

# Лабораторная работа № 1

## ИССЛЕДОВАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОГО АСИНХРОННОГО МИКРОДВИГАТЕЛЯ

Целью лабораторной работы является изучение рабочих и пусковых характеристик универсального асинхронного микродвигателя с короткозамкнутым ротором и трехфазной обмоткой на статоре при его питании от трехфазной и однофазной сети, а также выбор фазосдвигающих элементов для однофазных двигателей.

### Общие сведения

Универсальный асинхронный двигатель (УАД) представляет собой трехфазный двигатель с короткозамкнутым ротором, который может использоваться без изменения его конструкции и обмоточных данных как при трехфазном, так и при однофазном питании.

Конечно, любой трехфазный двигатель может быть включен в однофазную сеть. При работе от трехфазной сети обмотки статора в зависимости от напряжения соединяются в звезду или треугольник (рис. 1.1 а, б). При однофазном питании трехфазный асинхронный двигатель может работать как однофазный двигатель с пусковым сопротивлением  $R_n$  и пусковой емкостью  $C_n$  (рис. 1.1 в, г, д, е) или как конденсаторный – с постоянно включенными фазосдвигающими элементами (рис. 1.1 ж, з). В однофазном двигателе с пусковым элементом – пусковой емкостью или пусковым сопротивлением – вспомогательная обмотка включается лишь на время пуска и по окончании его отключается от сети с помощью специального выключателя. Все эти схемы позволяют получить в процессе пуска трехфазную или двухфазную в общем случае несимметричную систему токов и обеспечить образование вращающегося магнитного поля, необходимого для создания пускового момента.

На практике широкое применение получают универсальные асинхронные двигатели, специально предназначенные для работы как от трехфазной, так и однофазной сети переменного тока. Их универсальность оправдывается в том случае, если при однофазном питании обеспечиваются рабочие и пусковые свойства, близкие к характеристикам специально спроектированных однофазных двигателей.

Отечественной промышленностью выпускается несколько серий универсальных асинхронных двигателей, в том числе УАД и ДА. В двигателях серии УАД предусмотрены две схемы включения: с последовательно- параллельным соединением фазных обмоток (рис. 1.1, ж) и с соединением обмоток в симметричную звезду (рис. 1.1, з). В обеих схемах предусмотрено жесткое включение рабочего конденсатора  $C_p$ ,

емкость которого определяется из условия получения вращающегося поля, близкого к круговому, в рабочем режиме.

