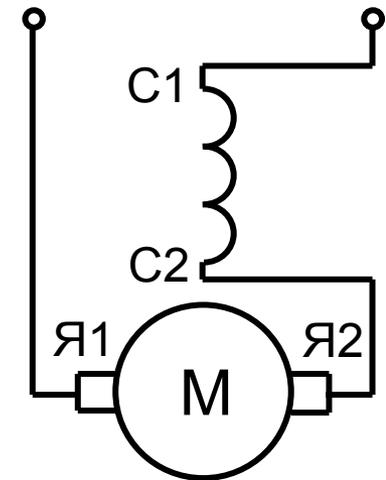
Свойства МПТ в значительной степени определяются способом включения обмотки возбуждения, т. е. способом возбуждения.



Независимое
возбуждение

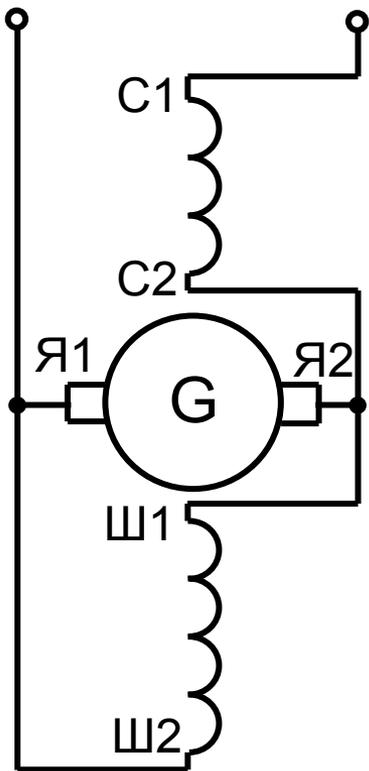


Параллельное
возбуждение

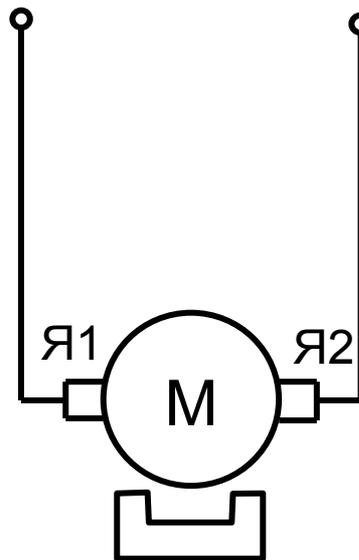


Последовательное
возбуждение

Способы возбуждения электрических машин постоянного тока

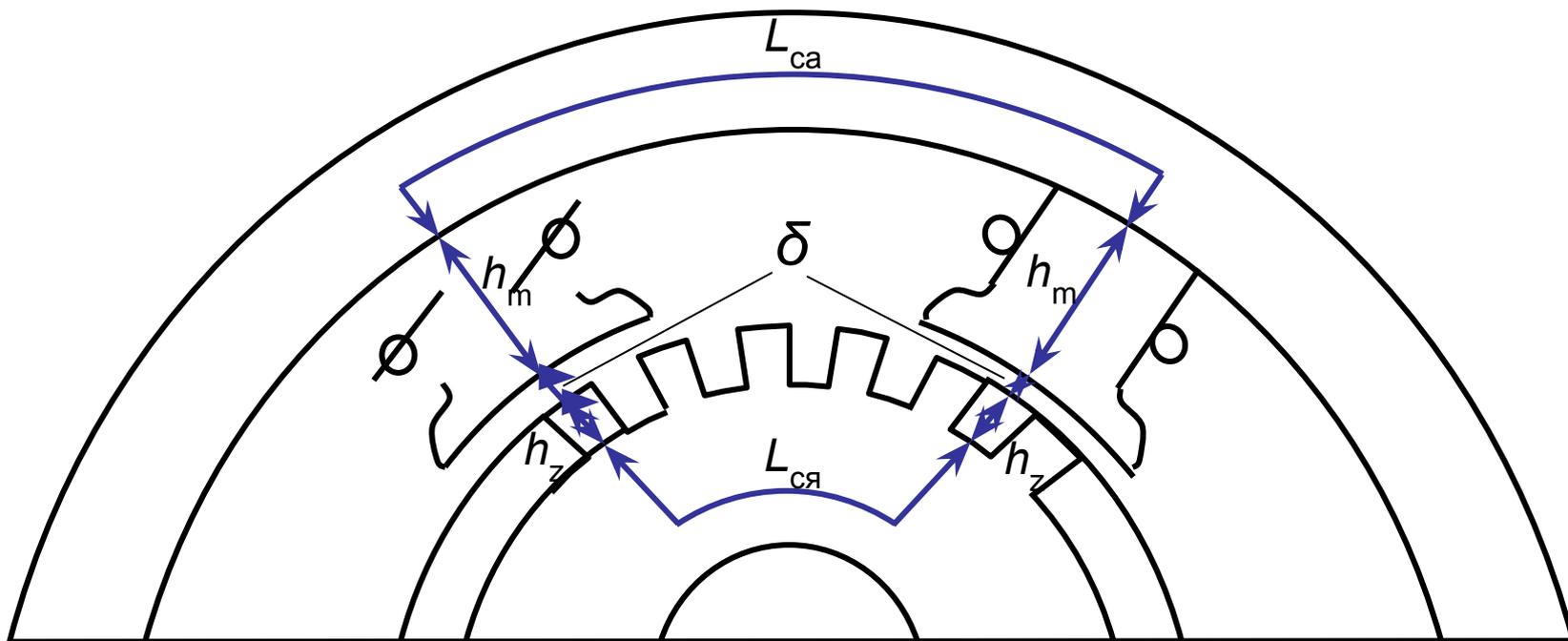


Смешанное
возбуждение



Возбуждение от
постоянных магнитов

