

Электромашинные устройства постоянного тока

Учебные вопросы:

1. Характеристики и свойства ДПТ параллельного возбуждения.
2. Характеристики и свойства ДПТ последовательного возбуждения.
3. Характеристики и свойства ДПТ смешанного возбуждения.
4. Регулирование частоты вращения ДПТ.

1. Характеристики и свойства ДПТ параллельного возбуждения.

Принципиальная электрическая схема испытания двигателя параллельного возбуждения представлена на рис. 1 .

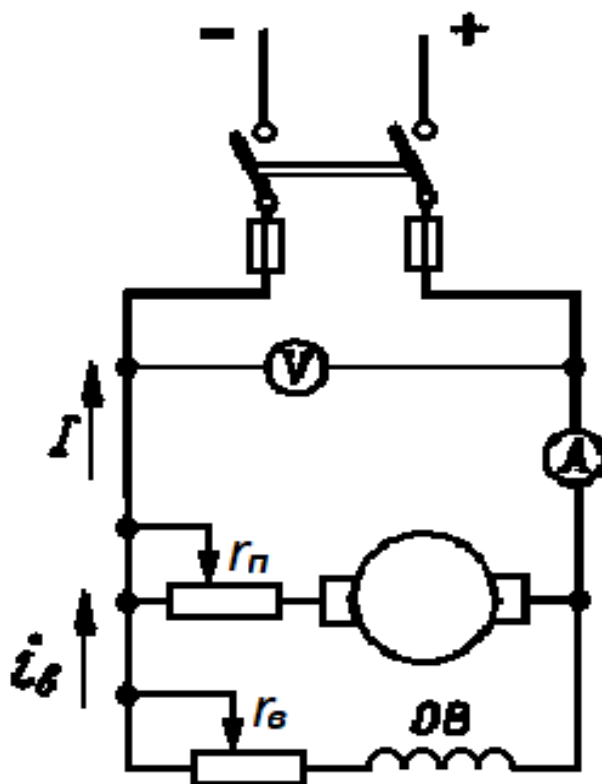


Рисунок 1. Принципиальная электрическая схема испытания двигателя параллельного возбуждения

Ток, потребляемый таким двигателем из сети, равен сумме токов якоря и возбуждения, т.е. $I = I_a + I_b$.

$$\text{Ток в цепи возбуждения двигателя } I_b = \frac{U}{R_b} = \frac{U}{r_b + R_{pb}},$$

где r_b – сопротивление параллельной обмотки возбуждения;

R_{pb} – сопротивление регулировочного реостата в цепи возбуждения.

Обмотка возбуждения двигателя включена на полное напряжение сети U с целью выполнения первого условия пуска. Ее нельзя включать непосредственно на зажимы якоря (такое соединение указано на схеме пунктиром), так как при этом в момент пуска двигателя к цепи возбуждения прикладывается не полное напряжение сети, а напряжение за вычетом падения напряжения на пусковом реостате $R_{п}$, которое в момент пуска составляет примерно 80% от напряжения сети. Это обычно приводит к тому, что ток возбуждения и магнитный поток двигателя будут значительно меньше своих номинальных значений, и пусковой момент $M_{п} = c_m I_{ап} \Phi$ может оказаться недостаточным для того, чтобы двигатель мог тронуться с места.

1.1. Рабочие характеристики двигателей параллельного возбуждения выражают зависимости частоты вращения n , вращающего момента M и коэффициента полезного действия η от тока якоря I_a , изменяющегося вместе с изменением нагрузки на валу (или зависимости тех же величин от полезной мощности на валу двигателя P_2) при постоянном напряжении сети U и неизменном токе возбуждения I_b , т.е. $n, M, \eta = f(I_a)$ при $U = \text{const}$ и $I_b = \text{const}$.

При этом зависимость $n = f(I_a)$ называется частотной или скоростной, а $M = f(I_a)$ – моментной характеристикой двигателя.

Скоростная характеристика

Для оценки эксплуатационных возможностей двигателей особое значение имеет скоростная характеристика $n = f(I_a)$. В соответствии с тем, что

$$n = \frac{U - I_a R_a}{c_c \Phi}, \text{ при } U = \text{const} \text{ и } I_b = \text{const} \text{ увеличение падения напряжения}$$

в цепи якоря ($I_a R_a$) и уменьшению n , но, с другой стороны, размагничивающее действие реакции якоря несколько уменьшает результирующий поток в машине Φ и увеличивает n .

