А1-19 13.04.2020 понедельник3,4 урок А2-19 понедельник5,6 урок,

Каблуков.С.Г. kabiukovS@mail.ru

Тема: Исследование характеристик двигателя постоянного тока.

I. Теоретический материал: Исследование характеристик двигателя постоянного тока.

ВАЖНО Исследование двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

Несмотря на преимущественное распространение электроэнергии переменного тока в ряде отраслей промышленности широко используется и постоянный ток. В связи с этим находят широкое применение электрические машины постоянного тока.

Двигатели постоянного тока предназначены для преобразования электрической энергии постоянного тока в механическую энергию, которая передается через вал рабочему органу приводного механизма.

Двигатели постоянного тока обладают важными преимуществом перед другими электродвигателями: они позволяют плавно и в широких пределах регулировать скорость вращения и обладают большим пусковым и перегрузочными моментами, сравнительно высоким быстродействием, что важно при реверсировании и торможении.**ЗАПОМНИТЕ!**

В этом двигателе обмотка возбуждения включена последовательно в цепь якоря (рис. 29.9, *а*), поэтому **магнитный поток** $\boldsymbol{\Phi}$ в нем зависит от тока нагрузки $\boldsymbol{I = I_a = I_в}$. При небольших нагрузках магнитная система машины не насыщена и зависимость магнитного потока от тока нагрузки прямо пропорциональна, т. е. $\boldsymbol{\Phi = k_ф I_a}$ ($\mathbf{k_ф}$ — коэффициент пропорциональности). В этом случае найдем электромагнитный момент:

$$M = c_M \Phi I_a$$

$$M = c_M k_\Phi I_a I_a = c'_M I_a^2$$

Формула частоты вращения примет вид

$$n = \frac{U - I_a \sum r}{c_e k_\Phi I_a} = \frac{U - I_a \sum r}{c'_e I_a} \quad . (29.15)$$

На рис. 29.9, *б* представлены рабочие характеристики ***M = F(I)*** и ***n= (I)*** двигателя последовательного возбуждения. При больших нагрузках наступает насыщение магнитной системы двигателя. В этом случае магнитный поток при возрастании нагрузки практически не изменяется и характеристики двигателя приобретают почти прямолинейный характер. Характеристика частоты вращения двигателя последовательного возбуждения показывает, что частота вращения двигателя значительно меняется при изменениях нагрузки. Такую характеристику принято называть ***мягкой.***

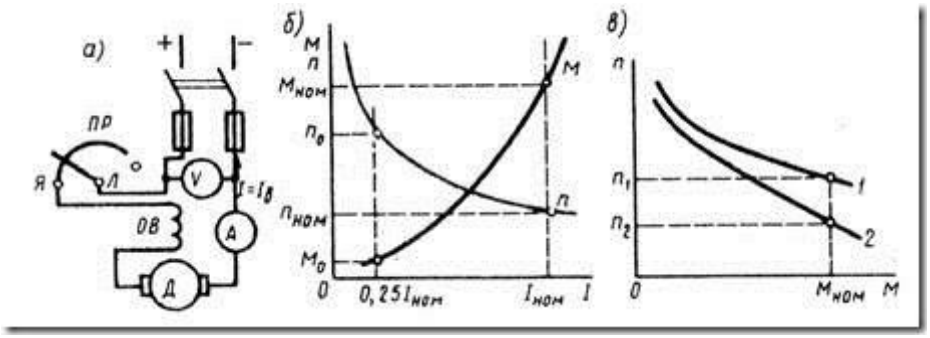

Рис. 29.9. Двигатель последовательного возбуждения:

***а*— принципиальная схема; *б* — рабочие характеристики; в — механические характеристики; *1* — естественная характеристика; *2* — искусственная характеристика**

При уменьшении нагрузки двигателя последовательного возбуждения частота вращения резко увеличивается и при нагрузке меньше 25% от номинальной может достигнуть опасных для двигателя значений («разнос»). Поэтому работа двигателя последовательного возбуждения или его пуск при нагрузке на валу меньше 25% от номинальной недопустима.

Для более надежной работы вал двигателя последовательного возбуждения должен быть жестко соединен с рабочим механизмом посредством муфты и зубчатой передачи. Применение ременной передачи недопустимо, так как при обрыве или сбросе ремня может произойти «разнос» двигателя. *Учитывая возможность работы двигателя на повышенных частотах вращения, двигатели последовательного возбуждения, согласно ГОСТу, подвергают испытанию в течение 2 мин на*

превышение частоты вращения на 20% сверх максимальной, указанной на заводском щите, но не меньше чем на 50% сверх номинальной.

