



**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.**

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ**

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы
Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература
Интернет-ресурсы

ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ**

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
С ФАЗНЫМ РОТОРОМ**





**ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.**

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ**

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

ВВЕДЕНИЕ

Целью выполнения лабораторной работы «Исследование асинхронного двигателя с фазным ротором» является:

1. Изучение конструкции трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором.
2. Приобретение практических навыков пуска двигателя с применением пускового реостата.
3. Проведение опытов холостого хода и непосредственной нагрузки двигателя.

Выполнение лабораторной работы и оформление отчета являются проверкой усвоения студентами теоретического материала и приобретения практических навыков экспериментальных и аналитических исследований асинхронного двигателя с фазным ротором. Перед выполнением лабораторной работы следует ознакомиться с соответствующим теоретическим разделом дисциплины.





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ
ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Асинхронные машины являются наиболее широко применяемыми в современных электроприводах, это самый распространенный вид электрических машин переменного тока.

Как и любая электрическая машина, асинхронная машина обратима и может работать как в двигательном, так и в генераторном режимах. Однако преобладающее применение имеют асинхронные двигатели, составляющие основу современного электропривода.

Области применения асинхронных двигателей очень впечатляющие – от привода устройств автоматики и бытовых электроприборов до привода крупного горного оборудования (экскаваторов, дробилок, мельниц и т.п.). Поэтому мощность асинхронных двигателей, выпускаемых электромашиностроительной промышленностью, составляет диапазон от долей ватт до тысяч киловатт при напряжении питающей сети от десятков вольт до 10 кВ.

Наибольшее применение имеют трехфазные асинхронные двигатели, рассчитанные на работу от сети промышленной частоты (50 Гц).





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ
ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

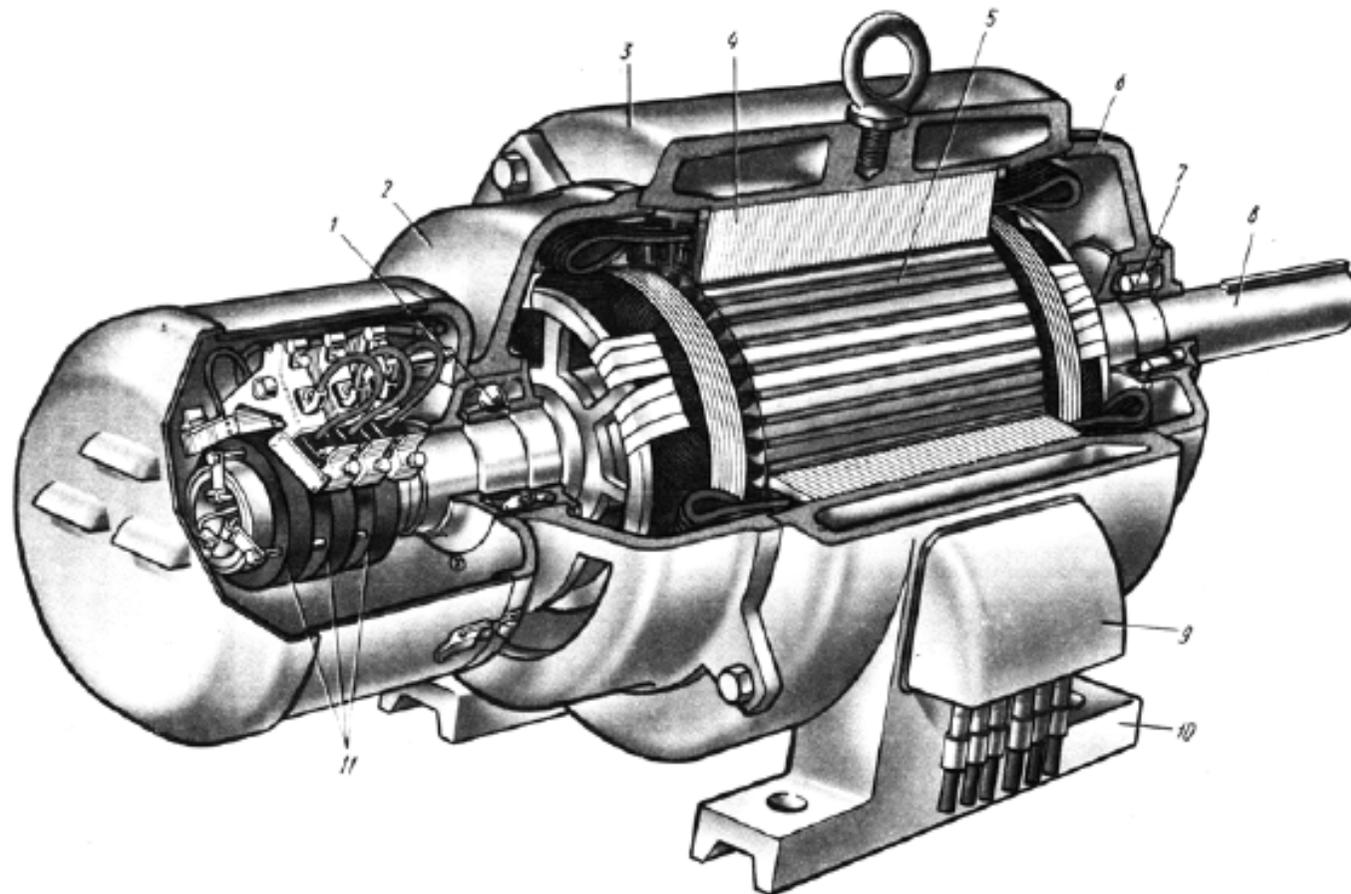


Рис. 1. Асинхронный двигатель с фазным ротором:

1,7 – подшипники; 2,6 – подшипниковые щиты; 3 – корпус; 4 – сердечник статора с обмоткой; 5 – сердечник ротора с обмоткой; 8 – вал; 9 – коробка выводов; 10 – лапы; 11 – контактные кольца

Асинхронные двигатели специального применения изготавливаются на повышенные частоты переменного тока (200, 400 Гц и более). Основное внимание в данном разделе уделено изучению трехфазных асинхронных двигателей общего применения.



ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины

2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

1. Устройство асинхронной машины

Неподвижная часть машины, называемая статором, представляет собой полый шихтованный цилиндр (магнитопровод статора) с продольными пазами на внутренней поверхности, располагаемый внутри одного из элементов оболочки машины, называемого станиной. В пазах магнитопровода статора уложены корпусная изоляция и обмотка статора. Магнитопровод статора изготовлен из листовой электротехнической стали, которая в отличие от электротехнической стали силовых трансформаторов является изотропной. Как и в трансформаторе, листы электротехнической стали изолированы друг от друга.