Обычно влияние падения напряжения преобладает над размагничивающим действием реакции якоря, и потому зависимость $n = f(I_a)$ представляет падающую характеристику, имеющую небольшой наклон к оси абсцисс.

Частота вращения при изменении нагрузки в рабочем диапазоне у двигателей параллельного возбуждения изменяется всего на 3-10%, поэтому такая характеристика называется жесткой.

Моментная характеристика

Момент, развиваемый двигателем, равен $M_{\pi} = c_m I_a \Phi$. При $I_b = \text{const}$ магнитный поток двигателя параллельного возбуждения Φ при изменении нагрузки в пределах номинальной практически остается постоянным (если пренебречь небольшим размагничивающим действием реакции якоря).

Поэтому $M = c I_a$ и следующая моментная характеристика графически иллюстрируется линейной функцией. При больших нагрузках на валу (при больших токах I_a) характеристика $M = f(I_a)$ отклоняется от линейной зависимости в сторону оси абсцисс в связи с усилением проявления размагничивающего действия реакции якоря, приводящего к существенному ослаблению основного магнитного потока Φ .

В установившемся режиме работы вращающий момент двигателя $M = M_{\text{сг}} = M_2 + M_0$ уравнивается полезным моментом нагрузки на валу и моментом холостого хода: $M = M_2 + M_0$.

Так как момент холостого хода M_0 , определяемый потерями в стали и механическими потерями, практически не зависит от нагрузки на валу, то характеристика полезного вращающего момента $M_2 = f(I_a)$ располагается ниже кривой полного момента $M = f(I_a)$ на постоянную величину M_0 .

η (КПД) ДПТ параллельного возбуждения определяется:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100\% = \frac{1,027 M_2 n}{U(I_a + I_d)} \cdot 100\%$$

Здесь M_2 – полезный вращающий момент на валу двигателя в кГм.

Кривая изменения к.п.д. $\eta = f(I_a)$ имеет типичный для электрических машин характер: к.п.д. быстро растет при увеличении нагрузки от холостого хода до половины номинальной и достигает своего максимального значения

при нагрузке, равной примерно (0,75-1,0) от номинальной. При этом максимум к.п.д. получается при нагрузке, когда постоянные потери (потери ХХ), не зависящие от тока I_a , равны переменным потерям (потерям в меди), зависящим от тока якоря. При дальнейшем увеличении нагрузки, когда переменные потери начинают превалировать над потерями постоянными, к.п.д. двигателя уменьшается.

1.2. Механические характеристики ДПВ

Механические характеристики двигателя параллельного возбуждения имеют большое значение в оценке рабочих свойств при эксплуатации таких двигателей в системе приводов. Они выражают зависимость $n = f(M)$ при $U = \text{const}$ и $I_b = \text{const}$.

Характер этих зависимостей вытекает из выражения

$$n = \frac{U - I_a R_a}{c_c \Phi} = \frac{U}{c_c \Phi} - \frac{\frac{M}{c_M \Phi} R_a}{c_c \Phi} = n_0 - M \frac{R_a}{c_c c_M \Phi^2}$$

При постоянном магнитном потоке Φ семейство механических характеристик проходит через одну точку n_0 – скорость вращения идеального холостого хода – и отличается от скоростных характеристик только масштабом по оси абсцисс.

При включении добавочного регулировочного сопротивления в цепь якоря R_{pa} эти характеристики проходят более круто, и частота (скорость) вращения n при одном и том же тормозном моменте на валу снижается.

Механическая характеристика, определенная без регулировочных сопротивлений цепи якоря и цепи возбуждения, называется основной механической характеристикой.

2. Характеристики и свойства ДПТ последовательного возбуждения

Принципиальная схема испытаний ДПТ последовательного возбуждения представлена на рис. 2. В таких двигателях ток якоря I_a является одновременно и током возбуждения I_b , и током, потребленным двигателем из сети I . Поэтому при изменении нагрузки на валу у них одновременно изменяется как ток

в якоре, так и ток в обмотке возбуждения, и соответственно, магнитный поток полюсов Φ . Таким образом, характерной особенностью ДПТ последовательного возбуждения является зависимость магнитного потока от нагрузки. Благодаря этому ДПТ последовательного возбуждения обладают свойствами и характеристиками, существенно отличающимися от рассмотренных свойств и характеристик параллельного возбуждения.

