

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА.

1. Общие сведения о машинах переменного тока.
2. Вращающееся магнитное поле.
3. Устройства и принцип действия асинхронного двигателя.
4. Влияния скольжения на ЭДС, сопротивление и ток ротора.
5. Вращающий момент асинхронного двигателя.
6. Пуск и регулирование частоты вращения асинхронного двигателя.
7. Однофазный асинхронный двигатель.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ.

В электрических машинах осуществляется взаимное преобразование механической и электрической энергии. Так, для выработки электрической энергии на электростанциях применяются генераторы — электрические машины, преобразующие механическую энергию в электрическую. Машины, преобразующие электрическую энергию в механическую, называются электродвигателями.

Одна и та же электрическая машина может работать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя. Это свойство электрических машин называют обратимостью. Принцип обратимости электрических машин был впервые установлен русским ученым Э. Х. Ленцем.

Использование электрических машин в качестве генераторов и двигателей является их главным назначением. Применение электрических машин в различных отраслях техники может иметь и другие цели. Так, для преобразования тока промышленной частоты в ток более высокой частоты используются электромашинные преобразователи, для усиления мощности электрических сигналов — электромашинные усилители, для регулирования напряжения переменного тока — индукционные регуляторы, для повышения коэффициента мощности потребителей — синхронные компенсаторы. Очень разнообразно применение электрических машин в устройствах автоматики и вычислительной техники. Здесь электрические машины используются не только в качестве двигателей, но и в качестве тахогенераторов (для преобразования частоты вращения в электрический сигнал), сельсинов, вращающихся трансформаторов (для получения электрических сигналов, пропорциональных углу поворота вала) и т. д.

Различают электрические машины постоянного тока и машины переменного тока.

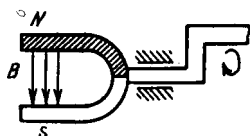
Машины переменного тока делят на асинхронные и синхронные.

Асинхронные машины используются главным образом в качестве двигателей, синхронные — в качестве генераторов и двигателей. Синхронные

двигатели применяются в тех случаях, когда необходима постоянная частота вращения. Асинхронные двигатели используются для привода машин и механизмов, не требующих строго постоянной частоты вращения.

В бытовых электроустановках (холодильниках, стиральных машинах и др.) обычно применяются однофазные асинхронные двигатели. В промышленности наиболее широко используются трехфазные асинхронные двигатели, поэтому далее им уделяется особое внимание.

Первый трехфазный асинхронный двигатель был создан русским изобретателем М. О. Доливо-Добровольским. В настоящее время выпускаются различные типы трехфазных асинхронных двигателей мощностью от десятков ватт до тысяч киловатт.



В электрических машинах четко выделяется подвижная часть, называемая ротором, и неподвижная — статор. Ротор двигателя, вращаясь, приводит в действие различные механизмы и транспортные средства. Вращение

Рис. 1. ротора синхронных и асинхронных двигателей осуществляется под действием так называемого вращающегося магнитного поля, образуемого многофазным переменным током, протекающим в обмотках статора. Модель вращающегося магнитного поля показана на (рис. 1).

ВРАЩАЮЩЕЕСЯ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ.

Изучим условия, при которых образуется вращающееся магнитное поле, на примере трехфазной машины. В трехфазном генераторе в обмотках статора, соединенных звездой и сдвинутых под углом 120° по отношению друг к другу, индуцируются ЭДС за счет вращения магнитного поля ротора. Если же этот статор включить в трехфазную сеть, то токи его обмоток образуют вращающееся магнитное поле. Почему?

Токи I_A, I_B, I_C обмоток статора создают симметричную систему векторов магнитной индукции B_A, B_B, B_C (рис.2), сдвинутых под углом 120° по отношению друг к другу.

Верно ли, что при этом магнитная индукция суммарного магнитного поля статора $B = B_A + B_B + B_C$ равна нулю? — а) да; б) нет.

Из (рис.2) видно, что в любой момент времени t сумма мгновенных значений магнитных индукций равна нулю, а также сумма векторов $B_A + B_B + B_C = 0$. Но это справедливо для случая, когда обмотки не сдвинуты в пространстве. Так, в момент времени, когда $B_C = 0$ (точка t_1 рис.2), мгновенные значения B_A и B_B направлены навстречу друг другу и равны по модулю.

