

Лабораторная работа № 2.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

Цель работы: изучение устройства и принципа действия асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором; освоение расчета основных электрических и механических величин; снятие и анализ рабочих характеристик двигателя.

Общие сведения

Асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором – наиболее распространенный в народном хозяйстве тип электрического двигателя. Он имеет простую конструкцию, сравнительно недорог, надежен и удобен в эксплуатации. АД преобразует электрическую энергию переменного тока в механическую энергию, отдаваемую посредством вала рабочей машине. Основными частями АД являются неподвижный статор и вращающийся ротор, разделенные воздушным зазором (0,25...1 мм).

Статор состоит из литого корпуса (стального, чугунного или алюминиевого), внутрь которого вмонтирован сердечник статора – полый цилиндр, набранный из отдельных пластин (колец) электротехнической стали, толщиной 0,5 мм. Для уменьшения потерь от вихревых токов пластины изолируют друг от друга. Сердечник статора имеет пазы, в которые помещена трехфазная обмотка из медного или алюминиевого изолированного провода. Фазы обмотки (А, В, С) смещены друг относительно друга по окружности статора на 120° и могут соединяться звездой или треугольником (в зависимости от номинального напряжения фаз обмотки и питающей сети).

Ротор представляет собой цилиндр, собранный из тонких изолированных дисков электротехнической стали, насаженный и закрепленный на валу. В дисках выштампованы пазы, в которые закладывают медные или заливают алюминиевые стержни обмотки, соединяемые по торцам короткими кольцами из того же материала. Полученная таким образом короткозамкнутая обмотка ротора напоминает по конфигурации «белочье колесо» (ее часто так называют).

Работа АД основана на способности трехфазной системы токов, протекающей по трем катушкам, оси которых смещены в пространстве на 120° , возбуждать *вращающееся магнитное поле*.

Подобные условия созданы в статоре АД, подключенном к трехфазной сети (рис. 2.1, а).