Магнитная цепь машины постоянного тока



МДС обмотки возбуждения в режиме холостого

L_{ca} – статор (ярмо)

h_m – главный полюс

δ – воздушный зазор

h_z – зубцовый слой якоря

$L_{ся}$ – спинка якоря

хода:

$$F_{во} = 2F_{\delta} + 2F_z + 2F_m + F_a + F_{я}$$

F_{δ} – магнитное напряжение воздушного зазора

F_z – магнитное напряжение зубцового слоя якоря

F_m – магнитное напряжение главного полюса

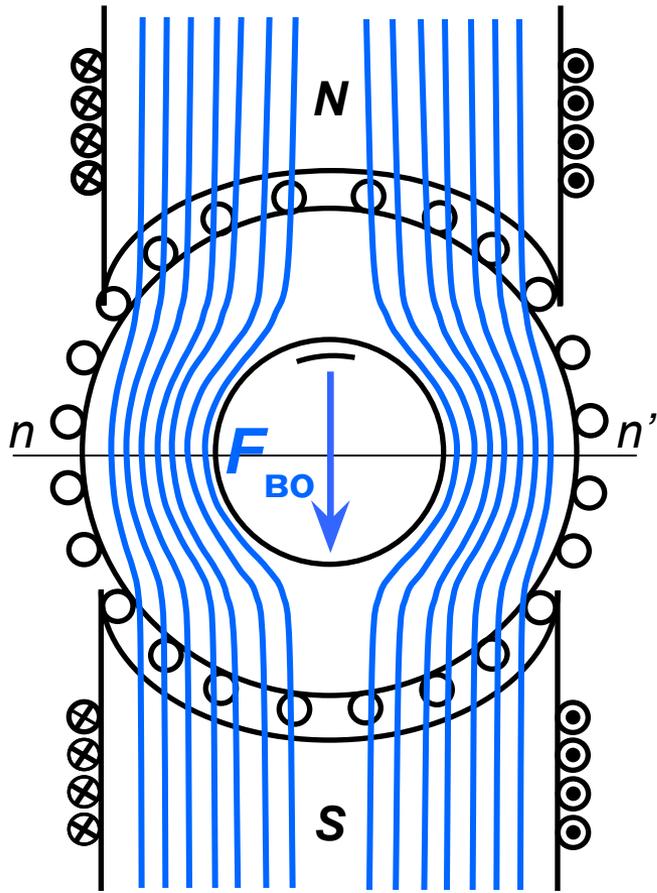
F_a – магнитное напряжение статора (ярма)