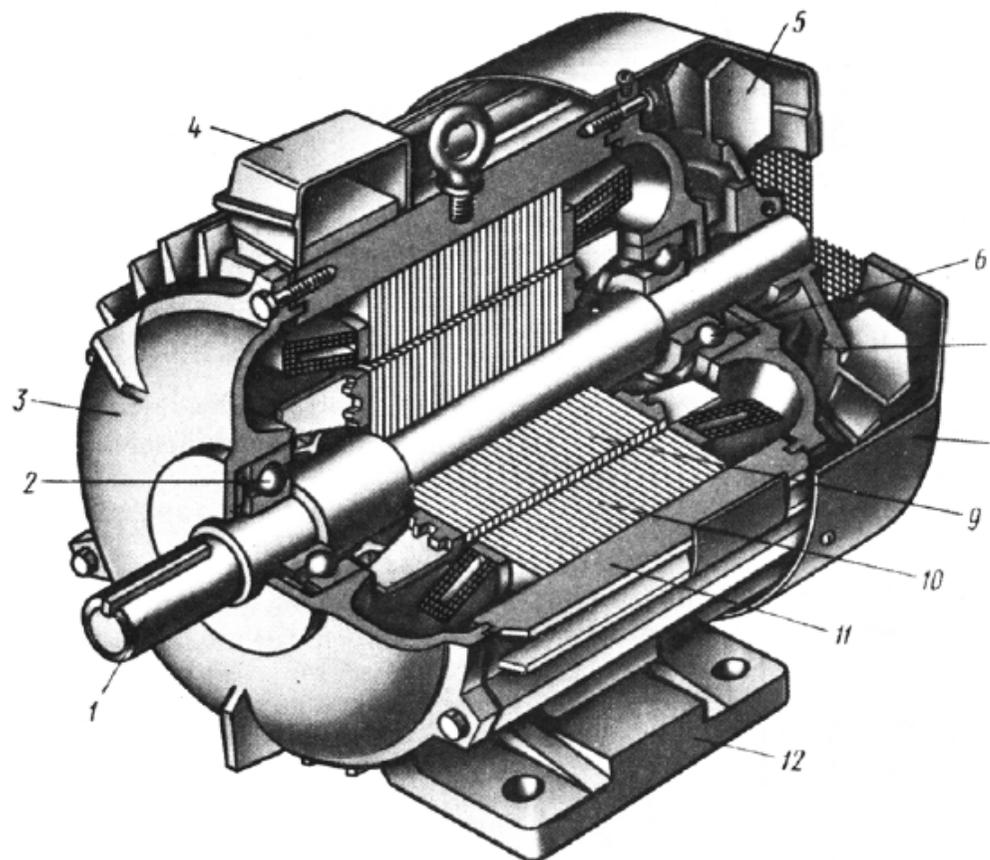


Рис. 2. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором:
1 – вал; 2,6 – подшипники 3,7 – подшипниковые щиты; 4 – коробка выводов;
5 – вентилятор; 8 – кожух; 9 – магнитопровод ротора с короткозамкнутой обмоткой;
10 – магнитопровод статора с обмоткой; 11 – корпус; 12 – лапы



ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины

2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

Вращающаяся часть машины, называемая ротором, располагается во внутренней полости сердечника статора и состоит из магнитопровода ротора, обмотки и вала. Ротор и статор разделены воздушным зазором. На наружной поверхности магнитопровода ротора имеются продольные пазы, в которых размещается обмотка ротора. Роторы могут выполняться двух видов: фазные (рис. 1) и короткозамкнутые (рис. 2). Обмотка фазного ротора подобна обмотке статора, соединена в звезду и начала её фаз подключены к контактными кольцам, расположенным на валу, для введения добавочного сопротивления или добавочной ЭДС. Контактные кольца изолированы друг от друга и вала. Обмотка короткозамкнутого ротора отливается из сплава алюминия. Сплав заполняет пазы сердечника ротора и электрически соединяет их между собой торцевыми замыкающими кольцами с одновременно отливаемыми вентиляционными лопатками.

На валу расположены два подшипника, устанавливаемые в подшипниковых щитах. Подшипниковые щиты крепятся к станине. Если асинхронная машина имеет на одном из выходных концов вала вентилятор наружного обдува, то он закрывается защитным кожухом. Кожух имеет торцевые отверстия для входа охлаждающего воздуха и направляет воздушный поток вдоль ребренной поверхности станины.

На станине располагается коробка выводов, внутри которой закреплены клеммы обмотки статора и к ним подводится питающее напряжение.





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ
ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины

2. Вращающееся магнитное поле

3. Принцип действия асинхронной
машины и режимы работы

4. Рабочие характеристики
асинхронного двигателя

5. Вращающие моменты
асинхронной машины

6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература

Интернет-ресурсы

2. Вращающееся магнитное поле

Изобразим два упрощенных поперечных разреза двухполюсного асинхронного двигателя (рис. 3) в виде трех concentрических окружностей. Наружная окружность – наружная поверхность магнитопровода статора, средняя окружность – внутренняя поверхность магнитопровода статора, внутренняя окружность – наружная поверхность магнитопровода ротора.

В пазах магнитопровода статора расположена трехфазная простейшая (сосредоточенная) обмотка. Каждая фаза состоит из одного витка (двух проводников на поперечном разрезе). Первая фаза – проводники C1 и C4, вторая – C2 и C5, третья – C3 и C6. Проводники каждого витка (фазы) находятся на расстоянии полюсного деления τ , т.е. обмотка с полным шагом. Начала фаз сдвинуты относительно друг друга на 120 эл. град. Проводники обмотки ротора не изображены.

На рис. 3, а направления токов в проводниках обмотки статора соответствуют моменту времени, когда

$$i_1 = I_m, \quad i_2 = i_3 = -0,5I_m. \quad (1)$$

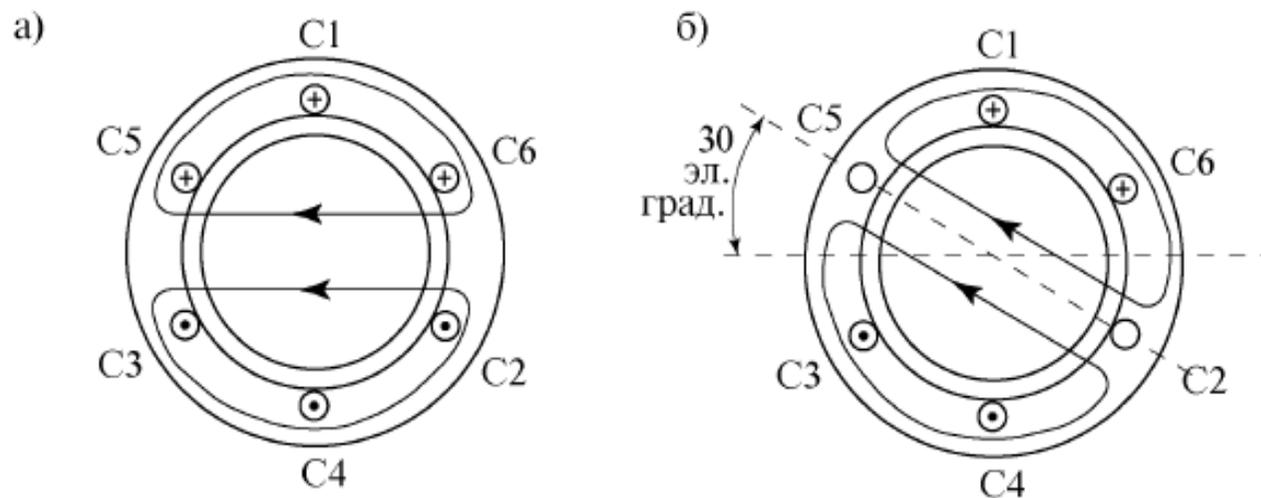


Рис. 3



ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины

2. Вращающееся магнитное поле

3. Принцип действия асинхронной
машины и режимы работы

4. Рабочие характеристики
асинхронного двигателя

5. Вращающие моменты
асинхронной машины

6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература

Интернет-ресурсы

Ток в первой фазе имеет положительное направление и величину, равную амплитуде. Токи фаз считаются положительными, когда они в началах фаз (проводники С1, С2, С3) направлены от нас за плоскость чертежа. Распределение токов по окружности статора составляет две зоны, каждая величиной в полюсное деление. Направления токов в этих зонах противоположны.