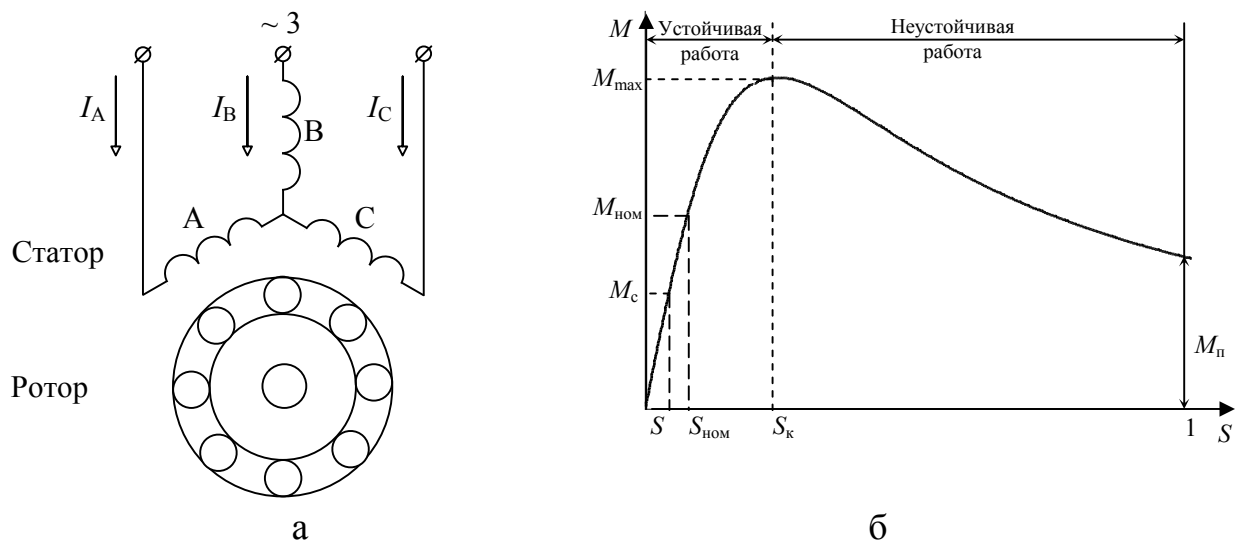


Рис. 2.1

Протекание в фазах обмотки статора трех синусоидальных токов, сдвинутых во времени на $1/3$ периода, возбуждает в АД магнитное поле, бегущее вдоль окружности статора (вращающееся) с постоянной скоростью. Число магнитных полюсов вращающегося поля зависит от конструкции обмотки статора (числа катушек в фазе обмотки). При выполнении каждой фазы в виде одной катушки, вращающееся поле будет двухполюсным (число пар полюсов $p = 1$). Для получения вращающегося поля с p парами полюсов окружность статора разбивают на p частей и на каждой из них размещают три катушки разных фаз. В этом случае одна пара полюсов образуется на каждой части окружности, занятой тремя катушками, поле в целом имеет p пар полюсов, каждая фаза обмотки состоит из p последовательно соединенных катушек.

Направление вращения поля совпадает с направлением чередования токов по фазам обмотки. Для изменения направления вращения достаточно переключить (поменять местами) провода, подающие токи в любые две фазы обмотки.

Частота вращения магнитного поля, называемая синхронной, выражается формулой

$$n_1 = \frac{60 f_1}{p}, \text{ мин}^{-1},$$

где f_1 – частота питающего тока, Гц;

p – число пар полюсов статора.

При промышленной частоте тока $f_1 = 50$ Гц синхронная частота вращения определяется числом пар полюсов:

p	1	2	3	4	5	6
$n_1, \text{ мин}^{-1}$	3000	1500	1000	750	600	500

Принцип действия АД. В обмотку статора от трехфазной сети подается трехфазная система токов, возбуждающая вращающееся магнитное поле. Магнитные линии вращающегося поля пересекают обмотки статора и ротора и по закону электромагнитной индукции индуцируют в них синусоидальные ЭДС E_1 и E_2 . ЭДС E_1 уравнивает основную часть напряжения питающей сети U_1 , а E_2 вызывает в проводниках короткозамкнутой обмотки ротора токи I_2 . Взаимодействие токов ротора и вращающегося магнитного поля создает электромагнитный *вращающий момент* M , приводящий ротор в движение в направлении вращения поля. Частота вращения ротора n меньше частоты вращения поля n_1 , так как ЭДС E_2 , ток I_2 и момент M появляются только при условии перемещения магнитного поля относительно ротора, т.е. при $n < n_1$. В связи с этим рассматриваемый двигатель называют асинхронным.

Относительную разность частот вращения магнитного поля и ротора называют *скольжением*:

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1}. \quad (2.1)$$

При холостом ходе двигателя частота вращения ротора n близка к частоте вращения магнитного поля n_1 и $S \approx 0$, с увеличением нагрузки на валу скольжение возрастает (n уменьшается), при номинальной нагрузке $S_{\text{ном}} = 0,02 \dots 0,08$ (малые значения относятся к мощным двигателям). В момент пуска $n = 0$ и $S = 1$.

Скольжение играет важную роль в теории АД. Частота вращения ротора n выражается через S формулой, вытекающей из (2.1):

$$n = n_1(1 - S).$$

При неизменных частоте и напряжении питающей сети вращающий момент M однозначно определяется скольжением. График зависимости $M(S)$ показан на рис. 2.1, б. Наибольшему вращающему моменту M_{max} соответствует критическое скольжение S_k , которое делит график $M(S)$ на два участка: устойчивой работы ($0 < S \leq S_k$) и неустойчивой работы ($S_k < S \leq 1$). На устойчивом участке двигатель автоматически развивает вращающий момент M , равный моменту сопротивления M_c рабочей машины. При возрастании M_c скольжение S и вращающий момент M будут увеличиваться до тех пор, пока не наступит новое равновесие $M = M_c$. При уменьшении M_c скольжение S и вращающий момент M соответственно уменьшаются. Это свойство АД называют саморегулированием вращающего момента.