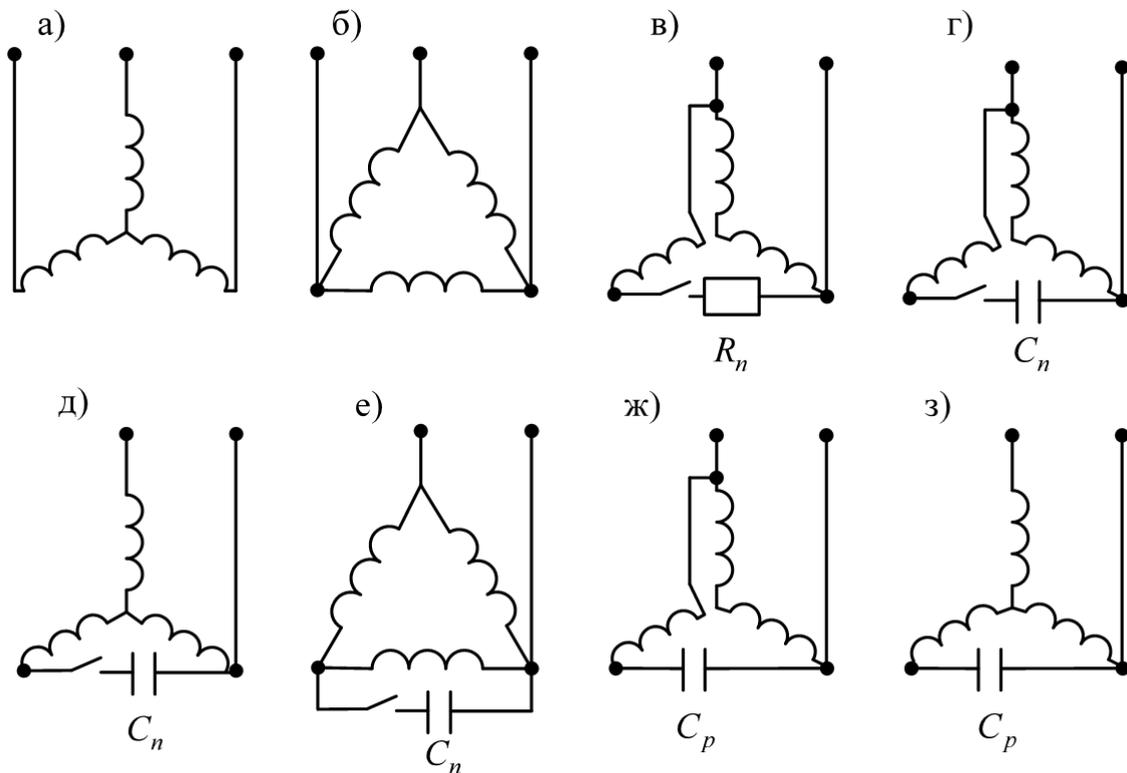


Рис. 1.1. Схемы включения обмоток трехфазного двигателя

## Программа работы

### 1. Экспериментальные исследования

1. Ознакомиться с конструкцией асинхронного микродвигателя с короткозамкнутым ротором и его паспортными данными.
2. Исследовать рабочие и пусковые свойства трехфазного двигателя:
  - а) снять рабочие характеристики при  $U = U_n$ ;
  - б) измерить начальный пусковой момент и ток при  $U = U_n$ .
3. Исследовать рабочие свойства конденсаторного двигателя:
  - а) рассчитать величину рабочей емкости  $C_p$ ;
  - б) снять рабочие характеристики при  $U = U_n$ ;
  - в) измерить начальный пусковой момент и ток при  $U = U_n$ .
4. Исследовать рабочие и пусковые свойства однофазного двигателя с пусковыми элементами:
  - а) снять рабочие характеристики при  $U = U_n$ ;
  - б) измерить начальные значения пусковых моментов и токов при разных значениях пусковой емкости  $C_n$  при  $U = U_n$ .

## 2. *Обработка результатов эксперимента*

1. Построить на одном графике механические характеристики трехфазного, однофазного и конденсаторного двигателей.

2. Построить на одном графике зависимости потребляемых тока и мощности от момента нагрузки для трехфазного, однофазного и конденсаторного двигателей.

3. Построить на одном графике зависимости КПД и коэффициента мощности от момента нагрузки для трехфазного, однофазного и конденсаторного двигателей.

4. Построить кривые начальных пусковых моментов и начальных пусковых токов в зависимости от значения пусковой емкости.

5. Построить векторную диаграмму конденсаторного двигателя для последовательно-параллельного соединения обмоток статора в номинальном режиме работы.

6. Сравнить рабочие и пусковые свойства трехфазного и однофазных двигателей.

### Пояснения и указания к работе

В работе исследуется трехфазный асинхронный двигатель типа АИР 56 номинальной мощностью 120 Вт с номинальной частотой вращения 1370 об/мин. Двигатель рассчитан на номинальное фазное напряжение 220 В. Коэффициент полезного действия 57%, коэффициент мощности 0,72. Кратность пускового момента составляет 2,2, кратность максимального момента – 2,1, кратность пускового тока 4,4 при номинальном фазном токе 0,44 А.

1. Перед началом испытаний следует рассчитать номинальный момент трехфазного двигателя  $M_{н3ф} = 9,55P_{н3ф}/n_{н3ф}$ , Н·м, где  $P_{н3ф}$  – номинальная полезная мощность двигателя в трехфазном режиме, Вт;  $n_{н3ф}$  – номинальная частота вращения в трехфазном режиме, об/мин. Выразить номинальный момент в делениях по шкале электромагнитного тормоза в соответствии с указанной ценой деления.

Все опыты проводятся по схеме рис. 1.2, обеспечивающей получение необходимых схем включения двигателей при минимальном потреблении энергии приборами. При испытании трехфазного двигателя переключатели  $П_{2-1}$  и  $П_{2-2}$  включаются в положение "3ф" и замыкается переключатель  $П_{1-1}$ , закорачивающий фазосмещающий элемент. При испытании однофазных двигателей переключатели  $П_{2-1}$  и  $П_{2-2}$  включаются в положение "1ф", замыкается переключатель  $П_{1-2}$  (переключатель  $П_{1-1}$  должен быть разомкнут) и устанавливается требуемое значение емкости. После пуска в ход однофазного асинхронного двигателя с пусковым элементом в рабочем режиме переключатель  $П_{1-2}$  размыкается. Таким образом, главной обмоткой у однофазных двигателей служат последовательно соединенные обмотки фаз  $C_2$  и  $C_3$ , а вспомогательной –

обмотка фазы  $C_1$ . В рабочем режиме у асинхронного двигателя с пусковыми элементами включена только главная обмотка.