Токи проводников обмотки статора двухполюсной машины создают двухполюсный магнитный поток Φ_1 , замыкающийся через магнитопроводы статора, ротора и воздушный зазор. Ось магнитного потока совпадает с осью фазы, в которой ток имеет величину, равную амплитуде.

На рис. 3,б проставим направления токов для момента времени, когда фазы токов изменились на 30 эл. град.:

$$i_1 = (\sqrt{3} / 2) I_m, \quad i_2 = 0, \quad i_3 = -(\sqrt{3} / 2) I_m. \quad (2)$$

Из рис. 3 видно, что при изменении фазы токов на 30 эл. град. магнитный поток повернулся в направлении следования фаз также на 30 эл. град.

Обмотка статора двухполюсной машины при питании ее трехфазным током создает двухполюсное вращающееся магнитное поле. При этом за один период изменения тока поле поворачивается на 360 эл. град.

Частота вращения поля для двухполюсной машины $n_1 = f_1$, об/с, где f_1 – частота тока обмотки статора, Гц. В машине с другой полюсностью магнитное поле вращается с частотой $n_1 = \frac{f_1}{p}$, об/с, или $n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}$, об/мин, где p – число пар полюсов.

При $f_1 = 50$ Гц получаются следующие частоты вращения магнитного поля в зависимости от числа пар полюсов обмотки статора

p	1	2	3	4	5	6
n_1 , об/мин	3000	1500	1000	750	600	500





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ
ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины

2. Вращающееся магнитное поле

**3. Принцип действия асинхронной
машины и режимы работы**

4. Рабочие характеристики
асинхронного двигателя

5. Вращающие моменты
асинхронной машины

6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература

Интернет-ресурсы

3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы

Обмотка статора создает вращающийся магнитный поток Φ_1 , который при своем вращении пересекает проводники обмотки статора и ротора, индуцируя в них ЭДС e_1, e_2 . ЭДС обмотки статора e_1 , являясь ЭДС самоиндукции, действует встречно приложенному к обмотке напряжению и ограничивает ее ток.

Если обмотку фазного ротора замкнуть, то в ней под действием ЭДС e_2 возникнет ток i_2 , частота которого при неподвижном роторе равна первичной частоте f_1 (частоте тока обмотки статора). При трехфазной обмотке ротора в ней индуцируется трехфазный ток, который создает вращающийся магнитный поток ротора Φ_2 .

При неподвижном роторе вращающийся магнитный поток ротора Φ_2 , вследствие равенства числа полюсов обмоток, имеет частоту и направление вращения такие же, как у магнитного потока статора

$$n_2 = f_2 / p = f_1 / p = n_1, \text{ об/с.} \quad (3)$$

Потоки Φ_1 и Φ_2 вращаются синхронно и образуют результирующий вращающийся магнитный поток Φ .

При короткозамкнутом роторе, в отличие от фазного ротора, в стержнях его обмотки индуцируется многофазная система токов i_2 . Эти токи также создают вращающийся магнитный поток Φ_2 , у которого число полюсов, частота и направление вращения являются такими же, как у потока фазного ротора.

ЭДС, индуцируемые в обмотках статора и ротора вращающимся магнитным потоком, можно рассматривать, как действие результирующего магнитного потока Φ .

В результате взаимодействия проводников с током, размещенных в пазах ротора с результирующим магнитным потоком Φ , возникают действующие на проводники ротора механические силы F и вращающий электромагнитный момент M .

Изобразим на рис. 4 упрощенную развертку двухполюсной асинхронной машины. В верхней части рисунка представлена вращающаяся слева направо синусоидальная волна индукции B результирующего магнитного потока Φ , и направления ЭДС e_2 в про-





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины

2. Вращающееся магнитное поле

**3. Принцип действия асинхронной
машины и режимы работы**

4. Рабочие характеристики
асинхронного двигателя

5. Вращающие моменты
асинхронной машины

6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература

Интернет-ресурсы

водниках обмотки неподвижного короткозамкнутого ротора, индуцируемых этим потоком. Ниже показаны направления токов проводников i_2 и действующих на них сил F , когда угол сдвига фаз Ψ_2 между e_2 и i_2 равен нулю и 90° .

При $\Psi_2 = 0$ все механические силы действуют в сторону вращения магнитного потока. Поэтому создается электромагнитный вращающий момент, действующий в сторону вращения магнитного потока.

При $\Psi_2 = 90^\circ$ механические силы действуют на проводники обмотки ротора таким образом, что не создается результирующий электромагнитный вращающий момент. Это позволяет сделать вывод, что вращающий момент создается только активной составляющей тока ротора

$$I_{2a} = I_2 \cdot \cos \Psi_2. \quad (4)$$

Так как обмотка ротора асинхронного двигателя обладает активным и индуктивным сопротивлениями, то в первый момент пуска (при неподвижном роторе) всегда $0 < \Psi_2 < 90^\circ$, в результате создается электромагнитный вращающий момент. Если он больше статического момента на валу, ротор придет во вращение в том же направлении, что и поток, но с несколько меньшей частотой вращения n . Причина этого заключается в том, что ротор является симметричным в электрическом и магнитном отношении. Поэтому не создается «реактивный» момент, как в синхронных машинах, и синхронизма вращения ротора и потока нет. Это и заставило назвать рассматриваемые электрические машины асинхронными.

Относительная разность частот вращения потока и ротора называется скольжением и может рассчитываться в относительных единицах или в процентах

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1}, \text{ о.е.}, \quad (5)$$

$$S = \frac{n_1 - n}{n_1} \cdot 100, \%. \quad (6)$$

Частота вращения ротора определяется через скольжение в относительных единицах следующим образом $n = (1 - S) \cdot n_1$, через скольжение в процентах





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины

2. Вращающееся магнитное поле

**3. Принцип действия асинхронной
машины и режимы работы**

4. Рабочие характеристики
асинхронного двигателя

5. Вращающие моменты
асинхронной машины

6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература

Интернет-ресурсы

$$n = \frac{(100 - S) \cdot n_1}{100} \quad (7)$$

В первый момент пуска (при неподвижном роторе) скольжение равно единице. Если ротор вращать синхронно с потоком $n = n_1$, вращающееся магнитное поле относительно ротора неподвижно и скольжение равно нулю. ЭДС в обмотке ротора в этом случае не индуцируется, ток в обмотке ротора отсутствует, поэтому электромагнитный момент не создается.