На неустойчивом участке $M(S)$ двигатель, не обладая свойством саморегулирования, работает кратковременно и, как правило, в условиях неравенства моментов M и M_c . При этом, если $M > M_c$, двигатель увеличивает

скорость (уменьшает S) и переходит на устойчивый участок (таков процесс пуска АД), если же $M < M_c$, скорость АД уменьшается до полной остановки.

В установившемся режиме вращающий момент M (Н·м), механическая мощность на валу P (Вт) и частота вращения n (мин⁻¹) связаны соотношением

$$M = 9,55 \frac{P}{n}.$$

Момент и мощность на валу, которые двигатель может длительно развивать, не перегреваясь сверх допустимой температуры, называют номинальными ($M_{\text{ном}}$, $P_{\text{ном}}$).

Номинальный режим характеризуют также номинальная частота вращения $n_{\text{ном}}$, номинальный КПД $\eta_{\text{ном}} = P_{\text{ном}}/P_{1\text{ном}}$, номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_{\text{ном}}$, номинальное линейное напряжение сети $U_{\text{ном}}$, номинальный линейный ток:

$$I_{1\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \eta_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}}.$$

При кратковременных перегрузках ($M_c > M_{\text{ном}}$) АД работает устойчиво при условии, что наибольший момент сопротивления рабочей машины $M_{c.\text{max}}$ не превышает M_{max} АД. Отношение $K_M = M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}$ называют перегрузочной способностью АД. K_M приводится в каталогах ($K = 1,8 \dots 2,5$) и используется для вычисления M_{max} :

$$M_{\text{max}} = K_M M_{\text{ном}}.$$

Пусковые свойства АД характеризуют пусковой момент $M_{\text{п}}$ и пусковой ток $I_{\text{п}}$ в начальный момент пуска (при $n = 0$, $S = 1$). Для короткозамкнутых АД $M_{\text{п}} = (1 \dots 1,5) M_{\text{ном}}$, $I_{\text{п}} = (5 \dots 7) I_{\text{ном}}$. Пусковой момент должен быть достаточным, чтобы преодолеть M_c рабочей машины и обеспечить быстрый (в течение нескольких секунд) разгон до рабочей скорости. Начальный пусковой ток по мере разгона АД быстро уменьшается и поэтому не опасен для двигателя. Зависимость $M(S)$ приближенно выражается упрощенной формулой Клосса:

$$M = \frac{2M_{\text{max}}}{S/S_K + S_K/S},$$

где критическое скольжение

$$S_K = S_{\text{ном}} \left(K_M + \sqrt{K_M^2 - 1} \right).$$

Рабочие характеристики отражают эксплуатационные свойства АД и представляют зависимости величин n , M , I_1 , η , $\cos\varphi$ от мощности на валу P . Выразив эти величины в относительных единицах ($n_* = n/n_1$, $M_* = M/M_{\text{ном}}$, $I_{1*} = I_1/I_{1\text{ном}}$, $P_* = P/P_{\text{ном}}$), можно построить рабочие характеристики в общей системе координат (рис. 2.2).

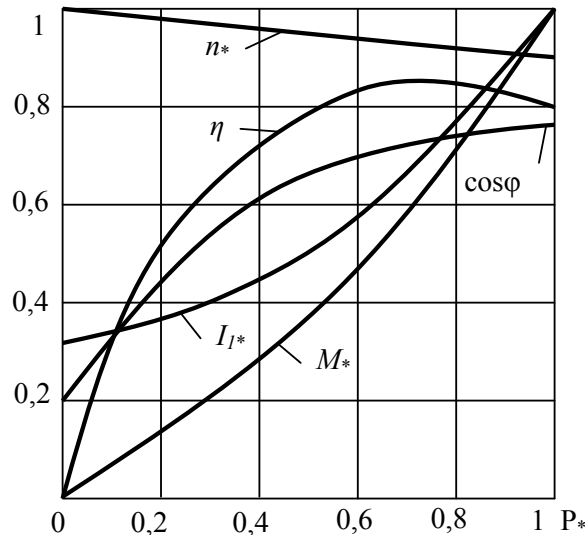


Рис. 2.2

В данной работе в качестве короткозамкнутого используется АД с фазным ротором, обмотка которого замыкается накоротко. Нагрузку на валу АД создает генератор постоянного тока, работающий на регулируемый нагрузочный резистор.

