

ЛЕКЦИЯ №12

По дисциплине:

«Электроника и электротехника»

Тема №:8

Электрические машины

Занятие №:8

Машины постоянного тока

Учебные вопросы:

1. Устройство и принцип действия электрических машин постоянного тока.
2. . Выпрямление переменной ЭДС посредством коллектора и щеток.
3. Реакция якоря.
4. Коммутация в машинах постоянного тока.
5. Генератор независимого возбуждения.
6. Режим двигателя.

Литература для самостоятельной работы обучающихся:

1. **Иванов, И. И.** Электротехника и основы электроники: учебник. – 9-е изд., стер/ И.И. Иванов, Г.И. Соловьев, В.Я Фролов. – СПб: Лань, 2017. – 736 с.
2. **Касаткин, А.С.** Электротехника: учебник/ А.С. Касаткин, М.В. Немцов. – 12-е изд. стер. – Москва.: Академия, 2008. – 544 с. – и предыдущие издания.

б) дополнительная литература:

3. **Немцов, М. В.** Электротехника и электроника: учебник/ М. В. Немцов. – Москва: КноРус, 2016. – 560 с. – и предыдущие издания.

1. Устройство и принцип действия электрических машин постоянного тока.

6.6. КОЛЛЕКТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Безколлекторные асинхронные и синхронные двигатели при многих положительных качествах имеют существенные недостатки. Они не допускают достаточно плавного и экономичного регулирования вращения. Этот пробел частично восполняют коллекторные двигатели переменного тока.

Коллекторные двигатели бывают однофазными и трехфазными. Ротор однофазного коллекторного двигателя выполнен в виде цилиндра с фазными обмотками, статор – явнополюсный. Так как обмотка полюсов статора, подключаемая к сети переменного тока, создает пульсирующее магнитное поле, то все элементы магнитной цепи машины набираются из отдельных листов электротехнической стали. Вращающий момент в однофазном коллекторном двигателе создается взаимодействием токов в обмотке ротора с магнитным потоком полюсов. На рис. 6.6.1- показана схема подключения к сети коллекторного двигателя.

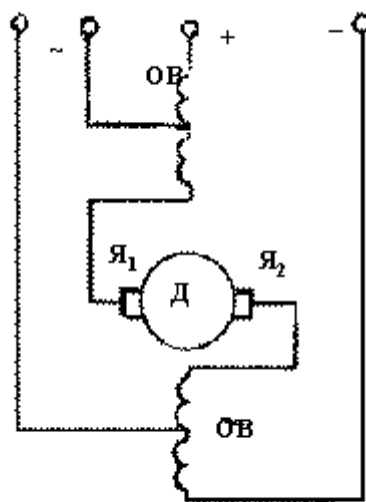


Рис. 6.6.1. Схема подключения коллекторного двигателя

Коллекторные двигатели могут работать как от сети переменного тока, так и от сети постоянного тока. Это обстоятельство послужило для присвоения им наименования универсальных коллекторных двигателей. Коллекторные двигатели широко применяются для привода швейных машин, пылесоса и т.д.

7.1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И КОНСТРУКЦИЯ

Два неподвижных полюса N и S создают магнитный поток. В пространстве между полюсами помещается стальной сердечник в виде цилиндра (рис. 7.1.1).

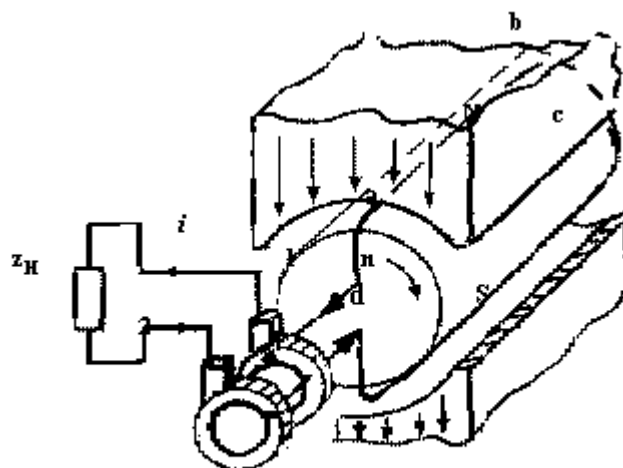


Рис. 7.1.1. К принципу действия машины постоянного тока

На наружной поверхности цилиндра помещен виток медной проволоки $abcd$, изолированный от сердечника. Концы его присоединены к двум кольцам, на которые наложены щетки 1 и 2. К щеткам подключена нагрузка Z_H .