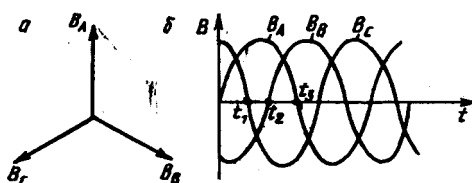


Рис. 2.

Поэтому, если бы обмотки статора были расположены без сдвига в пространстве (рис.3а), суммарная магнитная индукция была бы равна нулю. Так как обмотки сдвинуты под углом 120° (рис.3б), то $\mathbf{B} = \mathbf{B}_A + \mathbf{B}_B \neq 0$.

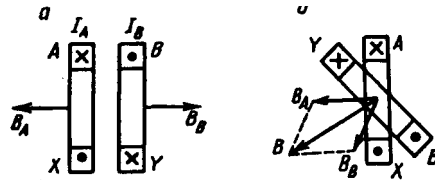


Рис. 3.

Как изменится вектор магнитной индукции суммарного магнитного поля статора за время t_1-t_2 (рис.2б): в) увеличит свое значение? г) повернется на некоторый угол? д) повернется на некоторый угол и увеличит свое значение?

На (рис.4) показано построение вектора суммарной магнитной индукции статора $\mathbf{B}$ для моментов времени t_1 (рис.4а) и t_2 (рис.4б). Вектор $\mathbf{B}$ со временем поворачивается, не изменяя своей длины. Таким образом, магнитное поле статора трехфазного двигателя — вращающееся.

На какой угол повернется вектор $\mathbf{B}$ за период: е) на 180° ? ж) 360° ? з) 720° ?

За период магнитное поле делает один полный оборот. Если частота тока 50 Гц, то магнитное поле вращается с частотой $n = 60f = 3000 \text{ мин}^{-1}$.

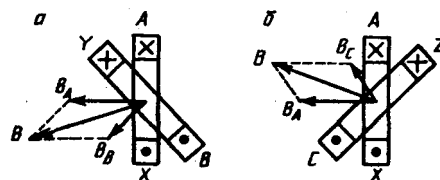


Рис. 4.

Чему равна при этом частота вращения магнитного поля n , если статор имеет две пары полюсов (не три, а шесть обмоток): и) 6000 мин^{-1} ? к) 1500 мин^{-1} ?

С увеличением числа p пар полюсов частота вращения магнитного поля уменьшается в p раз, т. е.

$$n_1 = 60f/p(1)$$

Итак, вращающееся магнитное поле статора образуется при выполнении двух условий: токи в обмотках должны быть сдвинуты по фазе, а сами обмотки смещены в пространстве друг по отношению к другу.

Каким путем можно поменять направление вращения магнитного поля статора: л) необходимо пере соединить обмотки из схемы Y в схему Δ ? м) необходимо изменить порядок чередования фаз? н) используя оба метода?



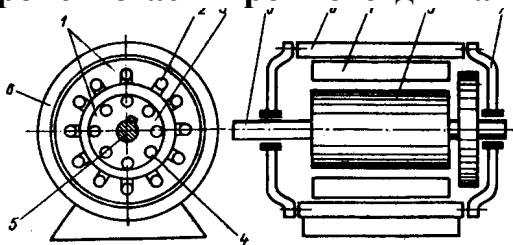
Рис. 5

Направление вращения магнитного поля зависит от порядка следования фаз на обмотках двигателя А — В — С или А—С—В (рис. 5).

Ответы: б, г, ж, к, м.

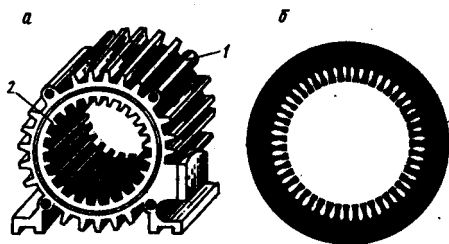
УСТРОЙСТВО И ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.

Устройство асинхронного двигателя (рис. 6). Двигатель состоит из двух основных частей, разделенных воздушным зазором:



неподвижного статора 6 и вращающегося ротора 3. Каждая из этих частей имеет сердечник 1 и обмотку. При этом обмотка 2 статора включается в сеть и является как бы первичной, а обмотка 4 ротора — вторичной, так как энергия в нее поступает из обмотки статора за счет магнитной связи между этими обмотками (подобно трансформатору).