Механические характеристики двигателя последовательного возбуждения ***n=f(M)***представлены на рис. 29.9, *в.* Резко падающие кривые механических характеристик (***естественная 1 и искусственная 2***) обеспечивают двигателю последовательного возбуждения устойчивую работу при любой механической нагрузке. Свойство этих двигателей развивать большой вращающий момент, пропорциональный квадрату тока нагрузки, имеет важное значение, особенно в тяжелых условиях пуска и при перегрузках, так как с постепенным увеличением нагрузки двигателя мощность на его входе растет медленнее, чем вращающий момент. Эта особенность двигателей последовательного возбуждения является одной из причин их широкого применения в качестве тяговых двигателей на транспорте, а также в качестве крановых двигателей в подъемных установках, т. е. во всех случаях электропривода с тяжелыми условиями пуска и сочетания значительных нагрузок на вал двигателя с малой частотой вращения.

Номинальное изменение частоты вращения двигателя последовательного возбуждения

$$\Delta n_{ном} = \frac{n_{[0,25]} - n_{ном}}{n_{ном}} 100\% \quad , (29.16)$$

где$\boldsymbol{n_{[0,25]}}$ — частота вращения при нагрузке двигателя, составляющей 25% от номинальной.

Частоту вращения двигателей последовательного возбуждения можно регулировать изменением либо ***напряжения U,*** либо магнитного потока обмотки возбуждения. В первом случае в цепь якоря последовательно включают регулировочный ***реостат*** $\boldsymbol{R_{рг}}$(рис. 29.10, *а*). С увеличением сопротивления этого реостата уменьшаются напряжение на входе двигателя и частота его вращения. Этот метод регулирования применяют главным образом в двигателях небольшой мощности. В случае значительной мощности двигателя этот способ неэкономичен из-за больших потерь энергии в $\boldsymbol{R_{рг}}$. Кроме того, ***реостат*** $\boldsymbol{R_{рг}}$,рассчитываемый на рабочий ток двигателя, получается громоздким и дорогостоящим.

При совместной работе нескольких однотипных двигателей частоту вращения регулируют изменением схемы их включения относительно друг друга (рис. 29.10, *б*). Так, при параллельном включении двигателей каждый из них оказывается под полным напряжением сети, а при последовательном включении двух двигателей на каждый двигатель приходится половина

напряжения сети. При одновременной работе большего числа двигателей возможно большее количество вариантов включения. Этот способ регулирования частоты вращения применяют в электровозах, где установлено несколько одинаковых тяговых двигателей.

Изменение подводимого к двигателю напряжения возможнопри питании двигателя от источника постоянного тока с регулируемым напряжением (например, по схеме, аналогичной рис. 29.6, *а*). При уменьшении подводимого к двигателю напряжения его механические характеристики смещаются вниз, практически не меняя своей кривизны (рис. 29.11).

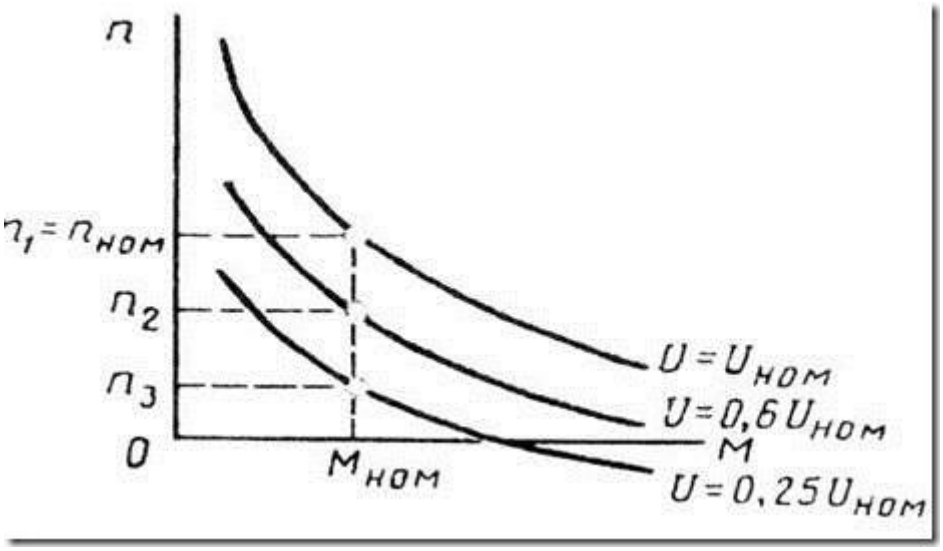

Рис. 29.11. Механические характеристики двигателя последовательного возбуждения при изменении подводимого напряжения