$F_{я}$ – магнитное напряжение спинки якоря

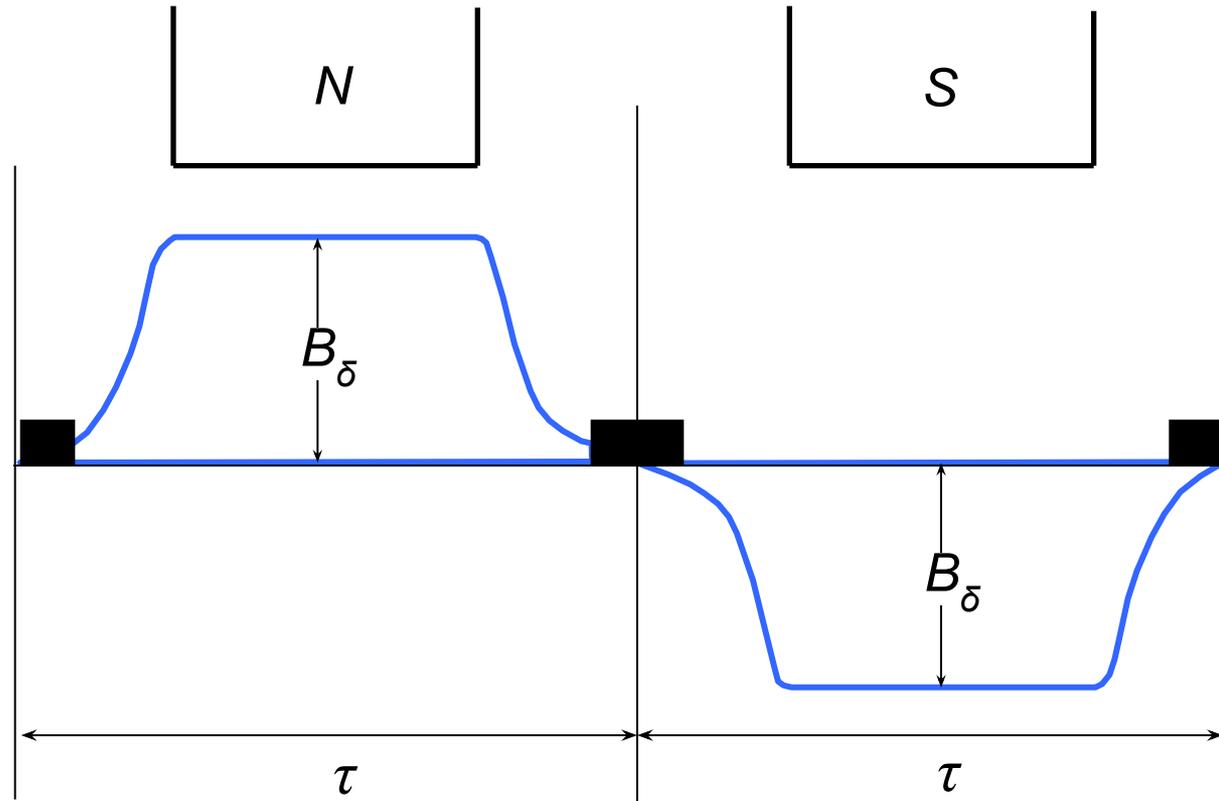
Наибольшим магнитным сопротивлением обладает воздушный зазор δ , поэтому магнитное напряжение F_{δ} *намного больше остальных слагаемых* $F_{во}$

Реакция якоря машины постоянного тока

В режиме холостого хода $I_{\text{я}}=0$ и в машине действует лишь МДС обмотки возбуждения $F_{\text{во}}$