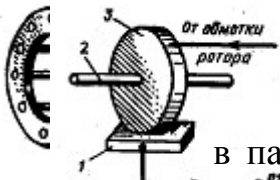
Существуют два основных типа асинхронных двигателей: двигатели с короткозамкнутым ротором и двигатели с фазным ротором. Последние иногда называют двигателями с контактными кольцами. Оба типа двигателей имеют одинаковую конструкцию статора и различаются конструкцией ротора.



Статор асинхронного двигателя состоит из корпуса, сердечника и обмотки. Корпус 1 статора (рис.7а) служит для соединения всех частей двигателя в единую конструкцию. В небольших двигателях корпус отливают из алюминиевого сплава, стали или чугуна, а в крупных машинах делают сварным. В корпус статора запрессован сердечник 2, который с целью уменьшения потерь от вихревых токов собирается из изолированных друг от друга листов электрической стали (рис.7б). В пазы сердечника уложены проводники обмотки статора, которая выполняется из медного провода. Основным элементом обмотки является секция, которая может иметь один (рис.8а) или несколько (рис.8б) витков. Активные стороны секций укладывают

Рис. 7.

Рис. 8. обмотки является секция, которая может иметь один (рис.8а) или несколько (рис.8б) витков. Активные стороны секций укладывают



в пазы сердечника статора, например сторону 1 укладывают в первый паз, а сторону 4 секции — в четвертый паз. Секции соединяют между собой в катушки, из которых состоят обмотки каждой фазы. Начала C_1, C_2, C_3 концы C_4, C_5, C_6 фазных обмоток присоединяют к зажимам коробки выводов (рис.9а). Для упрощения переключения схем Y и Δ зажимы обмотки статора располагают в порядке, указанном на (рис.9а).

Рис. 9.

Ротор асинхронного двигателя состоит из сердечника 3 (рис.6), обмотки 4 и вала 5. Вал ротора устанавливается в подшипниках, запрессованных в подшипниковых щитах 7, прикрепленных болтами к корпусу статора, и служит для передачи вращающего момента производственному механизму. Сердечник ротора имеет цилиндрическую форму, и собирается из листов электротехнической стали.

В двигателях с короткозамкнутым ротором обмотка ротора (рис.10) состоит из ряда алюминиевых стержней (располагаемых в пазах сердечника ротора), замкнутых по торцам кольцами. В этих двигателях

Рис. 10. мощностью до 400 кВт обмотку ротора выполняют заливкой его пазов под давлением расплавленным алюминием.

Обмотку *фазного ротора* выполняют трехфазной аналогично обмотке статора. Эту обмотку соединяют звездой и ее три конца присоединяют к трем установленным на валу контактными кольцам, которые электрически изолированы друг от друга и от вала ротора. На (рис.11) схематично показано, как

Рис. 11. осуществляется вывод одного конца обмотки ротора к неподвижной клемме P_1 через вращающееся вместе с валом 2 кольцо 3 и неподвижную графитовую щетку 1.

Принцип действия асинхронного двигателя. Работа двигателя основана на использовании вращающегося магнитного поля, которое образуется в статоре после подключения его обмоток в трехфазную сеть. Вращающееся магнитное поле статора, пересекая проводники обмотки ротора (рис.8б), индуцирует в них ЭДС E_2 , которая создает в короткозамкнутой обмотке ток ротора I_2 . Взаимодействие этого тока с вращающимся магнитным полем вызывает электромагнитный момент, приводящий ротор во вращение с частотой n_2 . Таким образом, электрическая энергия, поступающая в обмотку статора из сети, преобразуется посредством вращающегося магнитного поля в механическую энергию.

Как при разгоне ротора изменяется его ток: а) увеличивается? б) уменьшается? в) не изменяется?

ЭДС E_2 ротора, определяющая значение его тока, зависит от скорости, с

которой вращающееся магнитное поле пересекает проводники обмотки ротора. Когда ротор неподвижен, эта скорость, согласно формуле (1), $n_1 = 60f_1/p$ а при вращении ротора с частотой n_2 она равна $n_1 - n_2$. Значит, при разгоне ротора (увеличении n_2) ЭДС и ток ротора уменьшаются.

Верно ли, что после запуска двигателя частота вращения ротора становится равной частоте вращения магнитного поля статора, т. е. $n_2 = n_1$? — г) да; д) нет.