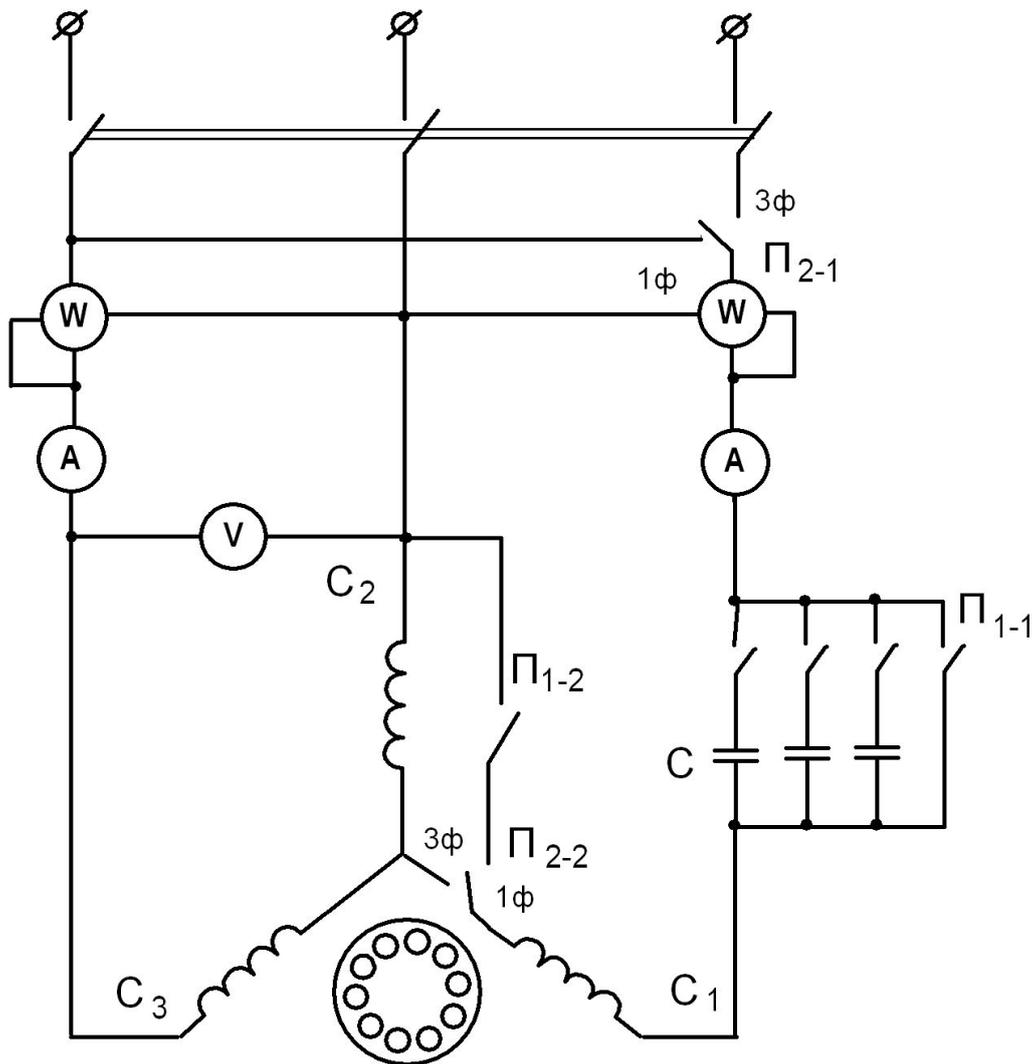


Рис. 1.2. Схема включения универсального асинхронного двигателя

Измерительные приборы выбраны в соответствии с номинальными данными, учитывая отклонения измеряемых величин для исследуемых режимов (холостой ход, короткое замыкание, рабочий режим). Используются приборы с малым собственным потреблением. Включение приборов, принятое в схемах для исследования трехфазного и однофазных двигателей (рис. 1.2), отвечает требованию получения минимальной погрешности измерения. В этих схемах погрешность измерения мощности будет вызываться лишь падением напряжения в амперметре и токовой цепи ваттметра.

Отсчет показаний в процессе работы должен производиться быстро во избежание влияния изменения температуры машины на параметры обмоток.