Если вращать сердечник с частотой n в указанном на рисунке направлении, то виток $abcd$, вращаясь, будет пересекать магнитные силовые линии, на концах его будет наводиться ЭДС. И если к витку подключена нагрузка Z_H , то потечет и ток. Направление тока определится правилом "правой руки". Из рисунка видно, что направление тока будет от точек b к a и от d к c . Соответственно во внешней цепи ток течет от щетки 1 к щетке 2. Щетку 1, от которой отводится ток во внешнюю цепь, обозначим (+), а щетку 2, через которую ток возвращается в машину обозначим (-). При повороте витка на 180° проводники ab и cd меняются местами, изменяется знак потенциала на щетках 1 и 2 и изменится на обратное направление ток во внешней цепи.

Таким образом, во внешней цепи течет переменный синусоидальный ток (рис. 7.1.2).

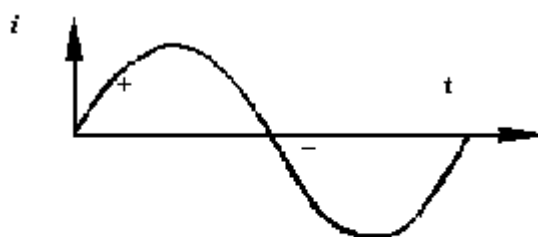


Рис. 7.1.2. График изменения тока

2. Выпрямление переменной ЭДС посредством коллектора и щеток.

Чтобы выпрямить переменный ток, необходимо в машине применить коллектор (рис. 7.1.3).

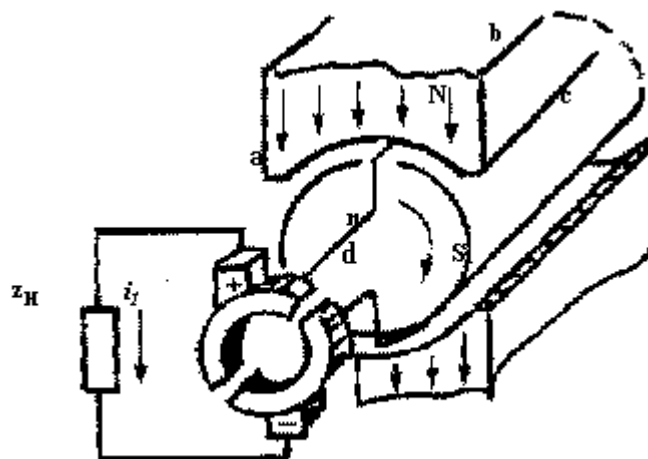


Рис. 7.1.3. Схема выпрямления тока

В простейшем случае это два полукольца и к ним припаиваются концы витков abcd. Полукольца изолированы друг от друга и от вала. При вращении в витке abcd в нем попеременно возникает переменная ЭДС, но под каждой щеткой будет ЭДС только одного знака: верхняя щетка будет иметь всегда (+), а нижняя - всегда (-). Кривая тока во внешней цепи будет иметь другую форму (рис. 7.1.4).



Рис. 7.1.4. График выпрямленного тока двумя полукольцами

Из графика видно, что нижняя полуволна заменена верхней. Если применить не один виток, а два и присоединить их концы к коллекторным пластинам, которых теперь 4, то кривая выпрямленного тока будет иной. При наличии нескольких витков кривая выпрямленного напряжения будет более сглаженной (рис. 7.1.5).

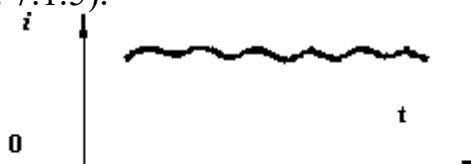


Рис. 7.1.5. Графики выпрямления тока коллектором

Машина постоянного тока конструктивно состоит из неподвижной части - статора и вращающейся - ротора. Статор имеет станину, на внутренней поверхности которой крепятся магнитные полюсы с обмотками (рис. 7.1.6).