$$I_{\text{я}}=0$$

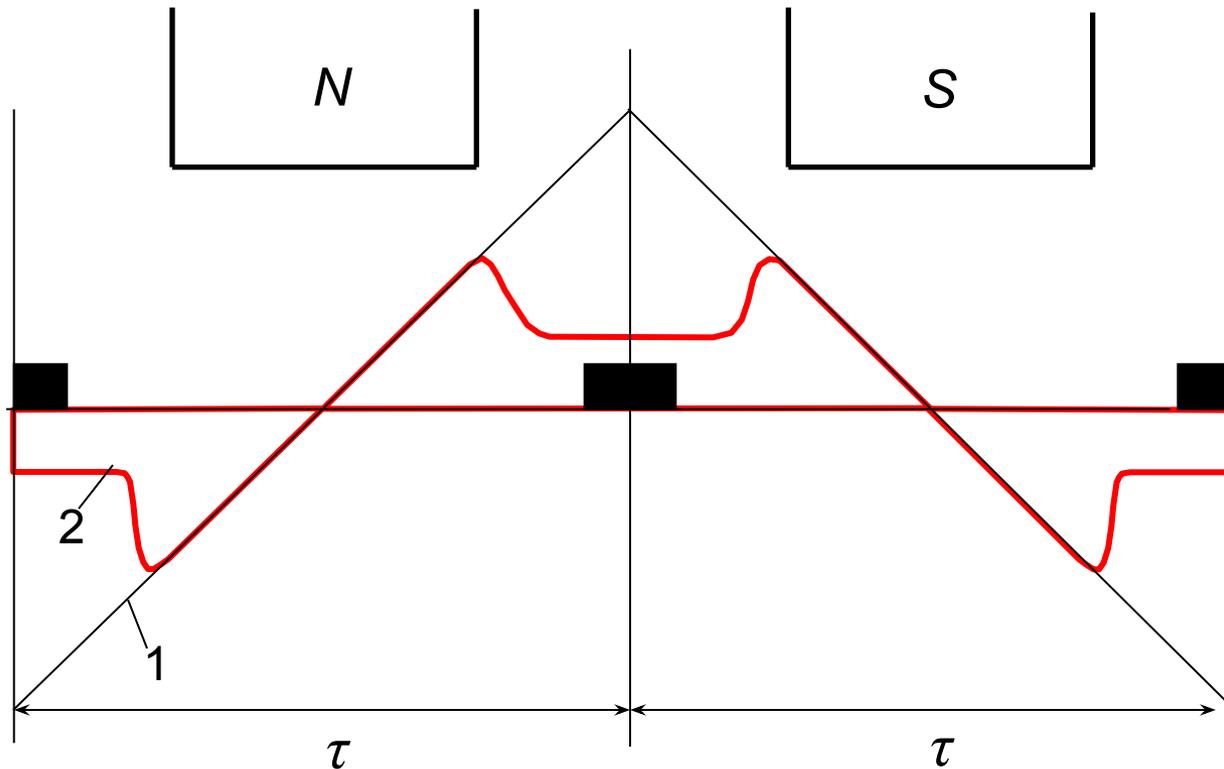
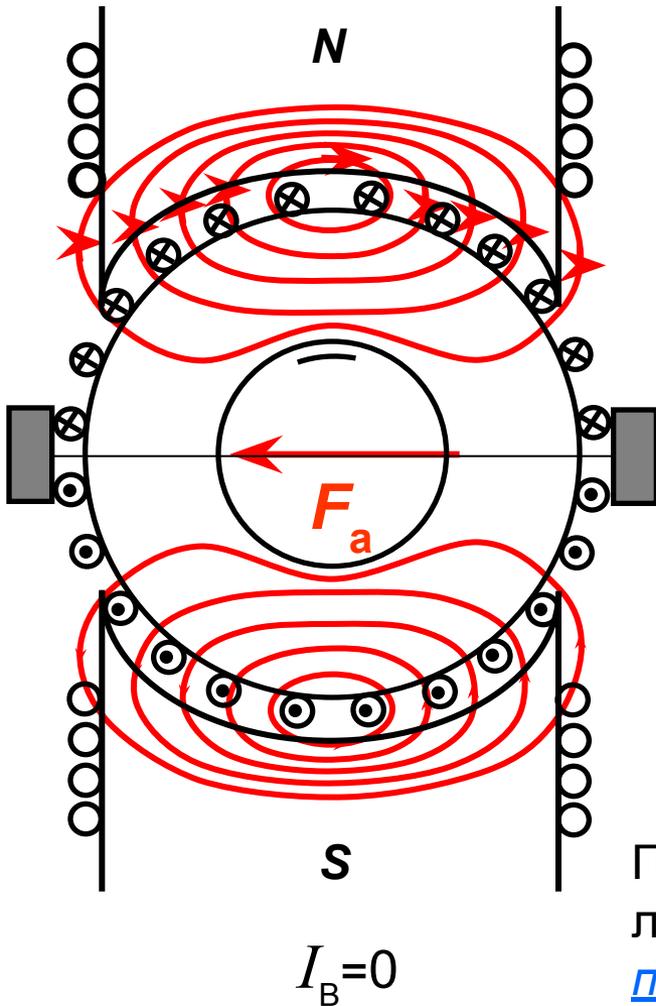


В этом случае магнитное поле симметрично относительно оси полюсов

Реакция якоря машины постоянного тока

Если машину нагрузить, то в обмотке якоря появится ток $I_{я}$, кот создает МДС якоря F_a .