2. Рабочие характеристики трехфазного двигателя  $I_S, P_S, P_R, n, \cos\varphi, \eta = f(M)$  при  $U = U_n$  снимаются по схеме рис. 1.2 при изменении момента на валу от нуля (холостой ход) до максимального (опрокидывающего) момента  $M_m$ , соответствующего максимальному отклонению стрелки тормоза.

При снятии рабочих характеристик следует также провести измерение всех величин при номинальном моменте  $M_{н3ф}$  и проверить соответствие номинальных данных паспортным. После снятия рабочих характеристик измеряется пусковой момент и пусковой ток двигателя.

Изменение нагрузки двигателя и измерение вращающего момента производятся с помощью электромагнитного тормоза. Частота вращения двигателя измеряется бесконтактным тахометром. Измеряются также напряжение, подводимое к двигателю, потребляемая мощность и токи фаз. Рекомендуется провести шесть-семь измерений в диапазоне моментов от 0 (холостой ход) до  $M = M_m$  (опрокидывающий момент, после которого двигатель переходит в режим короткого замыкания).

Расчетные величины определяются по следующим формулам: потребляемая из сети активная мощность определяется по методу двух ваттметров  $P_S = P_1 \pm P_2$ ; полезная мощность рассчитывается как  $P_R = 0,105M \cdot n$ , Вт, где  $M$  – момент на валу двигателя в Н·м,  $n$  – частота вращения в об/мин; коэффициент полезного действия  $\eta = P_R / P_S$ ; коэффициент мощности  $\cos\varphi = P_S / (\sqrt{3}UI)$ , где  $U$  и  $I$  – значения линейных напряжения и тока; скольжение  $s = (n_c - n) / n_c$ , где  $n_c$  – синхронная частота вращения.

Опытные и расчетные данные для исследования рабочих характеристик двигателя рекомендуется свести в таблицы 1.1 и 1.2.

Таблица 1.1.

Опытные данные

$U, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$\cos\varphi_1$	$\cos\varphi_2$	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$	$M, дел.$	$n, об/мин$

Таблица 1.2.

Расчетные данные

$I, А$	$P_S, Вт$	$P_R, Вт$	$\cos\varphi$	$\eta$	$M, Н·м$	$s$

3. Рабочие характеристики конденсаторного двигателя  $I_A, I_B, I_S, P_A,$

$P_B, P_S, P_R, n, \cos\varphi_A, \cos\varphi_B, \cos\varphi, \eta = f(M)$  при  $U = U_H$  снимаются по схеме рис. 1.2 при последовательно-параллельном включении обмоток статора (при включенном переключателе  $\Pi_{1-2}$  и значении емкости  $C = C_p$ ).

В данном случае фазные обмотки образуют двухфазную систему с двумя рабочими обмотками  $A$  и  $B$ . Обмотка  $A$  образуется последовательным соединением двух фаз трехфазного двигателя  $C_2$  и  $C_3$  и имеет эффективное число витков  $w_A = \sqrt{3}w_\phi$ . Роль конденсаторной обмотки выполняет оставшаяся фаза  $C_1$  с эффективным числом витков  $w_A = w_\phi$ .

Вспомогательная обмотка в данном случае остается подключенной к сети через рабочую емкость  $C_p$ . Эту емкость обычно выбирают из условия получения кругового вращающегося поля при номинальном режиме работы. Круговое вращающееся поле в конденсаторном двигателе может быть получено лишь в том случае, если одновременно будут выполнены следующие два условия:

$$k = \frac{x_A}{r_A} = \operatorname{tg}\varphi_A;$$

$$x_C = kr_A + k^2x_A.$$

Здесь  $x_A, r_A$  – индуктивное и активное сопротивления обмоток, соответствующие рассматриваемому режиму работы;  $k = w_B / w_A$  – коэффициент трансформации;  $x_C$  – реактивное сопротивление выбранного конденсатора.

Таким образом, для получения кругового вращающегося поля в определенном режиме работы конденсаторного двигателя необходимо правильно выбрать не только емкость конденсатора, но и коэффициент трансформации. Поскольку в рассматриваемом случае коэффициент трансформации задан схемой соединения имеющихся обмоток  $k = w_B / w_A = 1/\sqrt{3}$ , то условия получения кругового вращающегося поля могут выполняться лишь при одном каком-либо режиме работы (скольжении), в общем случае, отличающемся от номинального:  $k = 1/\sqrt{3} = \operatorname{tg}\varphi_A$  при  $\varphi_A = 30^\circ$ .