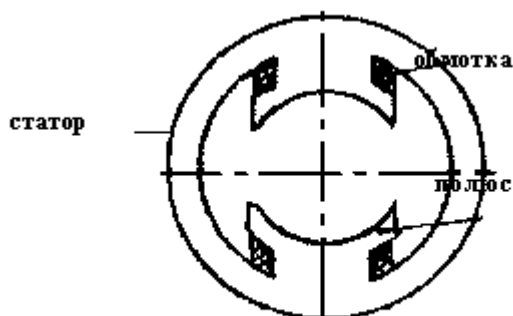


Рис. 7.1.6. Статор машины постоянного тока

Ротор машины чаще называется якорем. Он состоит из вала, цилиндрического сердечника, обмотки и коллектора (рис. 7.1.7).

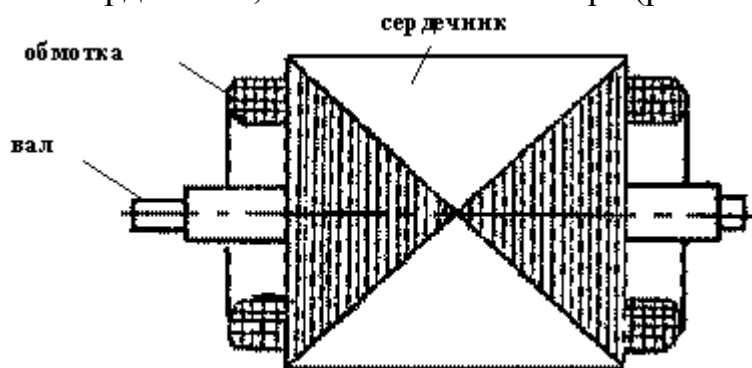


Рис. 7.1.7. Якорь машины постоянного тока

Магнитные полюсы и сердечник якоря набираются из отдельных листов электротехнической стали. Листы покрываются изолированной бумагой или лаком для уменьшения потерь на гистерезис и вихревые токи. Коллектор набирают из медных пластин, имеющих сложную форму (рис. 7.1.8). Пластины друг от друга изолированы специальной теплостойкой прокладкой. Такая же изоляция имеется между коллектором и валом двигателя. Набор коллекторных пластин образует, цилиндр-коллектор.

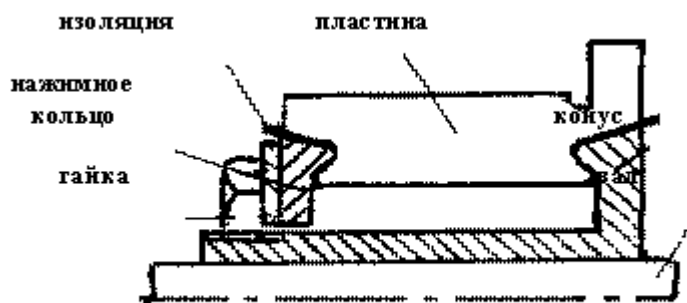


Рис. 7.1.8. Коллектор машины постоянного тока

К внешней поверхности коллектора прилегают токосъемные щетки, которые выполнены из спрессованного медного и угольного порошка. Щетка помещается в металлическую обойму и прижимается к коллектору пружинами (рис. 7.1.9).

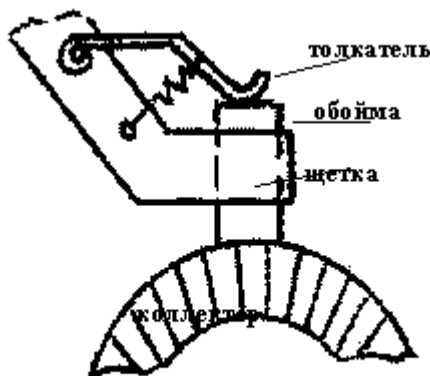


Рис. 7.1.9. Щеточное устройство

7.2. СПОСОБЫ ВОЗБУЖДЕНИЯ МАШИН ПОСТОЯННОГО ТОКА

Возбуждение - это понятие, связанное с созданием основного магнитного поля машины. В машинах с электромагнитным возбуждением основное поле создается обмотками возбуждения. Имеются конструкции, в которых возбуждение создается постоянными магнитами, размещенными на статоре.

Различают четыре схемы включения статорных обмоток: с независимым, параллельным, последовательным и смешанным возбуждением (рис. 7.2.1).