Регулировать частоту вращения двигателя изменением магнитного потока можно тремя способами: шунтированием обмотки возбуждения реостатом $r_{рг}$, секционированием обмотки возбуждения и шунтированием обмотки якоря реостатом $r_ш$. Включение реостата $r_{рг}$, шунтирующего обмотку возбуждения (рис. 29.10, *в*), а также уменьшение сопротивления этого реостата ведет к снижению тока возбуждения$I_в = I_а — I_{рг}$, а следовательно, к росту частоты вращения. Этот способ экономичнее предыдущего (см. рис. 29.10, *а*), применяется чаще и оценивается коэффициентом регулирования

$$k_{рг} = (I_{рг} / I_а) \cdot 100\% .$$

Обычно сопротивление реостата $r_{рг}$ принимается таким, чтобы$k_{рг} >= 50\%$.

При секционировании обмотки возбуждения (рис. 29.10, *г*) отключение части витков обмотки сопровождается ростом частоты вращения. При шунтировании обмотки якоря реостатом $r_ш$(см. рис. 29.10, *в*) увеличивается ток возбуждения $I_в = I_а + I_{рг}$, что вызывает уменьшение частоты вращения. Этот

способ регулирования, хотя и обеспечивает глубокую регулировку, неэкономичен и применяется очень редко.

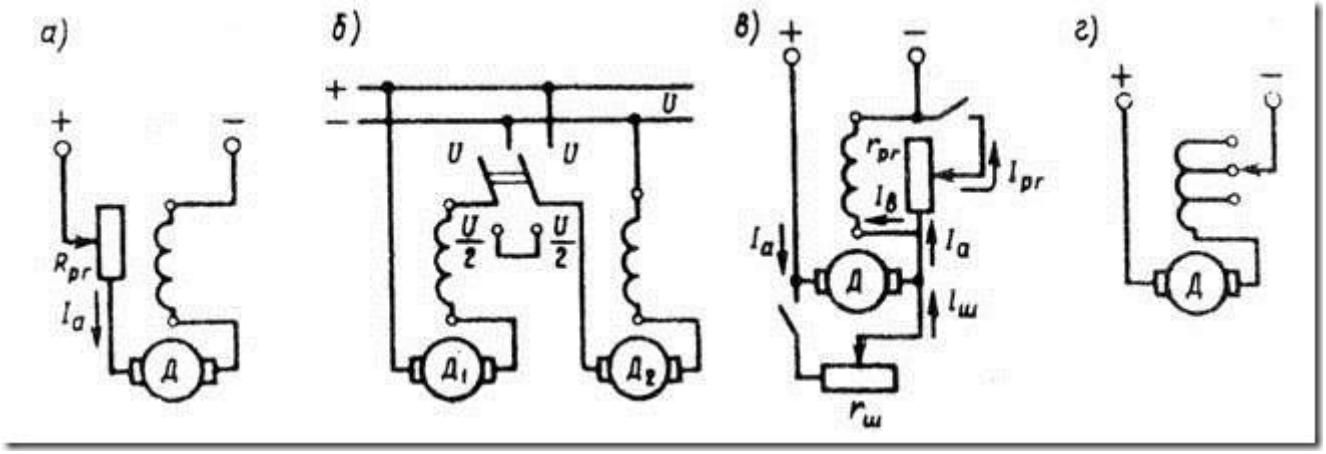

Рис. 29.10. Регулирование частоты вращения двигателей последовательного возбуждения.

Классификация машин постоянного тока

Машины постоянного тока (двигатели и генераторы) различают по способу включения обмоток главных полюсов или возбуждения в сеть .

- машины постоянного тока с независимым возбуждением , электрическая цепь обмотки возбуждения является независимой от силовой цепи ротора; для генераторов это практический единственный вариант схемного решения;

- машины постоянного тока с параллельным возбуждением ,обмотка возбуждения включается параллельно с цепью якоря;

- машины постоянного тока с последовательным возбуждением обмотка статора включается последовательно с обмоткой ротора, что обуславливает зависимость магнитного потока от тока якоря; на практике такой способ возбуждения используются редко;

- машины постоянного тока со смешанным возбуждением присутствуют две обмотки возбуждения: параллельно и последовательно включенные с цепью якоря.