При $n_2 = n_1$ вращающееся магнитное поле статора не пересекало бы проводники обмотки ротора и отсутствовали бы ЭДС, ток и вращающий момент ротора. Чтобы существовал вращающий момент, ротор должен вращаться медленнее поля, т. е. асинхронно (не синхронно с ним). Поэтому двигатель называется асинхронным.

Разность частот вращения магнитного поля n_1 и ротора n_2 , выраженная в относительных единицах

$$s = (n_1 - n_2)/n_1 \quad (2)$$

называется скольжением асинхронной машины. Скольжение иногда выражается в процентах: $s = 100(n_1 - n_2)/n_1$.

Когда ротор неподвижен, $s = 1$. При холостом ходе двигателя скольжение близко к нулю, а при номинальной нагрузке — колеблется в пределах 2—5 %.

Ток обмоток статора и ротора переменный. Верно ли, что частота тока ротора практически равна частоте тока статора? — е) да; ж) нет.

По формуле (1) частота тока статора $f_1 = pn_1/60$, а ротора — $f_2 = p(n_1 - n_2)/60 = pn_1(n_1 - n_2)/(60n_1) = spn_1/60$, т. е.

$$f_2 = sf_1 \quad (3)$$

Например, если $f_1 = 50$ Гц, а скольжение 4%, то $f_2 = 50.4/100 = 2$ Гц.

Ток в обмотке ротора создает собственное магнитное поле, которое вращается относительно ротора с частотой вращения $n_p = 60f_2/p = 60f_1s/p = n_1s$.

Верно ли, что магнитные поля ротора и статора по отношению друг к другу неподвижны? — з) да; и) нет.

Так как ротор сам вращается относительно статора, то частота вращения поля ротора относительно неподвижного статора составляет $n_p + n_2 = n_1s + n_2 = n_1$. Таким образом, магнитные поля статора и ротора вращаются в одну сторону с одинаковой частотой вращения n_1 , т. е. они неподвижны по отношению друг к другу.

Поэтому магнитная связь между обмотками статора и ротора такая же, как в трансформаторе между его первичной и вторичной обмотками. В связи с этим асинхронный двигатель иногда называют трансформатором с вращающейся вторичной обмоткой.

На основе этой аналогии все выводы сделанные для трансформатора, можно отнести и к асинхронному двигателю. Так, магнитный поток,

связывающий обмотки статора и ротора, не изменяется при изменении нагрузки (при $U=\text{const.}$), изменение тока в обмотке ротора приводит к пропорциональному изменению токов в обмотках статора.

Верно ли, что номинальная мощность асинхронного двигателя зависит от объема его магнитопровода? —к) да; л) нет.

Номинальная мощность двигателя (механическая мощность на его валу), как и трансформатора, зависит от энергии магнитного поля, сосредоточиваемой в магнитной цепи. Поэтому чем мощнее двигатель, тем больший объем его магнитопровода. Промышленностью выпускаются трехфазные асинхронные двигатели мощностью от десятков ватт до тысяч киловатт (высотой 2 м и более).

На щитке, прикрепленном к корпусу двигателя, указываются номинальные величины двигателя: мощность, напряжение; ток, коэффициент мощности, частота вращения, КПД.

Значения номинального и рабочего тока трехфазного двигателя рассчитываются по формуле $I=P/(\sqrt{3}U\eta \cos\varphi)$,

где P — мощность механическая (на валу); U — линейное напряжение; η — КПД; $\cos\varphi$ — коэффициент мощности двигателя.

Ответы: б, д, ж, з, к.

ВЛИЯНИЕ СКОЛЬЖЕНИЯ НА ЭДС, СОПРОТИВЛЕНИЕ И ТОК РОТОРА.

Частота вращения ротора асинхронного двигателя остается неизменной до тех пор, пока вращающий момент двигателя M равен моменту сопротивления M_c , т. е. пока !

$$M = M_c(4)$$

При увеличении нагрузки на валу двигателя (увеличении M_c) уменьшается частота вращения ротора, а значит, увеличивается его скольжение по формуле (2),

Как при этом изменяется ЭДС E_2 ротора: а) увеличивается? б) уменьшается? в) не изменяется?