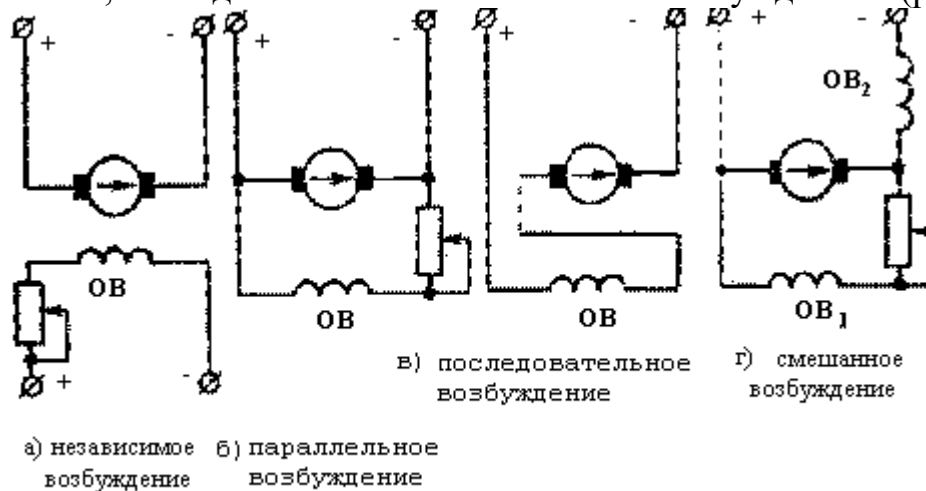


Рис. 7.2.1. Схемы возбуждения машин постоянного тока

Изображения под пунктами б, в, г на рис. 7.2.1, называются схемами с самовозбуждением. Процесс самовозбуждения происходит за счет остаточной намагниченности полюсов и станины. При вращении якоря в этом, небольшом по величине, магнитном поле ($\Phi_{ост} = 0,02 \dots 0,03 \Phi_0$) индуцируется ЭДС $E_{ост}$.

Поскольку обмотка возбуждения подключена через щетки к якорию, то в ней будет протекать ток. Этот ток усилит магнитное поле полюсов и приведет к увеличению ЭДС якoria. Большая ЭДС вновь увеличит ток

возбуждения и произойдет нарастание магнитного потока до полного намагничивания машины.

7.3. ОБМОТКИ ЯКОРЯ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Для работы машины постоянного тока необходимо наличие двух обмоток; обмотки возбуждения и обмотки якоря. Первая, как известно, служит для создания в машине основного магнитного потока, а во второй происходит преобразование энергии.

Обмотка якоря является замкнутой системой проводников, уложенных в пазах.

Элементом якорной обмотки является секция, которая может быть одно - или много витковой. Секция состоит из активных сторон и лобовых частей. При вращении якоря, в каждой из активных сторон индуцируется ЭДС, величина которой равна:

$$E_{\text{кз}} = B_{\text{ср}} \cdot L \cdot V,$$

т.е. она зависит от магнитной индукции полюсов ВСР, длины проводника L и скорости его движения V . В реальной машине, будь она генератором или двигателем, в наведении ЭДС участвуют все проводники обмотки якоря.

Величина суммарной ЭДС:

$$E = C_e \cdot n \cdot \Phi,$$

где n - скорость вращения якоря (ротора), об/мин;
 Φ - магнитный поток полюсов;
 C_e - постоянный коэффициент, зависящий от количества витков в секции. Обмотка якоря может быть петлевой и волновой. Петлевая обмотка, если ее изобразить в развернутом виде, имеет следующий вид (рис. 7.3.1):

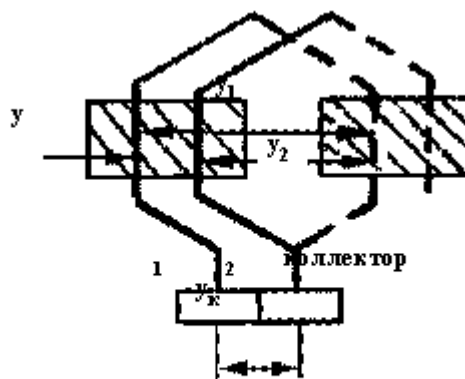


Рис. 7.3.1. Петлевая обмотка якоря

Расстояние между активными сторонами одной секции называется первым шагом обмотки - y_1 . Расстояние между началом второй секции и концом первой называется вторым шагом обмотки - y_2 . Расстояние между, началами секций, следующих друг за другом, называется результатирующим шагом - y . Шаги обмотки определяются числом пазов. Расстояние между коллекторными пластинами, куда припаиваются начало

и конец, принадлежащие одной секции, называется шагом по коллектору - y_k . В петлевой обмотке $y_k = 1$. Шаг y_k определяется числом коллекторных пластин.