Таким образом, асинхронная машина в режиме двигателя обладает частотой вращения ротора и скольжением в следующих диапазонах

$$0 < n < n_1; \quad 0 < S < 1.$$

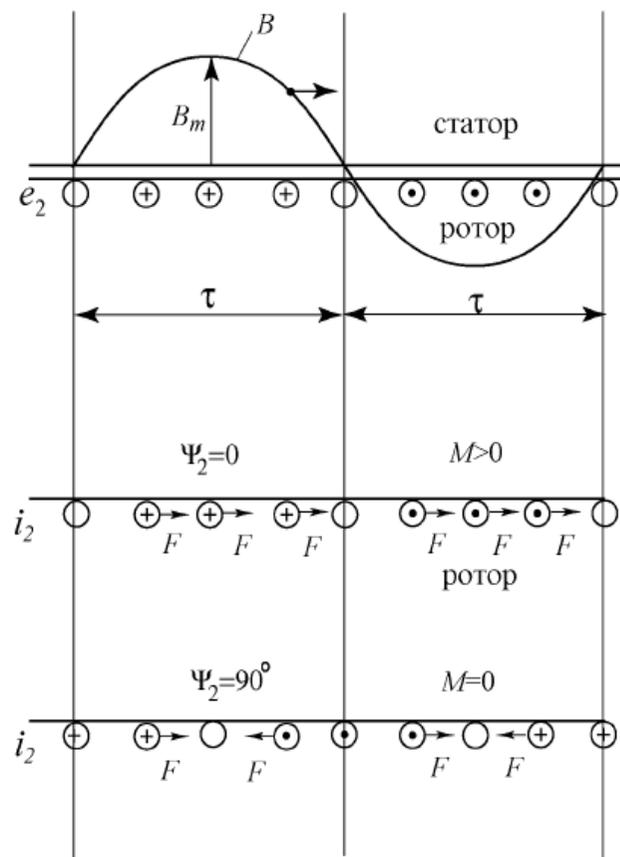


Рис. 4



ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины

2. Вращающееся магнитное поле

**3. Принцип действия асинхронной
машины и режимы работы**

4. Рабочие характеристики
асинхронного двигателя

5. Вращающие моменты
асинхронной машины

6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература

Интернет-ресурсы

Ранее было отмечено, что потоки обмоток статора и ротора в первый момент пуска (при неподвижном роторе) вращаются синхронно. Рассмотрим, изменится ли ситуация при вращающемся роторе.

При вращении ротора в сторону вращения потока частота пересечения потоком проводников обмотки ротора пропорциональна разности их частот вращения $(n_1 - n)$, поэтому частота тока в обмотке ротора будет равна

$$f_2 = p \cdot (n_1 - n) = S \cdot p \cdot n_1 = S \cdot f_1. \quad (8)$$

Т.е. частота тока в обмотке ротора пропорциональна скольжению.

При частоте тока в обмотке ротора $f_2 < f_1$ частота вращения поля ротора относительно самого ротора n_{2p} также меньше n_1

$$n_{2p} = \frac{f_2}{p} = S \cdot n_1. \quad (9)$$

Частота вращения потока обмотки ротора относительно статора

$$n_{2c} = n + n_{2p} = (1 - S) \cdot n_1 + S \cdot n_1 = n_1. \quad (10)$$

т.е. частота вращения потока обмотки ротора относительно статора при любой частоте вращения ротора n равна частоте вращения потока обмотки статора n_1 .

К выше сказанному остается добавить следующее. Если ротор асинхронной машины с помощью дополнительного устройства привести во вращение в направлении вращения потока с частотой выше синхронной $(n > n_1)$, то ротор будет обгонять поток и направления индуцируемых в обмотке ротора ЭДС и токов изменятся на обратные. Также изменятся на обратные направления сил F и электромагнитного момента M .

Момент теперь будет тормозящим, а машина будет работать в режиме генератора и отдавать активную мощность в сеть. Скольжение для генераторного режима $S < 0$.

Если ротор вращать в направлении обратном направлению вращения потока, то направления e_2 , i_2 , F сохраняются такими же, как в двигательном режиме. Электромагнитный момент M будет действовать в направлении вращения потока, но будет теперь тормозить вращение ротора. Этот режим работы асинхронной машины называется режимом противовключения, или режимом электромагнитного тормоза. В этом режиме $S > 1$.





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ
ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы

4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

Рабочими характеристиками асинхронного двигателя называют зависимости потребляемой мощности P_1 , первичного тока I_1 , коэффициента мощности $\cos\varphi_1$, момента на валу M_2 , скольжения s и коэффициент полезного действия η от полезной мощности P_2 при работе с номинальным напряжением и частотой. Рабочие характеристики позволяют находить все основные величины, определяющие режим работы двигателя при различных нагрузках. Эти характеристики можно построить по расчетным данным при проектировании двигателя, по данным непосредственной нагрузки двигателя или по данным круговой диаграммы, построенной на основе опытов холостого хода и короткого замыкания. На рис. 5 изображены рабочие характеристики асинхронного двигателя мощностью 15 кВт. При $P_2=0$ величины I_1 , $\cos\varphi_1$ соответствуют режиму холостого хода.

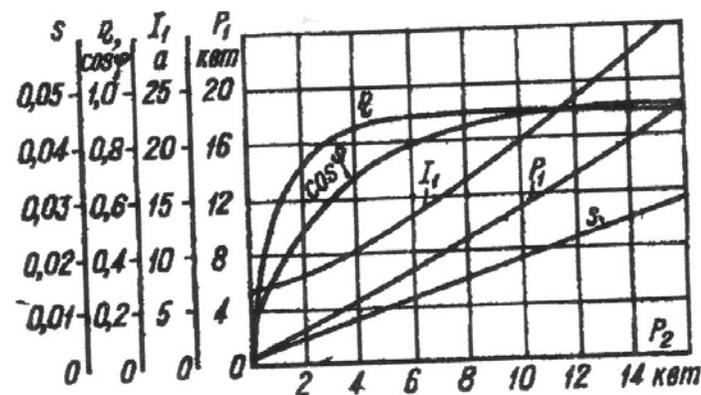


Рис. 5

Скоростная характеристика $n = f(P_2)$. Частота вращения ротора асинхронного двигателя $n = n_1(1 - s)$. Скольжение $s = P_{32}/P_{\text{эм}}$, т.е. скольжение двигателя, а следовательно, и его частота вращения определяются отношением электрических потерь в роторе к электромагнитной мощности $P_{\text{эм}}$. Пренебрегая электрическими потерями в роторе в режиме холостого хода, ввиду их небольшой величины, можно принять $P_{32} = 0$, поэтому скольжение в режиме холостого хода $s \approx 0$ и $n_{20} \approx n_1$. По мере увеличения нагрузки на валу двигателя скольжение растёт, достигая значений 0,01–0,08 при номинальной на-





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы

4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

грузке. В соответствии с этим зависимость $n = f(P_2)$ представляет собой кривую, слабо наклоненную к оси абсцисс.

Зависимость $M_2 = f(P_2)$. Зависимость полезного момента на валу двигателя M_2 от полезной мощности определяется выражением: $M_2 = P_2 / \omega_2 = 60 P_2 / (2\pi n) = 9,55 P_2 / n$, где P_2 – полезная мощность, Вт; $\omega_2 = 2\pi n / 60$ – угловая скорость вращения ротора.

Из этого выражения следует, что если частота вращения ротора постоянна $n = \text{const}$, то график $M_2 = f(P_2)$ представляет собой прямую линию. Но в асинхронном двигателе с увеличением нагрузки P_2 частота вращения ротора уменьшается, поэтому полезный момент на валу M_2 , с увеличением нагрузки возрастает несколько быстрее P_2 , следовательно, график имеет криволинейный вид.