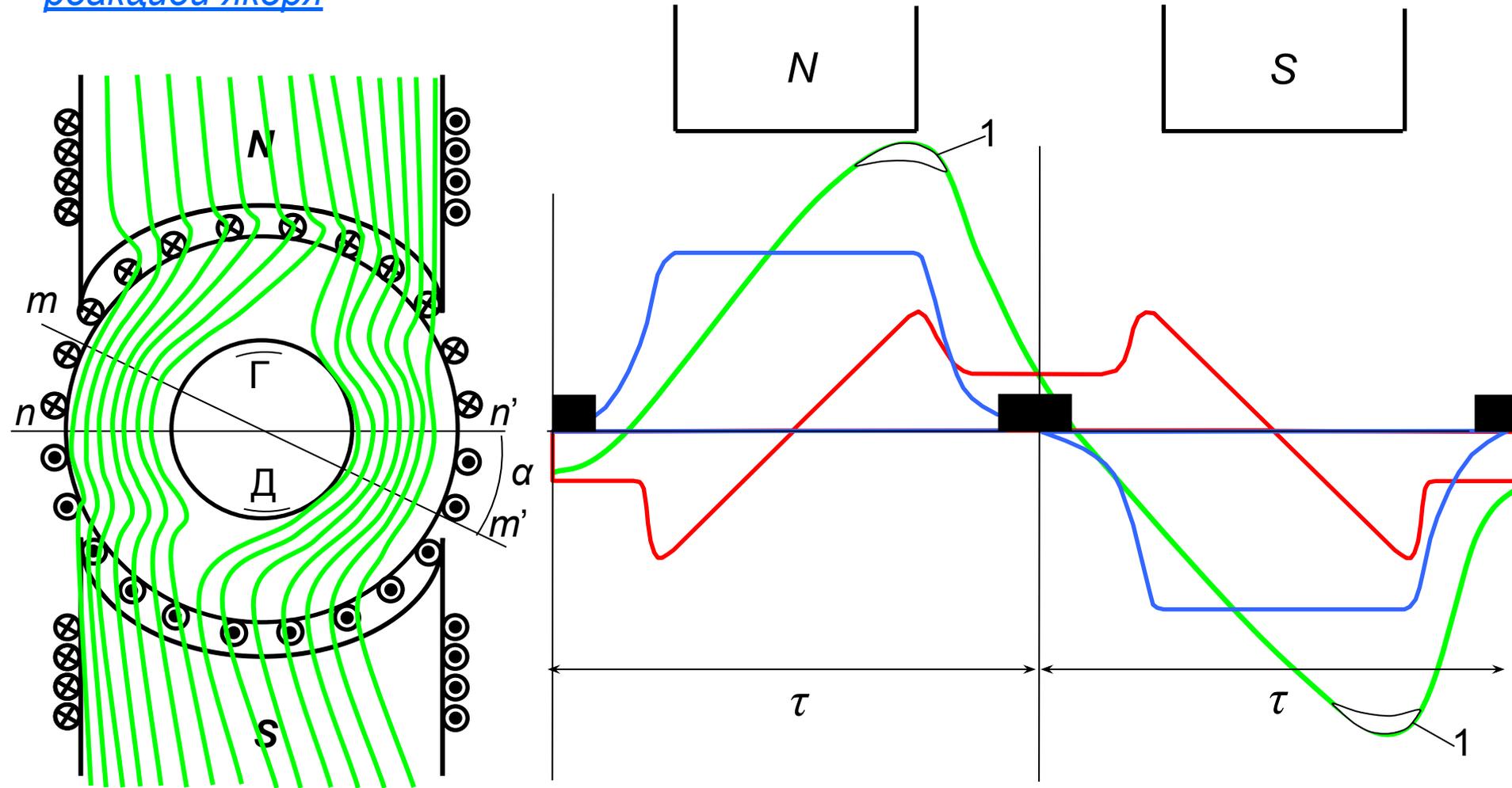
Допустим, что МДС обмотки возбуждения $F_{в0} = 0$, тогда магнитное поле МДС якоря F_a будет иметь вид:



Пространственное положение МДС якоря F_a определяется положением щеток и остаётся неизменным при вращении якоря