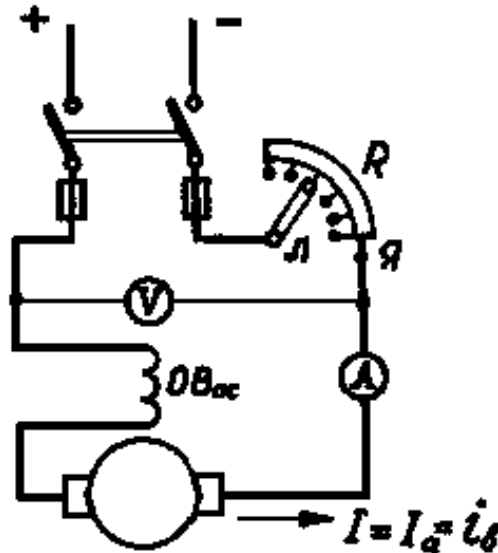


Рисунок 2. Принципиальная электрическая схема испытания двигателя последовательного возбуждения

2.1. Рабочие характеристики двигателей последовательного возбуждения, выражающие зависимости n , M , $\eta = f(I_a)$ при $U = U_n = \text{const}$.

Пуск в ход двигателя последовательного возбуждения протекает в основном так же, как и у двигателя параллельного возбуждения, однако имеется и существенная разница, заключающаяся в том, что двигатель последовательного возбуждения во избежание чрезмерного увеличения его скорости вращения («разноса»), ни в коем случае нельзя пускать вхолостую и при небольших нагрузках на валу. Это вытекает из свойства его скоростной характеристики $n = f(I_a)$ и показано на рис. участком «нерабочая зона».

Действительно, зависимость $n = f(I_a)$ при $U = \text{const}$ и ненасыщенной магнитной цепи, когда магнитный поток $\Phi = \kappa_\Phi I_a$, у двигателя последовательного возбуждения выражается следующим образом:

$$n = \frac{U - I_a(R_a + r_e)}{c_c \Phi} = \frac{U}{c_c \kappa_\Phi I_a} - \frac{R_a + r_e}{c_e \kappa_\Phi}$$

Здесь r_b – сопротивление последовательной обмотки возбуждения.

Следовательно, скорость вращения n у такого двигателя, при изменении нагрузки (I_a) изменяется по гиперболической зависимости. Увеличение нагрузки на валу приводит к резкому снижению скорости вращения. Такая скоростная характеристика двигателя называется мягкой.

При уменьшении нагрузки на валу одновременно уменьшаются ток якоря I_a и поток Φ двигателя, что приводит к сильному возрастанию скорости вращения n . При значительном уменьшении нагрузки, и особенно при холостом ходе, скорость вращения может превысить механически допустимые для целостности двигателя пределы, и он может потерпеть аварию (разрыв бандажей, порча обмотки, заклинивание якоря в статоре и т.д.).

Для предупреждения такого «разноса» двигатель последовательного возбуждения обычно ставят в такие условия, чтобы он не мог внезапно сбросить нагрузку, с этой целью такие двигатели жестко сочленяются с приводным механизмом (зубчатой передачей или глухой муфтой).

По мере роста тока I_a магнитная система двигателя насыщается и нарастание потока Φ замедляется.

При сильном насыщении (при нагрузках, больших номинальной), когда поток Φ почти остается постоянным, скоростная характеристика становится жесткой, нижняя ее часть переходит в прямую, располагаемую несколько выше гиперболы, изображенной на графике пунктиром.

В соответствии со скоростной характеристикой двигателя последовательного возбуждения находится его моментная характеристика $M = f(I_a)$.

Вращающий момент такого двигателя при небольших нагрузках, в пределах до насыщения стали магнитной системы, пропорционален I_a^2 , так как поток $\Phi = \kappa_\Phi I_a$, а момент

$$M = c_M I_a \Phi = c_M \kappa_\Phi I_a^2 = \kappa_M I_a^2,$$

т.е. кривая моментной характеристики $M = f(I_a)$ в начальной ее части является параболой.

При больших нагрузках, вследствие насыщения магнитной системы, поток практически не зависит от тока якоря, и кривая $M = f(I_a)$ из параболы переходит почти в прямую.

Свойство двигателя последовательного возбуждения развивать момент, примерно пропорциональный квадрату тока, имеет важное значение, особенно

в тех случаях, когда нужен большой пусковой момент и когда необходима большая перегрузочная способность двигателя.

Другое свойство двигателя последовательного возбуждения – снижение скорости вращения с увеличением нагрузки (мягкая скоростная характеристика) – также является ценным для некоторых приводов, благодаря ему работа таких двигателей в условиях сильно меняющейся нагрузки происходит без

больших толчков тока в сети. При изменении нагрузочного момента в широких пределах мощность на валу P_2 , а следовательно, и мощность, потребляемая из сети P_1 , и ток якоря I_a у двигателей последовательного возбуждения изменяется в меньших пределах, чем у двигателей параллельного возбуждения.