Зависимость $\cos \phi_1 = f(P_2)$. В связи с тем, что ток статора I_1 имеет реактивную (индуктивную) составляющую, необходимую для создания магнитных полей в двигателе, коэффициент мощности меньше единицы. Наименьшее значение коэффициента мощности, как и тока статора, соответствуют режиму холостого хода. Объясняется это тем, что ток холостого хода I_0 при любой нагрузке остается практически неизменным. Поэтому при малых нагрузках двигателя ток статора невелик и в значительной части является реактивным ($I_1 \approx I_0$). При увеличении нагрузки на валу двигателя растет активная составляющая тока статора I_1 и коэффициент мощности возрастает, достигая наибольшего значения (0,80–0,90) при нагрузке близкой к номинальной. Дальнейшее увеличение нагрузки сопровождается уменьшением коэффициента мощности, что объясняется возрастанием индуктивного сопротивления ротора (x_2s) за счет увеличения скольжения.

С целью повышения коэффициента мощности важно, чтобы АД работал всегда или по крайней мере значительную часть времени с нагрузкой, близкой к номинальной. Это можно обеспечить только правильным выбором мощности двигателя. Если же двигатель работает значительную часть времени недогруженным, то для повышения коэффициента мощности целесообразно подводимое к двигателю напряжение уменьшить.





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

5. Вращающие моменты асинхронной машины

6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

5. Вращающие моменты асинхронной машины

Электромагнитный момент асинхронной машины создается взаимодействием тока в обмотке ротора с вращающимся магнитным потоком и пропорционален электромагнитной мощности

$$M = \frac{P_{ЭМ}}{\omega_1} = \left(\frac{P_{ЭЛ2}}{S} \right) \cdot \frac{1}{\omega_1} = \frac{m_1 \cdot (I_2')^2 \cdot r_2'}{\omega_1 \cdot S}, \quad (11)$$

где $\omega_1 = \frac{2\pi \cdot n_1}{60} = \frac{2\pi \cdot f_1}{p}$ – угловая скорость вращения магнитного потока.

Из приведенного выражения видно, что электромагнитный момент пропорционален мощности электрических потерь в обмотке ротора.

Из Г-образной схемы замещения ток в рабочем контуре равен

$$I_2' = \frac{c_1 \cdot U_1}{\sqrt{\left(c_1 \cdot r_1 + \frac{c_1^2 \cdot r_2'}{S} \right)^2 + \left(c_1 \cdot x_{\sigma 1} + c_1^2 \cdot x'_{\sigma 2} \right)^2}} = \frac{U_1}{\sqrt{\left(r_1 + \frac{c_1 \cdot r_2'}{S} \right)^2 + \left(x_{\sigma 1} + c_1 \cdot x'_{\sigma 2} \right)^2}}. \quad (12)$$

Формула электромагнитного момента принимает следующий вид

$$M = \frac{p \cdot m_1 \cdot U_1^2 \cdot r_2'}{2\pi \cdot f_1 \cdot S \cdot \left[\left(r_1 + \frac{c_1 \cdot r_2'}{S} \right)^2 + \left(x_{\sigma 1} + c_1 \cdot x'_{\sigma 2} \right)^2 \right]}. \quad (13)$$





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

5. Вращающиеся моменты асинхронной машины

6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

Значения параметров схемы замещения асинхронной машины при изменениях нагрузки остаются практически неизменными, как и напряжение на фазе обмотки U_1 и частота f_1 .

Поэтому можно сделать выводы: электромагнитный момент при любом значении скольжения пропорционален фазному напряжению в квадрате (фазному току ротора в квадрате); электромагнитный момент тем меньше, чем больше такие параметры схемы замещения, как r_1 , $x_{\sigma 1}$, $x'_{\sigma 2}$.

Рассмотрим зависимость электромагнитного вращающего момента от скольжения $M = f(S)$ при $U_1 = \text{const}$, $f_1 = \text{const}$ и постоянных параметрах схемы замещения, (рис. 6). Эта зависимость называется механической характеристикой асинхронной машины.

При значениях скольжения $S = 0$ и $S = \pm\infty$ электромагнитный момент $M = 0$. Механическая характеристика имеет два экстремума. Максимальный момент асинхронной машины в генераторном режиме несколько больше, чем в двигательном ($|M_{\text{МГ}}| > M_{\text{МД}}$).

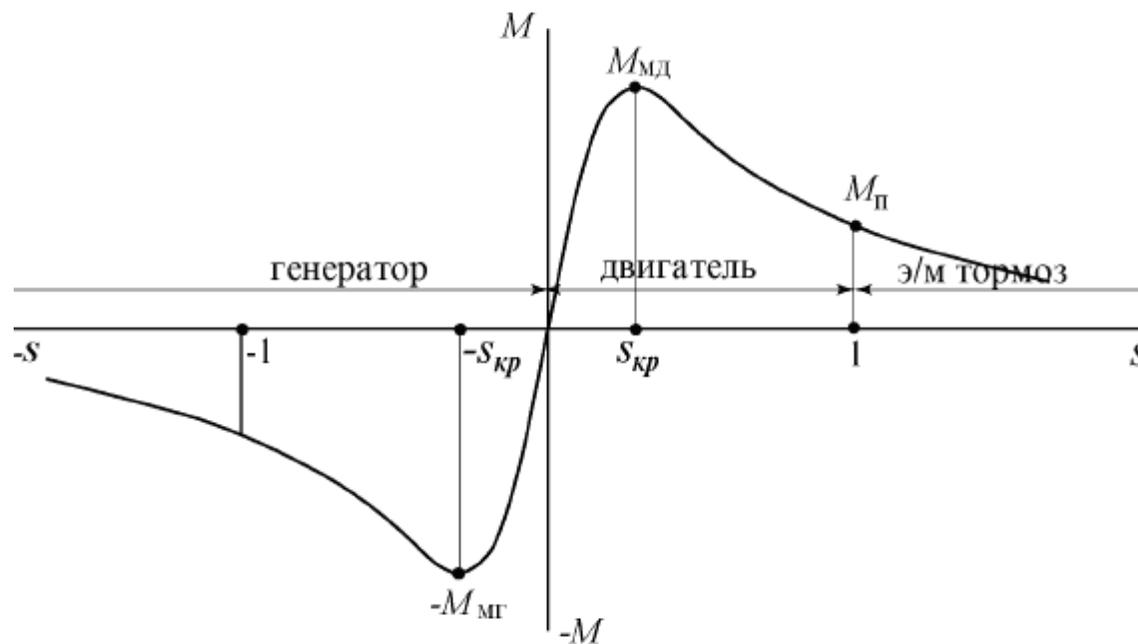


Рис. 6



ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

5. Вращающие моменты асинхронной машины

6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

Величина критического скольжения $S_{кр}$, соответствующего максимальному моменту, получается из первой производной выражения для электромагнитного момента, приравненной нулю:

$$S_{кр} = \pm \frac{c_1 \cdot r_2'}{\sqrt{r_1^2 + (x_{\sigma 1} + c_1 \cdot x'_{\sigma 2})^2}} \quad (14)$$

Подставив выражение критического скольжения в формулу электромагнитного момента, получим выражение максимального электромагнитного момента

$$M_M = \pm \frac{p \cdot m_1 \cdot U_1^2}{4\pi \cdot f_1 \cdot c_1 \cdot \left[\pm r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_{\sigma 1} + c_1 \cdot x'_{\sigma 2})^2} \right]}, \quad (15)$$

где знак (+) соответствует двигательному, а знак (-) – генераторному режиму работы асинхронной машины.