Развернутая волновая обмотка имеет вид: (рис. 7.3.2).

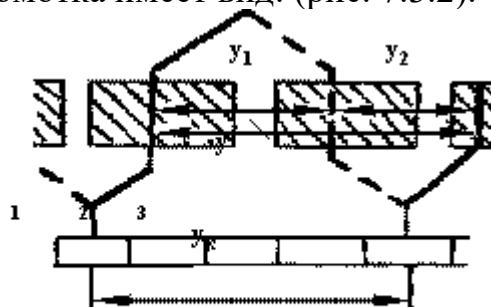


Рис. 7.3.2. Волновая обмотка якоря

Форма волновой обмотки отлична от петлевой и, следовательно, будет иное соединение секций. Однако шаги волновой обмотки имеют общее с петлевой определение. Шаг по коллектору здесь значительно больше единицы ($y_k \gg 1$).

7.4. ЭДС И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА

Как уже отмечалось, ЭДС, наведенная в обмотке вращающегося якоря генератора, пропорциональна магнитному потоку полюсов и частоте его вращения:

$$E = C_e \cdot n \cdot \Phi,$$

Магнитный поток в генераторе, как известно, создается током возбуждения I_B .

Если вращать якорь с постоянной частотой n и непрерывно измерять выходную ЭДС E , то можно построить график $E = f(I_B)$ (рис. 7.4.1).

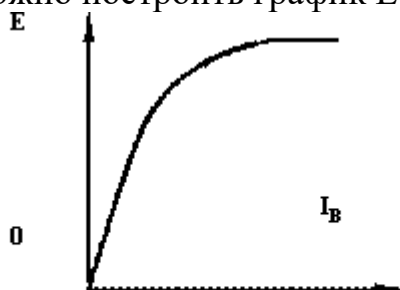


Рис. 7.4.1. Характеристика холостого хода.

Эта зависимость называется *характеристикой холостого хода*. Она строится для режима, когда генератор не имеет внешней нагрузки, т.е. работает вхолостую.

Если подключить к генератору нагрузку, то напряжение на его зажимах будет меньше E на величину падения напряжения в цепи якоря:

Здесь: U - напряжение на зажимах;

E - ЭДС в режиме х.х.;

$I_{\text{я}}$ - ток якоря;

$R_{\text{я}}$ - сопротивление в цепи якоря.

Падение напряжения в цепи якоря обычно не превышает 2-8 % ЭДС генератора.

Уменьшение напряжения на выходе генератора связано с размагничиванием машины магнитным полем якоря, а также падением напряжения в его обмотках.

В каждой машине постоянного тока имеет место взаимодействие между током якоря $I_{\text{я}}$ и магнитным потоком Φ . В результате на каждый проводник обмотки якоря действует электромагнитная сила:

$$F = B \cdot I_{\text{я}} \cdot L,$$

где B - магнитная индукция,

$I_{\text{я}}$ - ток в обмотке якоря,

L - длина якоря.

Направление действия этой силы определяется правилом левой руки.

Подставим сюда среднее значение магнитной индукции ВСП и величину тока в каждом проводнике обмотки якоря $I = I_{\text{я}} / 2$ а.

Получим

$$F = \frac{2 p \Phi}{\pi d L} L \frac{I_{\text{я}}}{2 a} = \frac{p}{\pi d a} \Phi \cdot I_{\text{я}}$$

Электромагнитный момент, действующий на якорь машины, при числе проводников обмотки N :

$$M = N \cdot F \cdot \frac{d}{2} = \frac{p N}{2 \pi a} \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}} \quad \text{или} \quad M = k \cdot \Phi \cdot I_{\text{я}},$$

где - $k = pN/2\pi a$ величина, постоянная для данной машины;

d - диаметр якоря;

p - число пар полюсов;

N - число проводников обмотки якоря;

a - число пар параллельных ветвей.

При работе машины в режиме генератора электромагнитный момент действует против вращения якоря, т.е. является тормозным.

Для привода генератора требуется электродвигатель мощность, которого должна покрыть все потери в генераторе:

$$P_{\text{мех}} = P + \sum P = \Delta P_{\text{я}} + \Delta P_{\text{в}} + \Delta P_{\text{м}} + \Delta P_{\text{мех}},$$

где P - полезная электрическая мощность генератора;

$\square P_{\text{я}}$ - потери в обмотке якоря;

$\square P_{\text{в}}$ - потери в обмотке возбуждения;

□ P_M - потери на намагничивание машины;

□ P_{MECH} - механические потери, связанные с трением вращающихся частей.