Такие двигатели лучше переносят перегрузки. В отношении к.п.д. между двигателем параллельного возбуждения и двигателем последовательного возбуждения принципиальной разницы нет.

Для двигателя последовательного возбуждения расчетная функция для определения к.п.д. при испытаниях имеет вид:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \% = \frac{1,028 M_2 n}{UI}$$

Здесь $I = I_a = I_b$ – ток, потребляемый двигателем из сети. Характер изменения кривой $\eta = f(I_a)$ такой же, как у двигателя с параллельным возбуждением.

2.2. Механические характеристики двигателя последовательного возбуждения $n = f(M)$ при $U = U_H = \text{const}$ так же, как и скоростные, имеют гиперболический характер изменения и описываются следующим уравнением:

$$n = \frac{U}{c_e \kappa_\phi I_a} - \frac{R_a + R_s}{c_e \kappa_\phi} = \frac{U \sqrt{c_M}}{c_e \sqrt{\kappa_\phi} \sqrt{M}} - \frac{R_a + R_s}{c_e \kappa_\phi}$$

3. Характеристики и свойства двигателей смешанного возбуждения.

Принципиальная электрическая схема испытания двигателя смешанного возбуждения изображена на рис. 3.

В таких двигателях параллельная и последовательная обмотки возбуждения расположены на одних и тех же сердечниках основных полюсов и могут

быть включены согласно, когда их м.д.с., а следовательно, и магнитные потоки складываются, и встречно, когда их м.д.с. и потоки вычитаются.

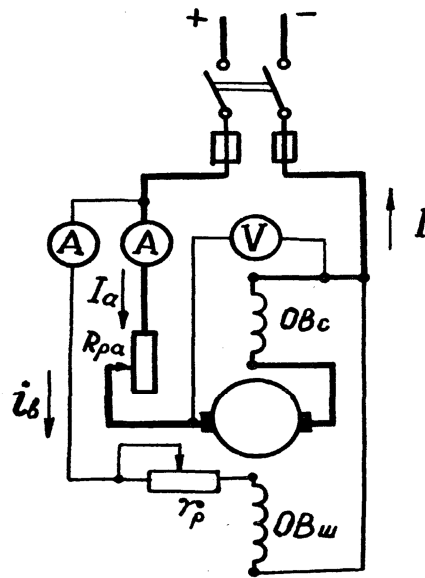


Рисунок 3. Принципиальная электрическая схема испытания двигателя смешанного возбуждения

В случае ненасыщенной магнитной цепи двигателя смешанного возбуждения выражения для момента и скорости можно записать следующим образом:

$$M = c_M I_a (\Phi_{ш} \pm \Phi_c) \quad \text{и} \quad n = \frac{U - I_a (R_a + R_{вс})}{c_e (\Phi_{ш} \pm \Phi_c)},$$

Здесь $R_{вс}$ – сопротивление последовательной обмотки возбуждения;

$\Phi_{ш}$, Φ_c – соответственно поток параллельной и последовательной обмоток возбуждения.

Нормальным режимом работы двигателя смешанного возбуждения является работа при согласном включении параллельной и последовательной обмоток возбуждения.

Наличие двух обмоток обеспечивает двигателю смешанного возбуждения способность иметь промежуточные свойства между двигателями параллельного и последовательного возбуждения.

Выбор свойств, предъявляемых к двигателю, определяется требованиями приводного механизма. Там, где требуется сохранение постоянной скорости при изменении нагрузки на валу, т.е. когда предъявляются требования, близкие

к свойствам двигателя параллельного возбуждения, берется такой двигатель смешанного возбуждения, у которого составляющая его общей м.д.с., создаваемая последовательной обмоткой возбуждения, мала; при этом двигатель будет иметь рабочие характеристики, приближающиеся к характеристикам двигателя параллельного возбуждения.