Значение ЭДС E_2 , индуцируемой в роторе вращающимся магнитным полем, пропорционально скорости (частоте) пересечения этим полем проводников обмотки ротора. При неподвижном роторе эта частота равна частоте вращения поля n_1 , а при вращающемся роторе — разности частот вращения поля и ротора $n_1 - n_2$. Поэтому $E_2/E_1 = (n_1 - n_2)/n_1$. Учитывая формулу (2), получаем

$$E_2 = sE_{2n}(4)$$

где E_{2n} — действующее значение ЭДС одной фазы неподвижного ротора. Значение ЭДС, индуцируемой в обмотке ротора вращающимся магнитным

полем, прямо пропорционально скольжению двигателя. При холостом ходе двигателя ЭДС близка к нулю, так как $s=0$.

К асинхронному двигателю применима формула для трансформаторной ЭДС, по которой можно рассчитать значение $E_{2н}$.

Как изменится активное сопротивление обмотки ротора при увеличении скольжения: г) увеличится? д) уменьшится? е) не изменится?

Активное сопротивление обмотки ротора r_2 зависит от материала проводников обмотки, их длины, сечения и практически не изменяется при изменении частоты ЭДС.

Как при увеличении скольжения изменится индуктивное сопротивление обмотки ротора X_{L2} : ж) увеличится? з) уменьшится? и) не изменится?

При неподвижном роторе по формуле $X_{L2н}=2\pi f_1 L_2$, а при вращающемся — $X_{L2}=2\pi f_2 L_2$. Поэтому $X_{L2}/X_{L2н}=f_2/f_1$. Используя формулу (3), получаем

$$X_{L2}=sX_{L2н} \quad (5)$$

При холостом ходе двигателя это сопротивление близко к нулю, так как близки к нулю частота f_2 и скольжение.

Значение индуктивного сопротивления обмотки ротора двигателя прямо пропорционально скольжению.

Изменение индуктивного сопротивления ротора изменяет фазу тока.

Как по мере разгона ротора изменяется коэффициент мощности двигателя: к) увеличивается? л) уменьшается?

Коэффициент мощности:

$$\cos \varphi_2 = r_2 / \sqrt{r_2^2 + x_2^2} = r_2 / \sqrt{r_2^2 + (sX_{2н})^2}. \quad (6)$$

Как с увеличением скольжения изменяется ток ротора: м) увеличивается? н) уменьшается?

По закону Ома и с учетом формул (4) и (5)

$$I_2 = E_2 / \sqrt{r_2^2 + X_2^2} = sE_{2н} / \sqrt{r_2^2 + (sX_{2н})^2} \quad (7)$$

При холостом ходе двигателя ток ротора близок к нулю.

Ответы: а, е, ж, к, м.

ВРАЩАЮЩИЙ МОМЕНТ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.

При взаимодействии тока ротора с вращающимся магнитным полем статора создается электромагнитный момент **М** двигателя.

Этот момент пропорционален потребляемой двигателем: а) активной мощности P ? б) реактивной мощности Q ? в) P и Q ?

Реактивная мощность характеризует интенсивность обмена энергией между источником и двигателем, а активная мощность — интенсивность необратимого процесса преобразования электрической энергии в



Пренебрегая потерями, можно записать $M = E_2 I_2 \cos \psi_2$ (8) Так как E_2 прямо пропорционально Φ , поэтому и вращающий момент пропорционален Φ .

Верно ли, что если уменьшить момент сопротивления M_c на валу работающего двигателя (уменьшить нагрузку на валу), то вращающий момент асинхронного двигателя увеличится?—г) да; д) нет.

Ранее отмечалось, что частота вращения двигателя остается неизменной, пока вращающий момент равен моменту сопротивления: $M = M_c$. При уменьшении M_c это равенство нарушается, становится $M > M_c$, что приводит к ускорению вращения ротора, т. е. к увеличению его частоты n_2 и уменьшению скольжения $s = n_1 - n_2$. В результате уменьшается ток ротора I_2 по формуле (7), значит, уменьшается вращающий момент по формуле (8). Этот процесс закончится, когда момент, развиваемый двигателем, станет равным моменту сопротивления, т. е. восстановится равенство $M = M_c$. Свойство автоматического установления равновесия между статическим моментом сопротивления и преодолевающим его моментом двигателя называется саморегулированием.