Электромагнитный момент достигает максимального значения при $S = \pm S_{кр}$, и далее, несмотря на увеличение I_2' , момент уменьшается, т.к. ток I_2' становится все более индуктивным $\left(\Psi_2 = \arctg \frac{x_{\sigma 2} \cdot S}{r_2} \right)$. Как отмечалось ранее, величину M определяет активная составляющая тока I_2' , которая сначала растет с увеличением I_2' при увеличении S , а затем, несмотря на увеличение I_2' – уменьшается. Следует также учитывать, что с увеличением I_1 падение напряжения в обмотке статора увеличивается и, как следствие, несколько уменьшается ЭДС E_1 и поток Φ .

Для асинхронных машин общего назначения $r_1 \ll (x_{\sigma 1} + c_1 \cdot x_2')$, и поэтому, пренебрегая величиной r_1 , получим упрощенные выражения критического скольжения и максимального электромагнитного момента





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ
ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

5. Вращающие моменты асинхронной машины

6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

$$S_{кр} \approx \pm \frac{c_1 \cdot r_2'}{x_{\sigma 1} + c_1 \cdot x'_{\sigma 2}}, \quad (16)$$

$$M_M \approx \pm \frac{p \cdot m_1 \cdot U_1^2}{4\pi \cdot f_1 \cdot (x_{\sigma 1} + c_1 \cdot x'_{\sigma 2})}. \quad (17)$$

У асинхронных двигателей общего назначения $S_{кр} = 0,06 \div 0,15$; кратность максимального момента $\frac{M_M}{M_H} = 1,7 \div 3,0$ – определяет перегрузочную способность двигателя.

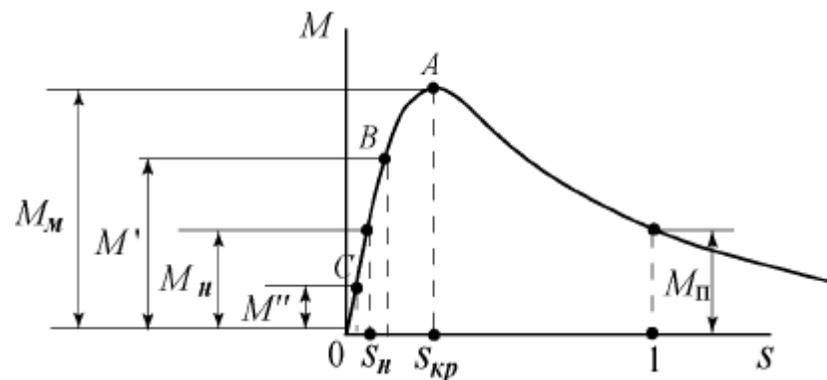


Рис. 7

Выражение максимального электромагнитного момента позволяет сделать следующие выводы: максимальный электромагнитный момент не зависит от активного сопротивления обмотки ротора, пропорционален фазному напряжению в квадрате (результатирующему магнитному потоку машины в квадрате), обратно пропорционален индуктивным сопротивлениям рассеяния обмоток статора и ротора.

Для анализа работы асинхронного двигателя воспользуемся механической характеристикой $M = f(S)$, представленной на рис. 7. При включении двигателя в сеть магнитный поток статора, не обладая инерцией, сразу же начинает вращение с синхронной частотой n_1 , а ротор двигателя под влиянием сил инерции в начальный момент пуска остается неподвижным ($n = 0$) и скольжение $S = 1$.





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

5. Вращающие моменты асинхронной машины

6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

Выражение начального пускового электромагнитного момента асинхронного двигателя

$$M_{\Pi} = \frac{p \cdot m_1 \cdot U_1^2 \cdot r'_2}{2\pi \cdot f_1 \cdot \left[(r_1 + c_1 \cdot r'_2)^2 + (x_{\sigma 1} + c_1 \cdot x'_{\sigma 2})^2 \right]} \quad (18)$$

Под действием этого момента начинается вращение ротора двигателя, при этом скольжение уменьшается, а вращающий момент возрастает в соответствии с характеристикой $M = f(S)$. При критическом скольжении $S_{кр}$ момент достигает максимального значения M_M . С дальнейшим нарастанием частоты вращения момент M начинает уменьшаться, пока не достигнет значения равного сумме противодействующих моментов, приложенных к ротору двигателя: момента холостого хода M_0 и полезного нагрузочного момента M_2 ($M = M_0 + M_2 = M_{СТ}$ – статический момент).

Следует учесть, что при скольжениях, близких к единице (пусковой режим двигателя), параметры схемы замещения заметно изменяют свои значения. Причинами этого являются: усиление магнитного насыщения зубцов магнитопроводов статора и ротора (уменьшаются индуктивные сопротивления рассеяния $x_{\sigma 1}$ и $x'_{\sigma 2}$), эффект вытеснения тока в стержнях ротора (увеличение активного сопротивления r'_2 и уменьшение $x'_{\sigma 2}$). Расчет пусковых характеристик проводится по соответствующим параметрам схемы замещения.

Статический момент $M_{СТ}$ равен сумме противодействующих моментов при равномерном вращении ротора ($n = \text{const}$). При номинальной нагрузке двигателя установившийся режим работы двигателя определяется на механической характеристике точкой с координатами $M = M_H$ и $S = S_H$.

Анализ механической характеристики показывает, что устойчивая работа асинхронного двигателя возможна при скольжениях меньше критического ($S < S_{кр}$), т.е. на участке OA механической характеристики. Именно на этом участке изменение нагрузки на валу двигателя сопровождается соответствующим изменением электромагнитного момента.





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя

5. Вращающие моменты асинхронной машины

6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература

Интернет-ресурсы

Когда двигатель работает при номинальной нагрузке, то имеет место равенство моментов $M = M_0 + M_{2H}$. Если произошло увеличение полезного нагрузочного момента до значения M'_2 , то равенство моментов нарушится и частота вращения ротора начинает убывать (скольжение будет увеличиваться). Это приведет к росту электромагнитного момента до значения $M' = M_0 + M'_2$ (точка *B*), и режим работы двигателя вновь станет установившимся. Если же двигатель работал при номинальной нагрузке и произошло уменьшение полезного нагрузочного момента до значения M''_2 , то равенство моментов вновь нарушится, но теперь частота вращения ротора начнет возрастать (скольжение будет уменьшаться). Это приведет к уменьшению электромагнитного момента M до значения $M'' = M_0 + M''_2$ (точка *C*), устойчивый режим работы будет вновь восстановлен, но уже при других значениях M и S .

Работа асинхронного двигателя становится неустойчивой при скольжениях $S \geq S_{кр}$. Если электромагнитный момент двигателя $M = M_M$, а скольжение $S = S_{кр}$, то даже незначительное увеличение нагрузочного момента приведет к процессу уменьшения электромагнитного момента M . За этим последует увеличение скольжения до тех пор, пока оно не достигнет значения $S = 1$, т.е. пока ротор двигателя не остановится.





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины

6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

6. Пуск АД с фазным ротором

В цепь обмотки ротора включается пусковой реостат, который имеет обычно несколько ступеней и рассчитывается на кратковременное протекание тока, рис. 8.