В случае требований, близких к свойствам двигателя последовательного возбуждения, составляющая общей м.д.с., создаваемая последовательной обмоткой возбуждения, должна быть больше по сравнению с составляющей м.д.с. параллельной обмотки возбуждения

$$I_a w_c > I_b w_{ш}.$$

Для получения одинаковых номинальных данных в одном и том же двигателе при параллельном и последовательном возбуждении число витков катушек возбуждения полюсов должно быть выбрано таким образом, чтобы при номинальном токе $I_{ан}$ м.д.с. параллельной и последовательной обмоток были равны, т.е.

$$I_{ан} w_c = I_b w_{ш}.$$

В этом случае при номинальных данных скоростные и моментные характеристики двигателя при параллельном и последовательном возбуждении пересекаются в одной точке (А.Б.). При выполнении этой же машины со смешанным возбуждением сохранение ее номинальных данных может быть обеспечено при условии, если сумма м.д.с. обеих обмоток возбуждения при $I_a = I_{ан}$ остается равной прежнему значению при одном параллельном (или последовательном) возбуждении, т.е.

$$I_{ан} w'_c + I'_b w'_{ш} = I_b w_{ш}.$$

При этом, как уже отмечалось, если преобладает м.д.с. последовательной обмотки, то рабочие характеристики двигателя приближаются к характеристикам при последовательном возбуждении.

Однако даже наличие небольшой м.д.с., созданной параллельной обмоткой, предотвращает «разнос» двигателя при отсутствии нагрузки на валу. Наоборот, если преобладает м.д.с., созданная параллельной обмоткой возбуждения, то характеристики двигателя приближаются к характеристикам при параллельном возбуждении.

Наличие последовательной обмотки с небольшим числом витков в этом случае значительно «смягчает» скоростную характеристику. Таким образом,

характеристики двигателя смешанного возбуждения всегда располагаются между характеристиками того же двигателя, но выполненного с параллельным и последовательным возбуждением, что наглядно иллюстрируется на графиках.

Достоинством двигателя смешанного возбуждения является то, что он, обладая мягкой скоростной и механической характеристикой, может работать при отсутствии полезной нагрузки на валу, не разгоняясь до опасных частот (скоростей) вращения.

4. Регулирование частоты вращения ДПТ.

Из выражения для частоты вращения ДПТ

$$n = \frac{\uparrow\downarrow U - I_a R_a \downarrow\uparrow}{c_e \Phi \uparrow\downarrow}$$

следует, что регулирование можно производить следующими тремя способами:

- 1) изменением подводимого к двигателю напряжения сети U ($U = U_{ar}$) (система генератор-двигатель будет рассматриваться в электроприводах);
- 2) изменением падения напряжения в цепи якоря $I_a(R_a + R_{pa})$;
- 3) изменением магнитного потока.

Первый способ сложен и дорог в осуществлении и применяется в тех случаях, когда данный двигатель получает питание от отдельного генератора (Г-Д).

Второй и третий способ регулирования n широко распространены в технике. Применение этих способов позволяет осуществить плавное и часто весьма экономичное регулирование скорости вращения двигателя в достаточно широких пределах. Именно эта возможность является одним из самых ценных преимуществ ДПТ перед другими электродвигателями и в ряде случаев делает их незаменимыми. Регулирование частоты вращения двигателя параллельного возбуждения изменением падения напряжения в цепи якоря осуществляется включением регулировочного реостата R_{pa} последовательно с цепью якоря аналогично R_n (регулирование вниз $n \downarrow$).

Регулирование скорости вращения третьим способом – ослаблением поля возбуждения – осуществляется с помощью R_p -регулирующего реостата. Такой способ регулирования весьма экономичен, так как потери в цепи воз-

буждения ввиду малости тока возбуждения невелики (регулирование вверх $n \uparrow$).

Следует обратить особое внимание на то, что при малых токах возбуждения, и особенно при обрыве цепи возбуждения ($I_b = 0$), скорость вращения двигателя при отсутствии нагрузки на валу может возрасти до пределов опасных для целостности самого двигателя (двигатель «идет вразнос»). Поэтому цепь возбуждения двигателя параллельного возбуждения при испытаниях разрывать нельзя.

Выводы по ДПТ

Из рассмотренных характеристик и свойств ДПТ параллельного, последовательного и смешанного возбуждения можно сделать следующие выводы.

1. Такие двигатели находят широкое применение в современных быстродействующих автоматических установках, где требуется регулировать скорость вращения в широких пределах и иметь достаточные пусковые моменты.

2. Недостатком, ограничивающим их применение в современной технике, является наличие скользящего контакта между коллектором и щетками. Щеточно-коллекторный узел таких двигателей требует постоянного наблюдения и ухода, понижает надежность работы и является источником радиопомех и т.д.

Однако, несмотря на это, ДПТ, благодаря своим хорошим рабочим и пусковым характеристикам, широко применяются в современной технике.