Принцип работы двигателя постоянного тока

Принцип действия двигателя параллельного возбуждения рассмотрим по схеме где

N, S - главные полюса,

Ф - основной магнитный поток,

$Ф_п$ - поперечный магнитный поток двигателя,

$I_я$ - ток якорной цепи, $I_в$ - ток возбуждения,

F - электромагнитные силы,

$M_э$ - электромагнитный вращающий момент,

M_c - момент сопротивления приводного механизма,

? - угловая частота вращения якоря,

U - напряжение источника питания двигателя,

E - противо-ЭДС обмотки якоря.

Принцип действия двигателя параллельного возбуждения

К цепи обмотки возбуждения и якорной цепи подведено напряжение U от одного источника постоянного тока.

Под воздействием этого напряжения в обмотке возбуждения проходит ток $I_в$, создающий постоянную намагничивающую силу $I_в w_в$, которая возбуждает неподвижный в пространстве основной магнитный поток Ф, направление которого зависит от направления тока в обмотке возбуждения. Направление магнитного потока определяется правилом правоходового винта: вращательное движение винта направляют по току в обмотке возбуждения, тогда поступательное движение винта покажет направление магнитного потока. Полярность главных полюсов N, S зависит от направления магнитного потока..

В якорной цепи двигателя проходит ток $I_я$. Щетками, прижимаемыми к коллектору, обмотка якоря делится на параллельные ветви. Число пар щеток **(+, -)** равно числу пар главных полюсов p.

Секция обмотки якоря укладывается в пазы сердечника якоря таким образом, чтобы ее активные проводники находились под разноименными полюсами. Поэтому, если в верхнем активном проводнике, расположенном под северным полюсом , ток направлен от переднего торца якоря к заднему (обозначен крестиком), то в нижнем проводнике этой секции, расположенном под южным полюсом, ток направлен в обратную сторону (обозначен точкой). Следовательно, во всех проводниках, расположенных под одним полюсом, направление токов одинаково.

На проводники с током, находящиеся в магнитном поле, действуют электромагнитные силы, направление которых определяются правилом левой

руки: левая рука располагается так , чтобы линии магнитного поля входили в ладонь, четыре пальца направляются по току в проводнике, тогда большой палец, отогнутый на 90 градусов, покажет направление силы.

При указанном направлении тока в обмотке якоря и полярности полюсов электромагнитные силы F, приложенные к верхним и нижним проводникам, создают электромагнитный момент, который вращает якорь в направлении против движения часовой стрелки со скоростью n, об/мин.

При вращении якоря активные проводники обмотки меняют свое расположение, переходя от одного полюса под другой, проходя через геометрическую нейтраль - линию, проведенную через щетки .

В результате воздействия магнитного поля двигателя на все проводники с током возникают электромагнитные силы, которые создают электромагнитный вращающий момент

$$\mathbf{M_{вр}, Н\cdot м = C_M I_я Ф,}$$

где См - конструктивная постоянная машины, зависящая от числа пар полюсов p, числа активных проводников N, числа пар параллельных ветвей *a* обмотки якоря.

При вращении якоря проводники его обмотки пересекают основной магнитный поток и в них на основании закона электромагнитной индукции индуцируется ЭДС. Ее направление определяется правилом правой руки: правая рука располагается так , чтобы линии магнитного поля входили в ладонь, большой палец, отогнутый на 90 градусов, направляется в сторону перемещения проводника, тогда четыре пальца покажут направление ЭДС. Видно, что направления этих ЭДС противоположно направлению тока в обмотке, поэтому их называют противоЭДС. Величина ЭДС

$$\mathbf{E_я = C_E n Ф,}$$

где**Ce -** конструктивная постоянная машины.

Ток в проводниках обмотки якоря образует магнитное поле якоря, направление которого определяется правилом правоходового винта. При указанных направлениях тока магнитный поток этого поля $Ф_п$ направлен перпендикулярно основному (продольному) потоку Ф. Поэтому он называется *поперечным.*

При взаимодействии двух полей результирующее магнитное поле искажается. Под сбегающими краями главных полюсов магнитные потоки направлены встречно и результирующее магнитное поле ослабляется, а под набегающими - усиливаются, так как потоки направлены одинаково.

Для компенсации поперечного магнитного поля применяют дополнительные полюса $N_д$, $S_д$, обмотки которых включены последовательно с обмоткой якоря. Магнитный поток дополнительных полюсов направлен встречно потоку поперечного поля. и пропорциональны ему. Поэтому независимо от режима работы двигателя магнитный поток дополнительных полюсов всегда будет компенсировать магнитный поток поперечного поля.