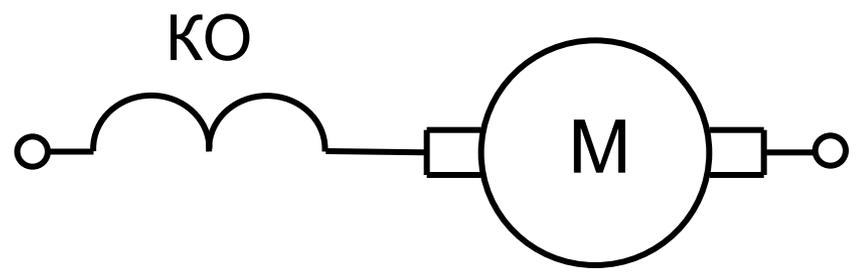
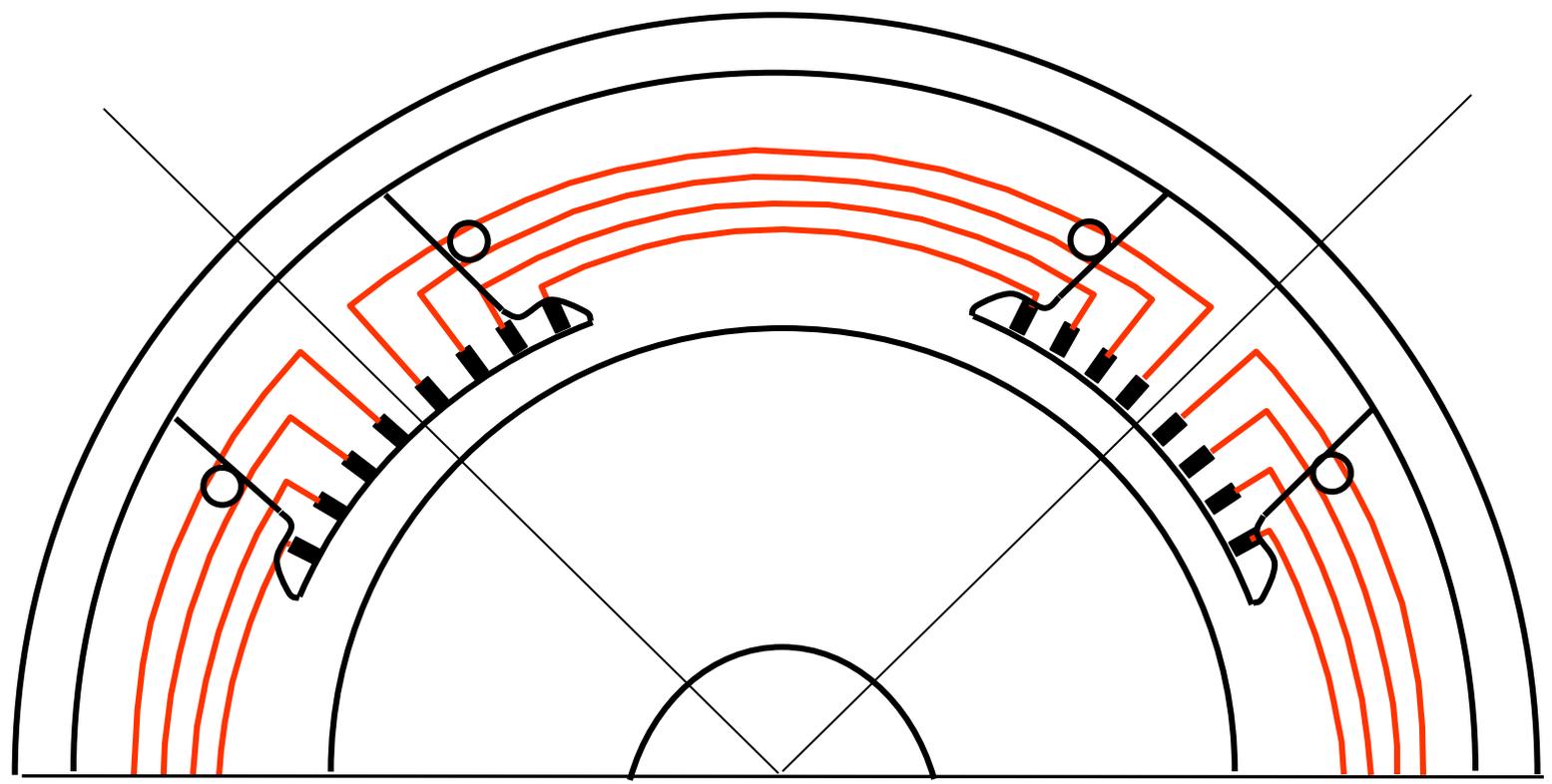
Реакция якоря машины постоянного тока

Влияние МДС обмотки якоря на магнитное поле машины называют реакцией якоря



Реакция якоря искажает магнитное поле машины, делает его несимметричным относительно оси полюсов.

Устранение вредного влияния реакции якоря



Электродвижущая сила машины постоянного тока

$$E_a = E_{\text{пр}} \cdot [N / 2a] \quad ,$$

где N – число пазовых проводников; $2a$ – число параллельных ветвей.

$$E_{\text{пр}} = B_{\delta} \cdot l_i \cdot v \quad - \text{ЭДС одного пазового проводника,}$$