Магнитный поток двигателя, как и трансформатора остается практически постоянным при любой нагрузке, поэтому из формулы (8) следует, что $M = k I_2 \cos \psi_2$. Используя формулы (6) и (7), получаем:

$$M = k E_{2n} r_2 / (r_2^2 / s + s X_{2n}^2) \quad (9)$$

При каком значении скольжения в этой формуле момент равен нулю: е) $s=0$? ж) $s = \infty$? з) в обоих перечисленных случаях?

При $s = 0$ ($n_2 = n_1$) работа двигателя невозможна, так как отсутствует вращающий момент. При $s = \infty$ вращающий момент также обращается в нуль. Таким образом, с увеличением скольжения от нуля вращающий момент двигателя увеличивается, достигает максимума, а с дальнейшим возрастанием s до бесконечности уменьшается, стремясь к нулю.

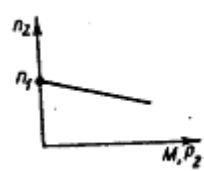
Верно ли, что при этом вращающий момент имеет максимальное значение при пуске двигателя? — и) да; к) нет.

Задаваясь разными значениями скольжения, можно построить график зависимости $M(s)$, который приведен на (рис.12). На графике выделены три вращающих момента: номинальный $M_{ном}$ (соответствующий режиму длительной работы, при котором

Рис. 12. двигатель не перегревается сверх установленной температуры), максимальный M_{max} и пусковой момент $M_{п}$ развиваемый двигателем при неподвижном роторе, т. е. при $n_2 = 0$, $s = 1$.

Обычно асинхронный двигатель рассчитывают так, чтобы пусковой момент превышал номинальный, т. е. чтобы обеспечивался запуск двигателя при номинальной нагрузке. Отношение пускового момента к номинальному называется кратностью пускового момента а: $K_{п} = M_{п} / M_{ном}$. Для двигателей с короткозамкнутым ротором $K_{п} = 1,1 \dots 1,8$.

Работа двигателя может быть устойчивой лишь на участке OA (рис.12),



когда увеличение нагрузки на вал двигателя, приводящее к увеличению скольжения, будет компенсировано ростом вращающего момента. Если же момент сопротивления на валу двигателя превысит M_{max} , то двигатель остановится, так как с ростом скольжения на участке **AB** вращающий момент уменьшается.

Отношение максимального момента к номинальному $K_m = M_{max} / M_{ном}$ называется перегрузочной способностью двигателя. Асинхронные двигатели общего применения имеют перегрузочную способность в пределах 1,7...2,5. Работа машины с моментом, превышающим номинальный, допустима лишь кратковременно, иначе срок службы машины сокращается из-за перегрева. Зависимость частоты вращения двигателя n_2 от момента на валу (или мощности) называется механической характеристикой двигателя (рис.13).

Рис. 13.

Частота вращения двигателя зависит не только от нагрузки, но и от напряжения сети, так как при уменьшении напряжения уменьшается магнитный поток Φ , что приводит, по формуле (8), к уменьшению вращающего момента двигателя.

При уменьшении напряжения пропорционально ему уменьшается не только магнитный поток Φ , но и ток ротора I_2 , поэтому из формулы (8) следует, что *вращающий момент двигателя пропорционален квадрату напряжения*. Этим можно объяснить, что нередко при пониженном напряжении сети двигатель не запускается под нагрузкой.

Чувствительность асинхронных двигателей к колебаниям напряжения сети и малый пусковой момент являются недостатками этих двигателей в сравнении с двигателями постоянного тока. С другой стороны, зависимость вращающего момента (а значит, и частоты вращения) двигателя от напряжения позволяет осуществлять регулирование частоты вращения двигателя путем изменения напряжения на его зажимах.

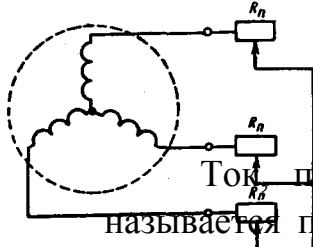
Нередко момент на валу двигателя ($H \cdot m$) выражают по известной из механики формуле:

$$M = P / \omega = P \cdot 60 / 2\pi n = 9,55P / n \quad (10)$$

где P — мощность на валу, Вт; ω — угловая частота.

Ответы: а, д, з, к .

ПУСК И РЕГУЛИРОВАНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ.



Ток, потребляемый двигателем из сети в начальный момент пуска, называется пусковым током I_n а потребляемый при номинальной нагрузке — номинальным током $I_{ном}$.