Коэффициент полезного действия генератора определяется отношением:

$$\eta = \frac{P}{P_{MECH}} = \frac{P}{P + \sum P}$$

У современных генераторов постоянного тока коэффициент полезного действия составляет 90-92 %.

7.5. ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В соответствии с принципом обратимости машина постоянного тока может работать как в качестве генератора, так и в качестве двигателя. Уравнение ЭДС для двигателя составлено на основании 2-го закона Кирхгофа с учетом направления ЭДС:

$$U + (-E) = I_A \cdot R_A,$$

откуда

$$U = E + I_A \cdot R_A = C \cdot \Phi_n \cdot I_A \cdot R_A$$

Ток в цепи якоря:

$$I_A = \frac{U - E}{R_A} = \frac{U - C_e \Phi_n}{R_A}$$

В соответствии с формулой $E_a = C_e \Phi_n$ частота вращения определяется выражением:

$$n = \frac{E}{C_e \Phi}$$

Подставим значение E из уравнения $U = E - I_A R_A$, получим:

$$n = \frac{U - I_A R_A}{C_e \Phi},$$

т.е. частота вращения двигателя прямо пропорциональна подведенному напряжению и обратно пропорциональна магнитному потоку возбуждения. Из этой формулы видно, что возможны пути регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока:

1. Изменением напряжения сети U . Регулируя подаваемое напряжение $U_{сети}$ можно менять частоту вращения.
2. Включением в цепь якоря добавочного сопротивления ($R'_A = R_A + R_{доб}$). Изменяя сопротивление $R_{доб}$, меняют частоту вращения.
3. Изменением магнитного потока Φ . Машины с постоянными магнитами не регулируются. Машины с электромагнитами позволяют регулировать поток Φ путем изменения тока возбуждения I_B .

На рис. 7.5.1. показана схема включения в сеть двигателя постоянного тока.

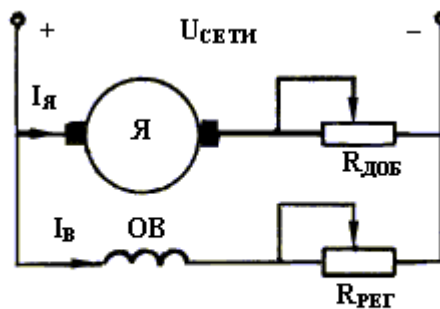


Рис. 7.5.1. Схема включения двигателя постоянного тока

По закону электромагнитной индукции при прохождении тока по обмотке якоря происходит взаимодействие ее проводников с магнитным полем полюсов. На каждый проводник обмотки будет действовать электромагнитная сила $P_{эм} = B_{ср}LI$, пропорциональная магнитной индукции полюсов B , длине проводника L и току I , протекающему по проводнику.

Направление действия этой силы определяется правилом правой руки. Не повторяя рассуждений, проведенных для генератора постоянного тока, запишем выражение для вращающего момента:

$$M = C_M \Phi I_я$$

где C_M - коэффициент пропорциональности. Вращающий момент у двигателей с независимым и параллельным возбуждением с увеличением нагрузки может как расти, так и уменьшаться, поскольку с ростом потребляемого тока I и размагничивания полюсов, уменьшается магнитный поток Φ .

$$M = C_M \cdot \overset{\uparrow}{\underset{\downarrow}{\Phi}} \cdot I_я$$

Двигатели с последовательным возбуждением имеют отличные от вышеприведенных двигателей характеристики. Из схемы, приведенной на рис. 7.2.1 в, видно, что магнитный поток в машине создается обмоткой возбуждения, включенной последовательно с обмоткой якоря. Следовательно, $I_в = I_я$ и выражение для вращающего момента будет иметь вид:

$$M = C'_M I_я I_я = C'_M I_я^2.$$

Последняя формула показывает, что чем больше нагрузка на двигатель, тем большим будет вращающий момент. Это обстоятельство делает двигатель с последовательным возбуждением незаменимым на электротранспорте (трамвае, троллейбусе и т.д.). Реверсирование или изменение направления вращения двигателей постоянного тока может осуществляться изменением полярности тока либо в обмотке якоря, либо в обмотке возбуждения.