активная длина которого l_i

$$v = \pi D_a n / 60 = 2 p \tau n / 60 \quad \text{где } \pi D_a = 2 p \tau$$

$$E_a = B_{\delta} l_i \tau \quad (2 p n / 60) [N / 2a]$$

или с учетом $B_{\delta} l_i \tau = \Phi$

$$E_a = [pN / (60a)] \Phi n = C_e \Phi n,$$

где $C_e = pN / (60a)$ – постоянная для данной машины

Электромагнитный момент машины постоянного тока

$$F_{\text{эм}} = B_{\delta} l_i i_a \quad \text{- электромагнитная сила}$$

$$M = F_{\text{эм}} N (D_a / 2) \quad \text{- электромагнитный момент}$$

где $D_a / 2$ – радиус сердечника якоря

$$M = B_{\delta} l_i [I_a / 2a] N (D_a / 2)$$

где $I_a / 2a = i_a$ – ток параллельной ветви

$$M = \left[pN / (2\pi a) \right] \Phi I_a = C_M \Phi I_a$$

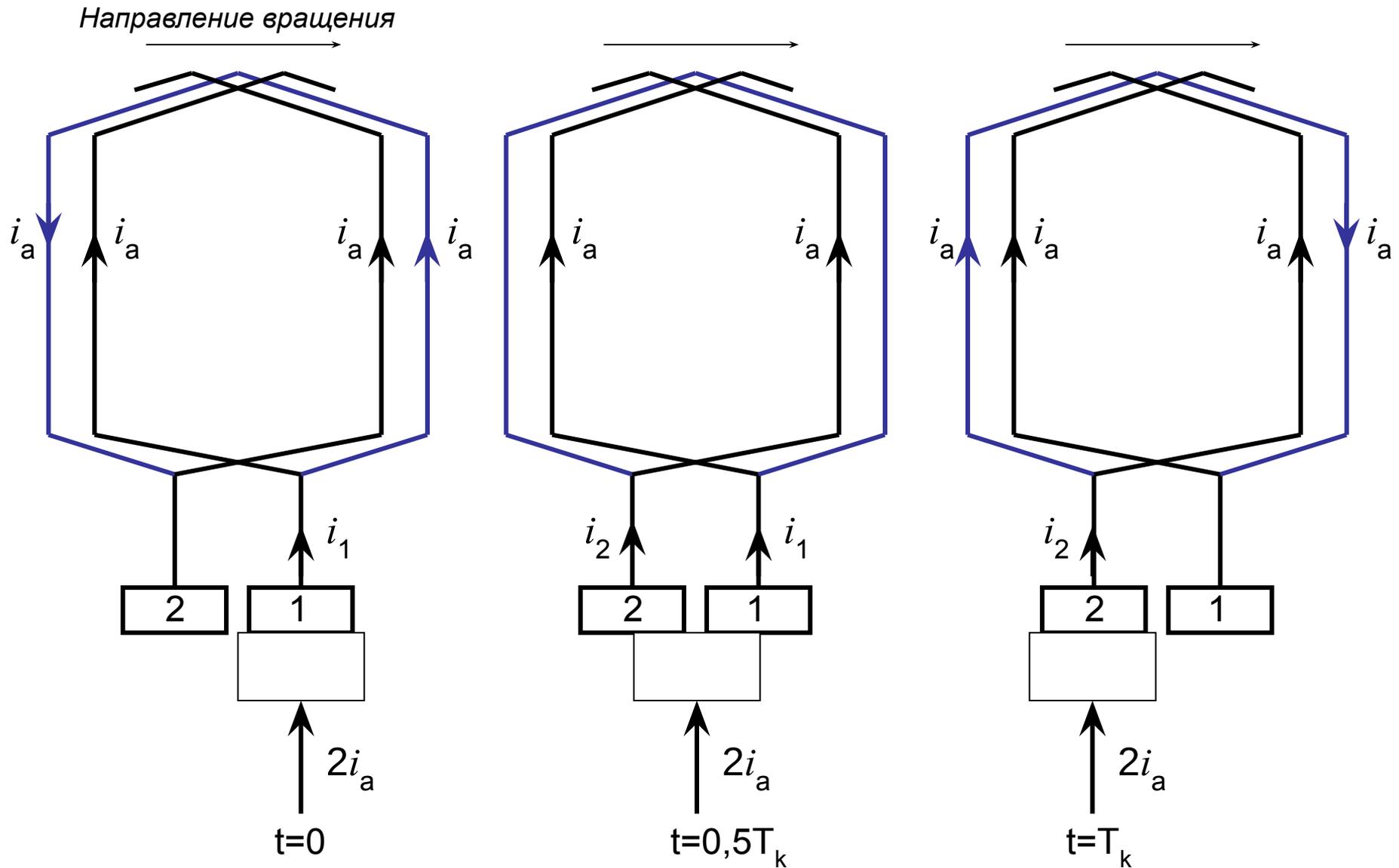
где $C_M = \left[pN / (2\pi a) \right]$ – постоянная для данной машины

$$M = \left[60 / (2\pi n) \right] E_a I_a = 9.55 P_{\text{эм}} / n = P_{\text{эм}} / \omega$$

где $\omega = 2\pi n / 60$ – угловая скорость вращения

$P_{\text{эм}} = E_a I_a$ – электромагнитная мощность машины постоянного тока

Коммутация в машинах постоянного тока



$$T_k = (60 / Kn) (b_{щ} / b_k) \text{ – период коммутации}$$

K – число коллекторных пластин;

n – частота вращения якоря, об/мин;