Предварительное задание к эксперименту

Для трехфазного асинхронного двигателя заданы следующие номинальные величины: мощность на валу $P_{\text{ном}} = 750$ Вт; частота вращения ротора $n_{\text{ном}} = 900$ мин⁻¹; коэффициент мощности $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,7$; КПД $\eta_{\text{ном}} = 0,7$; а также перегрузочная способность, $K_M = M_{\text{max}}/M_{\text{ном}} = 2,0$ и зависимость $\eta = P_* - 0,6P_*^2 + 0,3$, где $P_* = P/P_{\text{ном}}$.

Необходимо определить:

1. Синхронную частоту вращения n_1 (при частоте питающего тока $f_1 = 50$ Гц) и число пар полюсов p вращающегося магнитного поля.
2. Номинальную мощность $P_{1\text{ном}}$, потребляемую двигателем, и номинальный ток $I_{1\text{ном}}$ (линейное напряжение сети $U_{\text{л}} = 220$ В).
3. Номинальный $M_{\text{ном}}$ и максимальный M_{max} моменты на валу, номинальное $S_{\text{ном}}$ и критическое S_K скольжение.
4. Для режима со скольжением S , заданным по вариантам из табл. 2.1, определить частоту вращения ротора n , момент M (по формуле Клосса), мощность на валу P , потребляемую мощность

$$P_1 = P/\eta.$$

Т а б л и ц а 2.1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
Скольжение	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,12

Результаты расчета занести в табл. 2.2.

Т а б л и ц а 2.2

		$n, \text{мин}^{-1}$	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	$P, \text{Вт}$	$P_1, \text{Вт}$	$I_1, \text{А}$
Номинальный режим	паспортные данные					
	опыт					
Режим по п. 4 предварительного задания	расчет					—
	опыт					—

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с оборудованием, приборами, электрической схемой лабораторной установки.
2. Собрать электрическую цепь по схеме рис. 2.3. Пригласить преподавателя для проверки правильности сборки.