Сравним эти токи: а) $I_n > I_{ном}$? б) $I_n < I_{ном}$? в) $I_n = I_{ном}$?

Исходя из формулы (7), делаем вывод о том, что пусковой ток (при $s = 1$) значительно больше номинального. В зависимости от конструкции двигателя пусковой ток превышает номинальный в 5—7 раз.

Пусковой ток не представляет опасности для двигателя, так как он непродолжителен. Однако значительный бросок тока при пуске двигателя влияет на питающую сеть, вызывая в ней резкие колебания напряжения, что отражается на работе приемников. Поэтому в большинстве случаев прямое включение асинхронных двигателей в сеть применяют при мощности двигателя не более 15—20 кВт, когда бросок тока при пуске относительно небольшой.

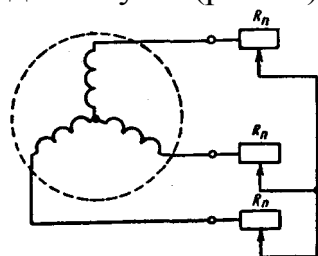
Для более мощных двигателей применяют другие способы пуска, например при пониженном напряжении, что уменьшает пусковой ток. Для этих целей применяют автотрансформаторы.

Значение пускового тока двигателя можно уменьшить, изменив сопротивление обмотки ротора r_2 .

Как изменится пусковой ток двигателя, если увеличить r_2 - г) увеличится? д) уменьшится?

Из формулы (7) следует, что пусковой ток двигателя, который пропорционален току ротора, может быть уменьшен путем увеличения активного сопротивления обмотки ротора на время пуска двигателя. Это осуществляют, включая в цепь ротора

Рис. 14. дополнительное регулируемое сопротивление R_n (пусковой реостат), которое по мере разгона ротора уменьшают и в конце пуска сводят к нулю (рис.14). Обмотку ротора выполняют фазной, соединен



ной звездой. Концы обмотки ротора выводят во внешнюю цепь через контактные кольца и щетки (рис.11), которые на (рис.14) не показаны.

Применение пускового реостата позволяет также, согласно формуле (8.9), увеличить пусковой момент M_n двигателя, что важно при тяжелых условиях запуска двигателя (например, под нагрузкой).

А как регулировать частоту вращения двигателя? Можно ли этого достигнуть за счет изменения активного сопротивления r_2 в цепи ротора? — е) да; ж) нет.

По формуле (9) изменение r_2 приводит к изменению вращающего момента и в соответствии с механической характеристикой двигателя (рис. 13) — к изменению частоты вращения ротора n_2 . Изменение r_2 осуществляется путем

введения в цепь ротора регулировочного реостата, подобного пусковому реостату, но рассчитанного на длительный режим работы. Этот способ экономически невыгоден из-за потерь энергии на нагрев реостата. Например, при уменьшении частоты вращения ротора в два раза эти потери составляют половину мощности двигателя, что резко снижает его КПД.

Регулирование частоты вращения ротора двигателя осуществляется также путем изменения числа пар полюсов статора или изменением частоты источника.

Как изменится частота вращения двигателя при увеличении числа пар полюсов обмотки статора: з) увеличится? и) уменьшится?

Как изменится частота вращения двигателя, если увеличить частоту переменного тока, питающего двигатель: к) увеличится? л) уменьшится?

В соответствии с формулой (1) изменение числа пар полюсов дает ступенчатое регулирование частоты вращения ротора. Так, при частоте 50 Гц и $p=1$ $n_1=3000$ мин⁻¹; при $p=2$ $n_1=1500$ мин⁻¹; при $p=3$ $n_1=1000$ мин⁻¹ и т. д.

Изменение частоты переменного тока дает плавное регулирование частоты вращения ротора, но требует применения преобразователей частоты. В связи с бурным развитием промышленной электроники, позволяющей получать мощные и простые преобразователи частоты, этот способ является перспективным. .

Ответы: а, д, е, и, к.

ОДНОФАЗНЫЙ АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ.

Принцип работы однофазного асинхронного двигателя, как и трехфазного, основан на использовании вращающегося магнитного поля .

Как создать вращающееся магнитное поле в однофазном двигателе? Достаточно ли для этого обмотку статора выполнить из двух частей, сдвинутых в пространстве на 90° и соединенных параллельно? — а) да; б) нет.