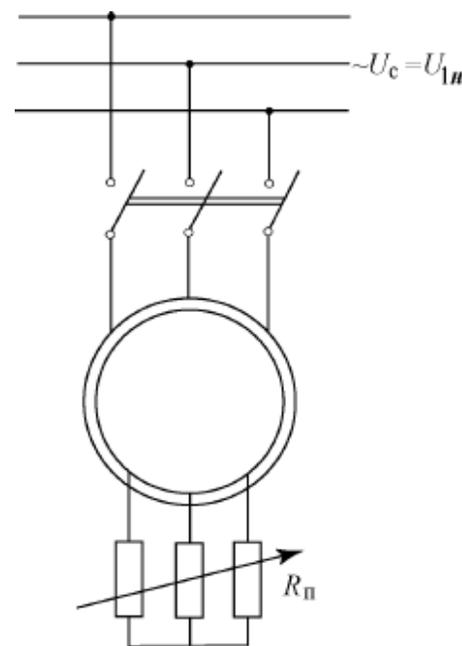


Рис. 8

Начальный пусковой момент может быть увеличен до максимального момента двигателя $M_{\Pi} = M_M$ при определенном сопротивлении пускового реостата $R_{\Pi} = R_{\Pi(\max)}$, рис. 9. Величину сопротивления пускового реостата $R_{\Pi(\max)}$ можно определить, приравняв критическое скольжение единице, т.е.

$$S_{кр} = \frac{c_1 \cdot (r'_2 + R'_{\Pi(\max)})}{\sqrt{r_1^2 + (x_{\sigma 1} + c_1 \cdot x'_{\sigma 2})^2}} = 1. \quad (19)$$



ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ
ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины

6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

Приведенное активное сопротивление фазы пускового реостата

$$R'_{\Pi(\max)} = \left(\sqrt{r_1^2 + (x_{\sigma 1} + c_1 \cdot x'_{\sigma 2})^2} - c_1 \cdot r'_2 \right) \cdot \frac{1}{c_1}. \quad (20)$$

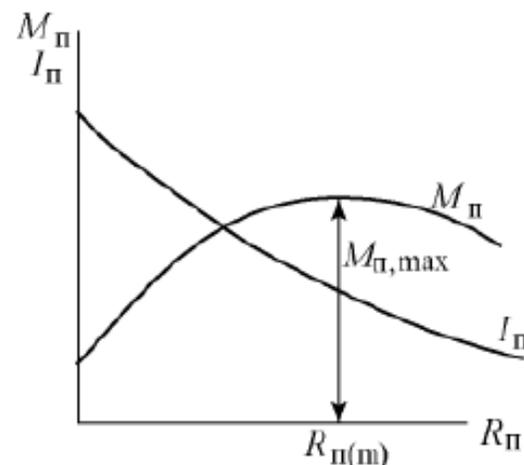


Рис. 9

Действительное сопротивление пускового реостата

$$R_{\Pi(\max)} = R'_{\Pi(\max)} \left(\frac{w_2 \cdot k_{об2}}{w_1 \cdot k_{об1}} \right)^2. \quad (21)$$

Обычно выбирают $R_{\Pi} \leq R_{\Pi(\max)}$. По мере увеличения частоты вращения ротора сопротивление пускового реостата уменьшают, переходя с одной его ступени на другую. Ступени пускового реостата рассчитывают так, чтобы при переключениях вращающий момент превышал статический момент.

Приведенное активное сопротивление фазы пускового реостата

$$R'_{\Pi(\max)} = \left(\sqrt{r_1^2 + (x_{\sigma 1} + c_1 \cdot x'_{\sigma 2})^2} - c_1 \cdot r'_2 \right) \cdot \frac{1}{c_1}. \quad (22)$$



ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ
ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

**Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы**

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
Интернет-ресурсы

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению работы

1. В чем заключается отличие асинхронных двигателей с фазными роторами от двигателей с роторами короткозамкнутыми?
2. Объясните последовательность действий при пуске асинхронного двигателя с фазным ротором?
3. Для чего в цепь обмотки ротора двигателя включают добавочные активные сопротивления?
4. Как в данной лабораторной работе определяется частота тока в обмотке ротора?
5. Поясните определение рабочих характеристик двигателя по методу непосредственной нагрузки?
6. Как определяют скольжение ротора асинхронного двигателя?
7. Поясните, как определяется полезная мощность двигателя?





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы

**Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета**

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература

Интернет-ресурсы

Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению отчета

1. Чему равна частота тока в обмотке ротора асинхронного двигателя в начальный момент пуска?
2. Почему потери холостого хода называют постоянными?
3. Что необходимо выполнить, чтобы двигатель, работающий в режиме холостого хода, нагрузить?
4. Какие зависимости называют рабочими характеристиками асинхронного двигателя?
5. Какими способами можно получить рабочие характеристики?
6. Какими способами можно определить величину скольжения при нагрузке двигателя?
7. Поясните, какие потери в двигателе называют механическими и от чего они зависят?
8. От чего зависят потери в сердечниках магнитопровода асинхронного двигателя?
9. Объясните, почему и как меняется коэффициент мощности двигателя при изменении нагрузки на его валу?
10. Какую мощность в двигателе называют электромагнитной?
11. Почему потери в сердечнике ротора двигателя при номинальной частоте вращения не учитываются?
12. При какой нагрузке двигатель имеет максимальный КПД?
13. Почему растет ток статорной обмотки при увеличении механической нагрузки на валу двигателя?
14. Укажите все возможные способы пуска в ход асинхронного двигателя с фазным ротором?
15. Укажите все возможные способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя с фазным ротором?





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ
ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы

**Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета**

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература
Интернет-ресурсы

16. Изобразите и поясните рабочую характеристику $I_1 = f(P_2)$.
17. Изобразите и поясните рабочую характеристику $P_1 = f(P_2)$.
18. Изобразите и поясните рабочую характеристику $n = f(P_2)$.
19. Изобразите и поясните рабочую характеристику $\cos \phi = f(P_2)$.
20. Изобразите и поясните рабочую характеристику $\eta = f(P_2)$.
21. Как определяются электрические потери в обмотке статора?
22. Как определяются электрические потери в обмотке ротора?
23. Что означают приведенные потери в обмотке ротора?
24. Почему электрические потери называют переменными?
25. От чего зависят электрические потери?
26. Какие потери называют добавочными?





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

ГЛОССАРИЙ

Асинхронная машина – бесколлекторная машина переменного тока, у которой в установившемся режиме магнитное поле, участвующее в основном процессе преобразования энергии, и ротор вращаются с разными скоростями.

Асинхронная машина с фазным ротором – асинхронная машина, у которой обмотка ротора выполнена разомкнутой для присоединения к внешней цепи.

Асинхронная скорость вращения машины переменного тока – скорость вращения ротора машины переменного тока, отличающаяся от скорости вращения магнитного поля, участвующего в основном процессе преобразования энергии.

Балансирная машина – электрическая машина, предназначенная для определения вращающихся моментов посредством измерения сил механической реакции ее статора.

Критическое скольжение асинхронной машины – скольжение, при котором асинхронная машина развивает максимальный вращающий момент.

Машина переменного тока – электрическая машина, предназначенная для преобразования механической энергии в электрическую энергию переменного тока, или электрической энергии переменного тока в механическую, или электрической энергии переменного тока в электрическую энергию переменного тока другого напряжения, другой частоты.