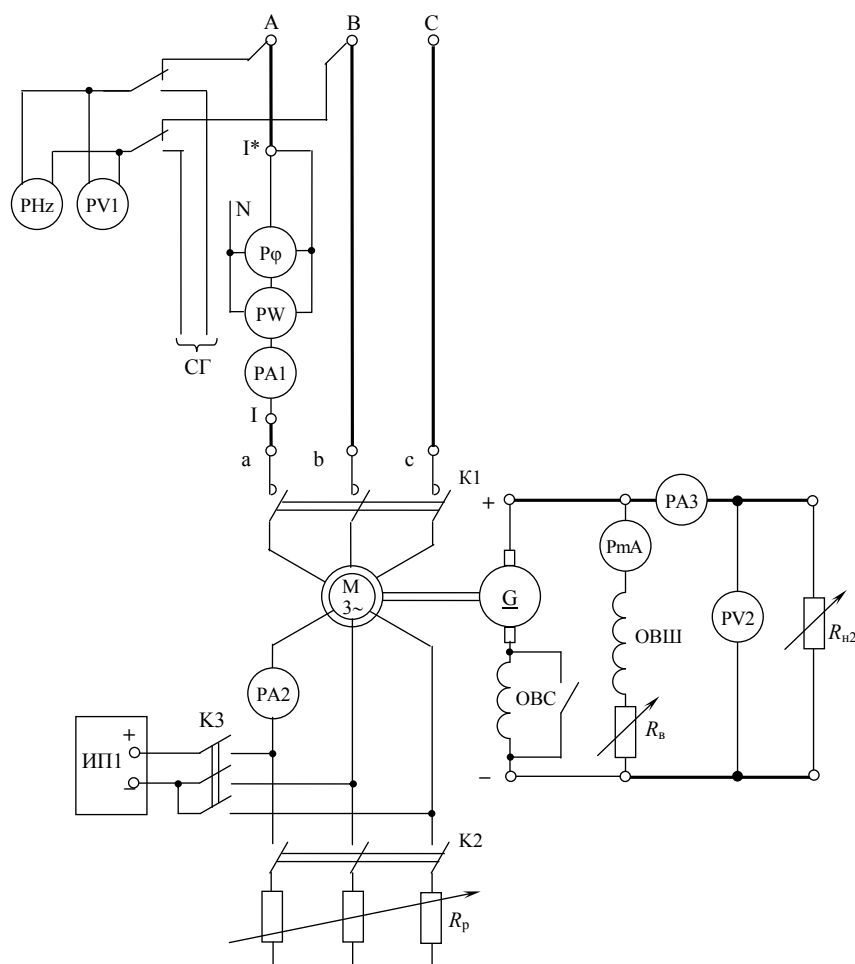


Рис. 2.3

3. Подготовить установку к работе:

- а) вывести реостат R_p (кроме последней ступени, оставляемой для небольшого ограничения пускового тока);
 - б) ввести реостат возбуждения генератора постоянного тока (ГПТ) R_b (ручку R_b повернуть в крайнее левое положение);
 - в) переключатель обмотки ОВС ГПТ установить в положение «Вкл. согл.» (по шкале G);
 - г) переключатель нагрузки ГПТ $R_{н2}$ установить в положение «0»;
 - д) подать напряжение на лабораторный стенд, включив трехфазный автомат на питающем щитке;
 - е) включить источник питания ИП1 и контактор К3, регулятором ИП1 установить ток, подаваемый в ротор при его синхронизации с вращающимся полем, $I_p = 10$ А (по амперметру А2);
 - ж) контактором К2 подключить к цепи ротора реостат R_p .
4. Запустить АД включением контактора К1, проследить за броском пускового тока I_1 (по амперметру А1).

Вывести последнюю ступень реостата R_p . Перевести ротор в синхронное вращение с полем, включив контактор К3, подающий в ротор постоянный ток.

Сравнить измеренную синхронную частоту вращения n_1 с вычисленной. Вернуть двигатель в асинхронный режим (включить контактор К2).

5. Снять рабочие характеристики АД. Для этого возбудить рео-статом R_B ГПТ до наибольшего напряжения и, увеличивая нагрузку от нуля до максимальной (переключателем R_{H2}), записать показания приборов в табл. 2.3. В числе устанавливаемых режимов должны быть номинальный (установить $n_{ном}$) и заданный в п. 4 предварительного задания (установить требуемую n). Плавная регулировка нагрузки в небольших пределах осуществляется реостатом R_B .

Т а б л и ц а 2.3

И з м е р е н о					В ы ч и с л е н о				
А Д					Г П Т		P , Вт	M , Н·м	η
n , об/ми н	U_1 , В	I_1 , А	P_1 , Вт	$\cos\varphi$	U_2 , В	I_2 , А			

Примечание. Мощность P на валу АД вычислить приближенно по формуле, исходящей из равенства потерь в АД и ГПТ:

$$P = 0,5(P_1 + P_2),$$

где $P_2 = U_2 \cdot I_2$ – мощность, отдаваемая ГПТ нагрузке.

6. Построить в общей системе координат графики рабочих характеристик АД $n_*(P_*)$, $M_*(P_*)$, $\eta(P_*)$, $\cos\varphi(P_*)$.

Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Расчет предварительного задания к эксперименту.
3. Схема лабораторной установки.
4. Таблицы результатов измерений и вычислений.
5. Графики рабочих характеристик двигателя.

Контрольные вопросы

1. Как устроен АД с короткозамкнутым ротором?
2. Изложите принцип действия АД.
3. Что такое синхронная частота вращения и скольжение? Напишите формулы для этих величин.
4. Как изменяются скольжение и частота вращения АД при росте момента нагрузки?
5. Как изменить направление вращения ротора АД?
6. Как выражается момент двигателя через мощность и частоту вращения?
7. Запишите формулу Клосса и охарактеризуйте входящие в нее величины.
8. Почему ток холостого хода АД относительно велик?
9. Как изменяются КПД и коэффициент мощности с увеличением нагрузки АД?
10. Какие достоинства и недостатки имеют АД с короткозамкнутым ротором? Где эти двигатели используются?