О наличии кругового вращающегося поля можно судить по выполнению равенства приведенных токов и мощностей обмоток:  $I_B = \sqrt{3}I_A, P_B = P_A$ . В этом случае однофазный конденсаторный двигатель может отдавать ту же мощность, что и трехфазный при частоте вращения, соответствующей  $\cos\varphi = 0,866$ . Однако при этом ток в конденсаторной обмотке в  $\sqrt{3}$  раз превышает номинальный, что недопустимо по условиям нагрева обмотки статора. Именно поэтому за номинальный момент такого двигателя приходится принимать момент  $M_{HC} = (0,7 \dots 0,85)M_H$ .

Если фазные обмотки исходной асинхронной машины жестко соединены в симметричную звезду (переключатель П<sub>2.2</sub> в положении «3ф»), то для получения при конденсаторной схеме включения кругового вращающегося поля реактивное сопротивление конденсатора можно приближенно выбрать по формуле

$$x_C = \sqrt{3} \frac{U_\phi}{I_\phi} = \sqrt{3} Z_\phi.$$

Полученная величина  $x_C$  соответствует частоте вращения, при которой в трехфазном симметричном режиме  $\cos \varphi = 0,5$ . При этом фазные токи образуют симметричную звезду и двигатель в конденсаторном режиме может отдавать ту же мощность, что и в трехфазном режиме. Однако в рассматриваемом случае однофазный конденсаторный двигатель имеет недостаточную перегрузочную способность и его номинальный момент также приходится снижать до величины  $M_{нС} = (0,7 \dots 0,85) M_n$ .

Методика снятия рабочих характеристик однофазного конденсаторного двигателя такая же, как у трехфазного двигателя.

Результаты измерений и расчетов рекомендуется свести в таблицы 1.3 и 1.4.

Таблица 1.3.

Опытные данные

$U, В$	$I_1, А$	$I_2, А$	$\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_2$	$P_1, Вт$	$P_2, Вт$	$M, дел.$	$n, об/мин$

Таблица 1.4.

Расчетные данные

$I, А$	$P_S, Вт$	$P_R, Вт$	$\cos \varphi_A$	$\cos \varphi_B$	$\cos \varphi$	$\eta$	$M, Н \cdot м$	$s$

Для номинального режима конденсаторного двигателя строится векторная диаграмма токов и напряжений по значениям, измеренным в опыте. Диаграмма показывает соотношение токов в фазах и сети, напряжений сети, конденсатора и фазы В, а также позволяет оценить отклонение от условий получения кругового вращающегося поля в машине.

4. Для однофазного двигателя рабочие характеристики  $I_S, P_S, P_R, n, \cos \varphi, \eta = f(M)$  при  $U = U_n$  снимаются по схеме рис. 2.1 при выключении переключателя П<sub>1.2</sub>. Как известно, в однофазном двигателе пусковой

момент равен нулю, поэтому для пуска двигателя в ход используется вспомогательная фаза с включенным в нее пусковым элементом, которая отключается после разгона двигателя.

За номинальный момент однофазного двигателя следует принимать  $M_{н1ф} = (0,4 \dots 0,5) M_n$ .

Методика снятия рабочих характеристик такая же, как у трехфазного двигателя. Расчетные величины, за исключением  $\cos(\varphi)$ , определяются по формулам для трехфазного двигателя. Коэффициент мощности однофазного двигателя  $\cos \varphi = P_s / (UI)$ .

Запись результатов измерений и расчетов для однофазного двигателя рекомендуется свести в таблицы 1.5 и 1.6.

Таблица 1.5.

Опытные данные

$U, В$	$I_1, А$	$\cos \varphi_1$	$P_1, Вт$	$M, дел.$	$n, об/мин$

Таблица 1.6.

Расчетные данные

$I, А$	$P_s, Вт$	$P_R, Вт$	$\cos \varphi$	$\eta$	$M, Н \cdot м$	$s$

Пусковые свойства двигателя характеризуются его пусковым моментом  $M_n$  и пусковым током  $I_n$ . Для двигателей малой мощности при условии быстрого выполнения опыта можно измерять пусковой момент и пусковой ток при номинальном напряжении питания. Для сравнения различных двигателей используется кратность пускового момента  $k_{нм} = M_n / M_n$  и кратность пускового тока  $k_{нI} = I_n / I_n$  (здесь  $M_n$  и  $I_n$  – номинальные момент и ток для соответствующей схемы включения двигателя).