Начальный пусковой момент электродвигателя – вращающий момент электродвигателя, развиваемый при неподвижном роторе и начальном пусковом токе.

Начальный пусковой ток электродвигателя – установившийся ток в обмотке электродвигателя при неподвижном роторе.

Номинальные данные – данные, характеризующие номинальный режим работы электрической вращающейся машины.

Потери в электрической вращающейся машине – мощность, расходуемая в электрической вращающейся машине в процессе преобразования энергии.





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ
ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Литература
- Интернет-ресурсы

Рабочие характеристики – зависимости подводимой мощности, тока в обмотке статора, вращающего момента, коэффициента полезного действия, коэффициента мощности и скорости вращения электрической вращающейся машины от ее полезной мощности при неизменных напряжении на выводах обмотки статора, частоте и внешних сопротивлениях в цепях обмоток машин.

Скольжение – отношение разности между скоростью вращения магнитного поля и скоростью вращения ротора машины переменного тока к скорости вращения магнитного поля.

Фазное напряжение – напряжение между выводами одной фазы обмотки электрической вращающейся машины.

Электрическая машина – машина, действие которой основано на использовании явления электромагнитной индукции и которая предназначена для преобразования механической энергии в электрическую, или электрической энергии в механическую, или электрической энергии в электрическую энергию другого рода тока, другого напряжения, другой частоты; машина состоит из двух частей, участвующих в основном энергопреобразовательном процессе и имеющих возможность относительного вращения.

Электродвигатель – электрическая машина, предназначенная для преобразования электрической энергии в механическую.





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ
ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература

Интернет-ресурсы

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература

1. Игнатович В.М., Ройз Ш.С. Электрические машины и трансформаторы: учеб. пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 147 с.
2. Электромеханические преобразователи энергии и трансформаторы. Лабораторный практикум. / А.И. Верхотуров, В.М. Игнатович, В.И. Попов, О.Л. Рапопорт, Т.В. Усачева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 152 с.
3. Игнатович В.М. Электрические машины. Расчет активной части и оценка эксплуатационных свойств силового трансформатора: учеб.-метод. пособие / В.М. Игнатович, Т.В. Усачева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – 84 с.
4. Копылов И.П. Электрические машины: учеб. для вузов. – 2-е изд., перераб. – М.: Высш. шк.; Логос; 2000. – 607 с.
5. Игнатович В.М., Ройз Ш.С. Электрические машины и трансформаторы: метод. указ. к изучению дисциплин «Электрические машины» и «Электромеханика». – Томск: Изд-во ТПУ, 1999. – 20 с.
6. Верхотуров А.И., Големгрейн В.В., Игнатович В.М., Ройз Ш.С. Электрические машины и трансформаторы. Контрольные вопросы при защите лабораторных работ по дисциплине «Электромеханика». – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – 25 с.





ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ
ИГНАТОВИЧ В.М., УСАЧЁВА Т.В.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА
ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ
ВВЕДЕНИЕ

ТЕОРИТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1. Устройство асинхронной машины
2. Вращающееся магнитное поле
3. Принцип действия асинхронной машины и режимы работы
4. Рабочие характеристики асинхронного двигателя
5. Вращающие моменты асинхронной машины
6. Пуск АД с фазным ротором

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению работы
- Вопросы для самоконтроля
готовности к выполнению отчета

ГЛОССАРИЙ

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

Литература

Интернет-ресурсы

Интернет ресурсы

1. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока, 2008 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/148913/>, вход свободный.
2. Игнатович В.М., Ройз Ш.З. Электрические машины и трансформаторы 2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/869562/>, вход свободный.
3. Верхотуров А.И., Игнатович В.М., Попов В.И., Рапопорт О.Л., Усачева Т.В. Электромеханические преобразователи энергии и трансформаторы. Лабораторный практикум 2011 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2012/m315.pdf>, вход свободный из корпоративной сети ТПУ.
4. Игнатович В.М., Усачева Т.В., Муратова Е.А. Асинхронные машины. Задания в тестовой форме по дисциплине «Электрические машины» 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://stanoks.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1414:2013-09-09-09-54-25&catid=97:bookselectrodvigareli&Itemid=284, вход свободный.





Возврат
из справки

КЛАВИАТУРА



Нажатие клавиши «**Home**» на клавиатуре вызывает переход к **титульной странице** документа.
С титульной страницы можно осуществить переход к оглавлению (в локальной версии курса).



Нажатие клавиши «**PgUp**» («**PageUp**») или показанных клавиш со стрелками на клавиатуре вызывает переход к просмотру **предыдущей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.



Нажатие клавиши «**PgDn**» («**PageDown**») или показанных клавиш со стрелками на клавиатуре вызывает переход к просмотру **следующей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

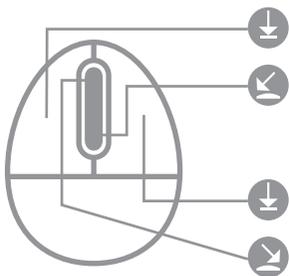


+



Нажатие комбинации клавиш «**Alt**»+«**F4**» на клавиатуре вызывает **завершение работы программы просмотра** документа (в локальной версии курса).

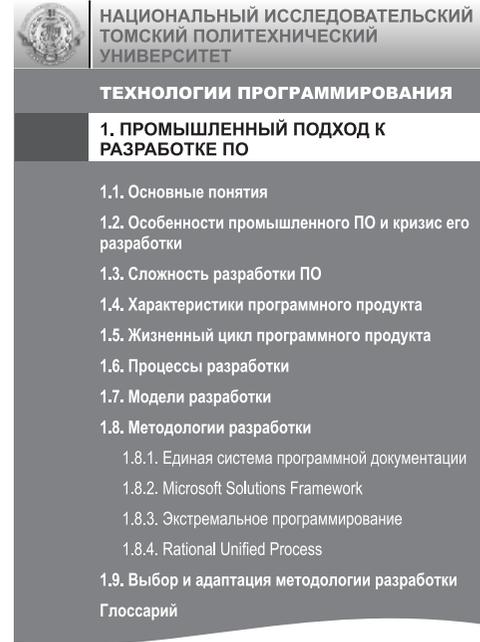
МАНИПУЛЯТОР «МЫШЬ»



Нажатие **левой клавиши** «мыши» или вращение **колёсика** в направлении «**от себя**» вызывает переход к просмотру **следующей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

Нажатие **правой клавиши** «мыши» или вращение **колёсика** в направлении «**к себе**» вызывает переход к просмотру **предыдущей страницы** относительно просматриваемой в настоящий момент согласно порядку их расположения в документе.

ПАНЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ



Панель управления – содержит перечень разделов, а также кнопки навигации, управления программой просмотра и вызова функции поиска по тексту.

Просматриваемый в данный момент раздел.

Доступные разделы.

В зависимости от текущего активного раздела в перечне могут присутствовать подразделы этого раздела.



Кнопка переключения между полноэкранным и оконным **режимом просмотра**.

Кнопки **последовательного перехода** к предыдущей и следующей страницам.

Кнопка **возврата к предыдущему виду**. Используйте её для обратного перехода из глоссария.

Кнопка вызова функции **поиска по тексту**.

Кнопка перехода к **справочной (этой) странице**.

Кнопка **завершения работы**.