В соответствии с тем что для получения вращающегося магнитного поля, кроме смещения в пространстве обмоток друг относительно друга, необходим еще сдвиг по фазе токов обмоток. Для его осуществления применяют фазосмещающий элемент, который устанавливают последовательно одной из двух обмоток статора.

Что может быть фазосмещающим элементом: в) активное сопротивление? г) индуктивность? д) емкость? е) индуктивность и емкость? ж) любой из перечисленных элементов?

На (рис.15) приведена схема конденсаторного однофазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором и двумя смещенными под углом 90° обмотками **A** и **B** статора. Токи этих обмоток I_A и I_B сдвинуты по фазе за счет применения конденсатора. Фазосмещающим элементом может быть также активное сопротивление или индуктивность.

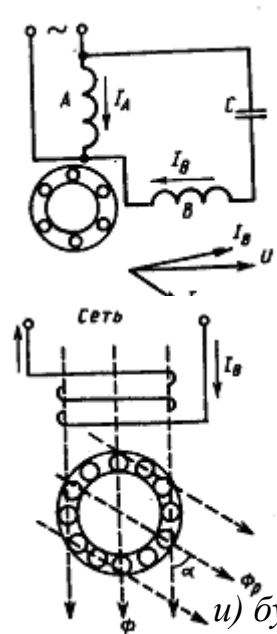


Рис. 15.

При обрыве цепи обмотки **B** (рис.15) ротор двигателя: з) остановится?
и) будет продолжать вращаться?

Если при работе двигателя оборвать цепь обмотки **B**, то магнитный поток Φ статора прекращает вращаться по отношению к статору. Но, так как ротор продолжает по инерции вращаться, то этот поток остается вращающимся по отношению к обмотке ротора и наводит в ней ЭДС, ток и собственный магнитный поток Φ_r . При этом, в соответствии с положением ротор стремится повернуться так, чтобы его поток Φ_r совпадал по направлению с потоком Φ статора, как это показано на (рис.16). Казалось бы, после совпадения по направлению Φ и Φ_r ротор остановится. Но Φ , изменяясь по синусоидальному закону, меняет свое направление на обратное, и ротор продолжает вращаться.

Значит, при включении в электрическую сеть двигателя, имеющего одну обмотку статора, произойдет запуск двигателя? — к) да; л) нет.

Так как в этом случае магнитный поток статора по отношению к ротору не вращается, то двигатель не

Рис. 16. запустится. Пуск двигателя можно осуществить при помощи внешней силы, которая приведет ротор в первоначальное движение. Однако это неудобно, поэтому для пуска однофазных асинхронных двигателей применяют пусковую обмотку с фазосмещающим элементом, которым чаще бывает активное сопротивление как более дешевое. После запуска двигателя пусковая обмотка автоматически отключается при помощи реле. Ввиду кратковременной работы пусковую обмотку выполняют из более тонкого провода, чем рабочую.

Однофазные асинхронные двигатели получили наибольшее распространение в бытовых приборах. Их мощность обычно не превышает 500 Вт.

В качестве однофазного можно использовать трехфазный асинхронный двигатель.

Можно ли при этом обойтись без фазосмещающего элемента? — м) да; н) нет.

Для создания пускового вращающего момента в цепь одной из обмоток статора включают конденсатор (рис.17) на время пуска двигателя.

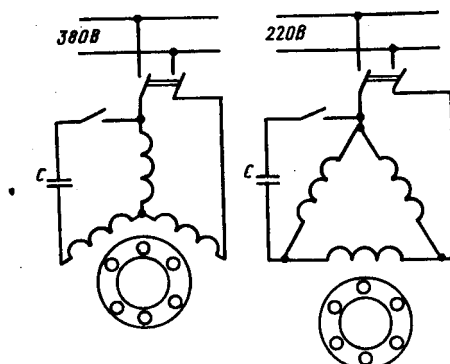


Рис. 17.

Пусковую емкость при соединении обмоток статора звездой рассчитывают по формуле:

$$C=10^9 P/(314U^2) \quad (11),$$

где P — мощность двигателя, кВт; U — напряжение сети, В; C — емкость конденсатора, мкФ.

Трехфазный двигатель в однофазном режиме развивает мощность составляющую 60-70%

Ответы: б, ж, и, л, н.