В работе пусковой момент и пусковой ток определяются при номинальном напряжении питания  $U = U_n$  для трехфазного двигателя и для однофазных двигателей с пусковой емкостью в зависимости от величины пусковой емкости  $M_n, I_n = f(C_n)$ .

Пусковую емкость следует изменять в пределах от величины рабочей емкости  $C_n = C_p$  до емкости, обеспечивающей кратность пускового момента  $k_{нм} = 1,5 \dots 2,0$ . Данные измерений заносят в таблицу 1.7.

Таблица 1.7.

### Исследование пусковых свойств

$C_{п}, \text{ мкФ}$	$M_{п}, \text{ Н}\cdot\text{м}$	$I_{п}, \text{ А}$

### Анализ результатов исследований

Для оценки свойств универсального асинхронного двигателя в разных режимах работы следует сравнить механические характеристики, рабочие характеристики, пусковые свойства трехфазного и однофазных двигателей.

Основные показатели рабочего и пускового режимов следует внести в сводную таблицу.

Сравнивая полезные мощности  $P_R$ , кратности максимального  $k_m$  и пускового  $k_{пМ}$  моментов, номинальные  $I_n$  и пусковые токи  $I_{п}$ , энергетические показатели  $\cos\phi$  и  $\eta$  в трехфазном и однофазных режимах работы, можно судить о целесообразности применения универсального асинхронного двигателя.

Кратность максимального момента у трехфазных двигателей лежит в диапазоне  $k_m = 1,6 \dots 3,0$ , а пускового  $k_{пМ} = 1,2 \dots 2,5$ .

У однофазных двигателей снижаются номинальные и максимальные моменты, ухудшаются энергетические показатели, что связано с появлением обратно вращающегося поля, вызывающего появление тормозного момента и добавочных потерь. Особенно резко влияние обратного поля проявляется в рабочем режиме однофазных двигателей с пусковыми элементами. У них наименьшие значения (из всех сравниваемых машин)  $\cos\phi$  и  $\eta$ .

Кратность пускового момента у двигателей с пусковой емкостью можно получить довольно большую, иногда до  $k_{пМ} = 3,5$ , подбирая соответствующее значение  $C_{п}$ . В конденсаторных двигателях с рабочей емкостью получается наилучшее значение  $\cos\phi$  из-за наличия емкости во вспомогательной фазе, однако кратность пускового момента низкая  $k_{пМ} = 0,1 \dots 0,55$ , так как в этом режиме велика эллиптичность поля.

### Контрольные вопросы

1. Объясните принцип работы трехфазного асинхронного двигателя при однофазном питании.

2. Назовите возможные разновидности пусковых элементов и объясните их назначение.

3. Укажите наибольшие кратности пусковых моментов и токов трехфазного двигателя и двигателей с пусковыми элементами. Как выбираются пусковые элементы?

4. Изменяется ли характер вращающегося поля однофазного двигателя с пусковыми элементами в процессе разбега, почему?

5. Нарисуйте наиболее распространенные схемы включения универсального асинхронного двигателя в однофазную сеть.
6. Укажите соотношения между номинальными моментами трехфазного, конденсаторного и однофазного двигателей.
7. Почему ток однофазного двигателя больше, чем у трехфазного?
8. Как опытным путем можно проверить наличие кругового вращающегося поля в асинхронном конденсаторном двигателе?
9. Укажите номинальные значения КПД и коэффициента мощности универсального асинхронного двигателя при различных схемах включения и назовите причины их различия.
10. При каком скольжении в двигателе с пусковым элементом и в конденсаторном двигателе с рабочим и пусковым конденсатором целесообразно отключать пусковую обмотку и пусковую емкость?
11. Сравните энергетическую диаграмму трехфазного и однофазного асинхронных двигателей и объясните, почему у трехфазного двигателя КПД всегда будет больше?
12. Как изменить направление вращения ротора в асинхронном конденсаторном двигателе? Можно ли реверсировать двигатель на ходу?

### **Литература**

1. Испытание электрических микромашин. – М.: Высш. школа, 1984. - 300 с. (*Глава 5. Испытание асинхронных микродвигателей*).
2. Осин И.Л., Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств. – М.: Издательство МЭИ, 2003 - 410 с. (*Глава 4. Асинхронные микродвигатели*).
3. Юферов Ф.М. Электрические машины автоматических устройств – М.: Высш. школа, 1988 – 479 с. (*Глава 3. Силовые асинхронные микродвигатели*).