В соответствии со вторым законом Кирхгофа:

КПД и потери мощности машин постоянного тока

Потери в электрических машинах делят на основные и добавочные. К основным потерям относят электрические, магнитные и механические.

Электрические потери ?Рэл или потери в меди обмоток, состоят из потерь в активных сопротивлениях обмоток и потерь в переходном сопротивлении щеточного контакта. Они определяются, как суммарные потери в обмотке якоря

Рэля = Rя Iя^2,

где$R_я$ - сопротивление цепи обмотки якоря с учетом переходного сопротивления щеточного контакта.

Магнитные потери или потери в стали обозначают P_c. В процессе работы сердечник якоря машины постоянного тока перемагничивается. Поэтому в сердечнике якоря возникают потери на вихревые токи и гистерезис.

Механические потери $P_{мех}$ состоят из потерь на трение в подшипниках, потерь на трение щеток о коллектор, потерь на трение вращающихся частей машины о воздух, а также потерь вентиляционных.

Все потери, неучтенные как основные, называются добавочными. Добавочные потери возникают в стали сердечника и обмотке якоря. В стали - из-за искажения основного поля реакцией якоря, вследствие зубчатого строения сердечника якоря, потери в стяжных болтах и в проволочных бандажах и т.п. В обмотке якоря - в коммутирующих секциях, от вихревых токов в обмотке, в уравнительных соединениях.

Суммарные потери равны

.

В режиме холостого хода электрические потери незначительны, мощность потребляемая машиной из сети

$\mathbf{P_0 = P_{мех} + P_C}$**.**

Потери холостого хода называют *постоянными потерями*, так как они не зависят от нагрузки.

Электрические потери называют *переменными потерями*

$\mathbf{P_{элЯ} = R_Я\ I_Я^2}$**.**

Коэффициент полезного действия (КПД) определяется как отношение полезной, или отдаваемой, мощности P_2 к потребляемой мощности P_1

или в процентах 100 %.

Электрическая мощность, потребляемая двигателем из сети

$\mathbf{P_1 = P_я + P_в}$**,**

где$\mathbf{P_я = U_н I_я}$ **-** мощность якорной цепи,

$\mathbf{P_в = U_н I_в}$ **- мощность** цепи возбуждения.

Для двигателя параллельного возбуждения

$\mathbf{P_1 = UI_д = U_н(I_я + I_в)}$ **.**

Механическая мощность на валу двигателя, отдаваемая приводному механизму $\mathbf{P_2 = M}$**.**

Современные машины постоянного тока имеют высокий КПД, который в зависимости от мощности, колеблется в пределах $_н$ **= 0,75-0,96**. Высшее значение КПД относится к машинам большей мощности.

Рабочие характеристики двигателя представляют собой зависимости скорости вращения n, потребляемого тока I и мощности P_1, момента на валу двигателя M, коэффициента полезного действия от полезной мощности P_2 при неизменном значении напряжения питания $\mathbf{U_н = const}$, тока обмотки возбуждения $I_{вн}$=const и отсутствии добавочного сопротивления в якорной **цепи** $\mathbf{R_{д\ я} = 0}$**.** Они дают возможность судить об эксплуатационных свойствах двигателей и определять наиболее экономичные их режимы работы в условиях производства.

Механическая характеристика двигателя постоянного тока

Механическими характеристиками двигателя называются зависимости установившейся частоты вращения от момента на валу двигателя .

Характеристики называют естественными, если они получены при номинальных условиях питания (при номинальном напряжении), номинальном возбуждении и отсутствии добавочных сопротивлений в цепи якоря.

Характеристики двигателя называются искусственными при изменении любого из перечисленных выше факторов.

Регулирование скорости вращения ДПТ

Существует три основных способа регулирования частоты вращения машин постоянного тока: реостатное регулирование, регулирование изменением магнитного потока, регулирование изменением напряжения сети.

<u>Вопросыдля ответов в письменной форме:</u>

1. Устройство и назначение основных элементов двигателя постоянного тока.

2. Классификация машин постоянного тока по способу возбуждения.

3. Коэффициент полезного действия ДПТ. Зависимость КПД от нагрузки.

4. Механические естественные и искусственные характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

5. Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока.

ЗАПОМНИТЕ!

Рекомендуемое время работы – 1 час.20 мин