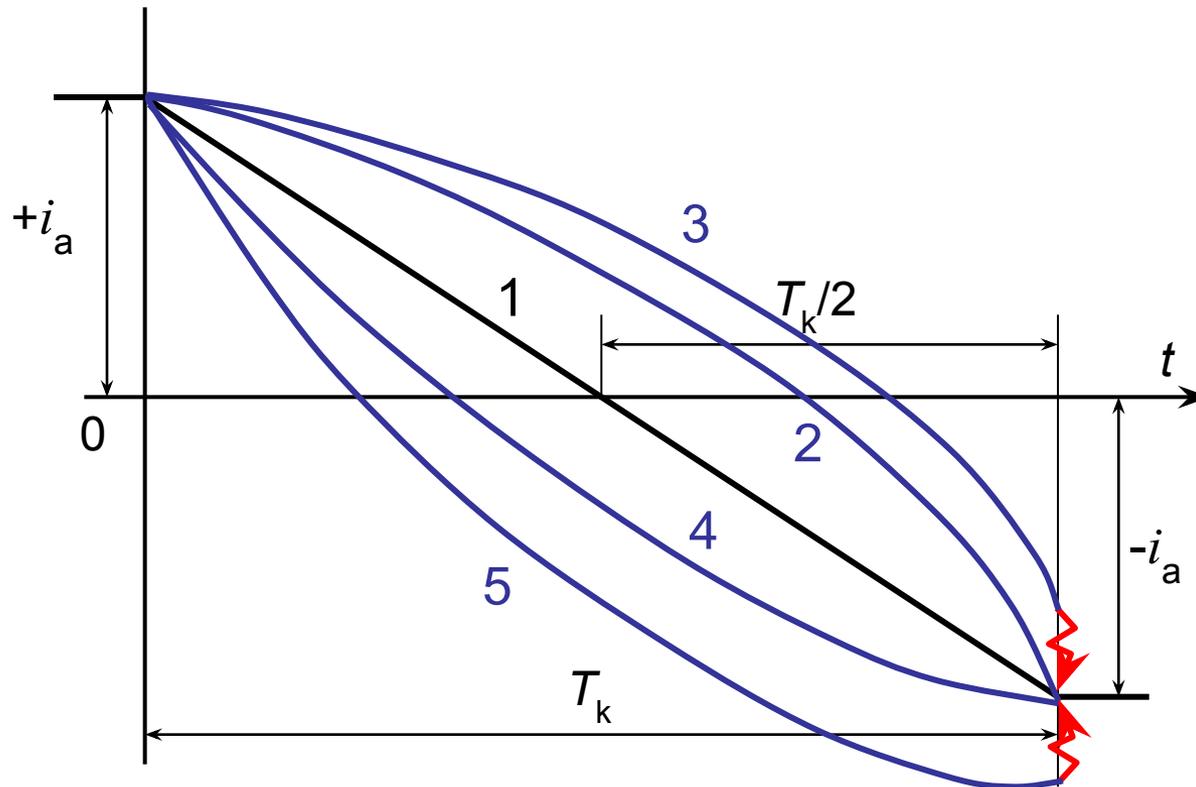
$b_{щ}$ – ширина щетки;

b_k – расстояние между серединами соседних коллекторных пластин
(коллекторное деление)

Коммутация – процесс переключения секций из одной параллельной ветви в другую, сопровождающийся изменением как значения, так и направления тока в этой секции. Ток в коммутируемой секции равен нулю.

Коммутация в машинах постоянного тока

Изменение тока в короткозамкнутой секции в процессе коммутации



- 1 - прямолинейная коммутация
- 2 - замедленная коммутация
- 3 - сильно замедленная коммутация
- 4 - ускоренная коммутация
- 5 - сильно ускоренная коммутация

Причины, вызывающие искрение на коллекторе

Механические – слабое давление щеток на коллектор, биение коллектора, его эллиптичность или негладкая поверхность, загрязнение поверхности коллектора, выступание миканитовой изоляции над медными пластинами, неплотное закрепление траверсы, пальцев или щеткодержателей и т.д.

Потенциальные – появляются при возникновении напряжения между соседними коллекторными пластинами, превышающее допустимое значение. Искрение наиболее опасно, т.к. приводит к возникновению электрической дуги на коллекторе.

Коммутационные – создаются физическими процессами, происходящими в машине при переходе секций обмотки якоря из одной параллельной ветви в другую.

Круговой огонь. Возникает при перегрузках, при к.з. в МПТ. Очень опасен, так как может привести к тяжелой аварии, пожару. Ставят изолирующий экран между обмоткой якоря и коллектором, воздушное дутье, барьеры между щетками разной полярности.

Способы улучшения коммутации

1. Добавочные полюса (ДП).

Предназначены для создания магнитного поля, компенсирующее реактивную ЭДС. Располагаются между главными полюсами. Применяются в МПТ мощностью >1 кВт. ДП позволяют увеличить линейную нагрузку.

2. Выбор щеток.

Для обеспечения удовлетворительной коммутации рекомендуется использовать щетки с большим сопротивлением (высокое напряжение, небольшой рабочий ток). Электрографитированные щетки в МПТ на 110-440В. МГ, УГ.

Политура коллектора – тонкая окисная пленка на поверхности коллектора, обладающая повышенным сопротивлением.