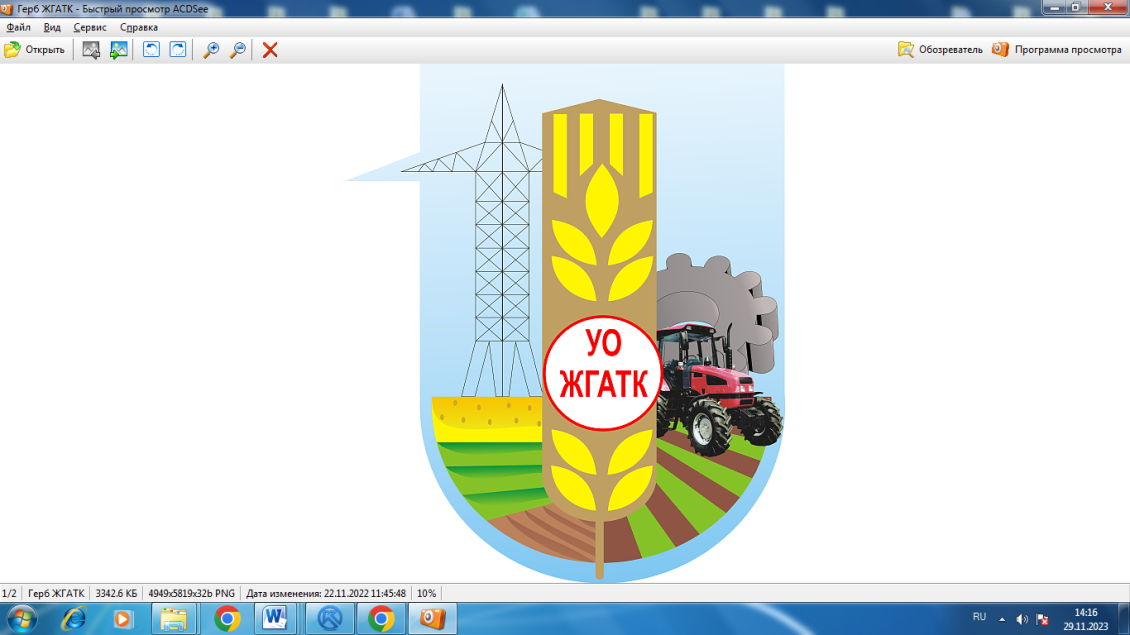
Учреждение образования

«Жировичский государственный аграрно-технический колледж»



# ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

по изучению предмета и выполнению контрольных заданий для учащихся заочной формы получения образования по специальности

5-04-0812-03 Эксплуатация энергетического оборудования в сельском хозяйстве

ЖИРОВИЧИ 2024

Методические рекомендации разработаны на основе примерного тематического плана по учебному предмету «Электрические измерения», утвержденной постановлением Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 31.10.2022 г. №119.

Разработчик: Ковалевская Н.В, преподаватель.

Методические рекомендацииобсуждены и одобрены на заседании цикловой комиссии преподавателей электротехнических предметов

Протокол № 2 от 15 октября 2024г

Председатель цикловой комиссии \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ М.А.Борисик

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Учебный предмет «Электрические измерения» обеспечивает базовую подготовку учащихся по специальности **«Эксплуатация энергетического оборудования в сельском хозяйстве»** в области метрологии и электроизмерительной техники.

Его изучение опирается на знания по математике, физике, теоретическим основам электротехники, основам электроники и микропроцессорной техники и другим дисциплинам.

Предмет изучения «Электрические измерения» составляют основные положения метрологии, принципы, средства и методы измерения электрических, магнитных и неэлектрических величин.

Цель предмета – дать учащимся представление о метрологическом обеспечении производства, о принципах действия и об устройстве современных средств измерений, о методах измерения основных электрических магнитных и неэлектрических величин, о проведении и обработке результатов измерений.

Предмет изучается на первом курсе. По изученному учебному материалу выполняется одна контрольная работа, которая состоит из ответов на пять вопросов. Вариант контрольной работы определяется двумя последними цифрами шифра (таблица 1).

К выполнению контрольной работы необходимо приступать только после изучения теоретического материала, руководствуясь методическими указаниями и проверяя свои знания по вопросам, данным в конце каждой темы. Для закрепления теоретических знаний программой предусмотрены лабораторно-практические работы. По каждой из них составляется отчет и сдается преподавателю.

Занятия, проводимые во время лабораторно-экзаменационной сессии, призваны помочь в освоении более сложных вопросов предмета и носят обзорный характер.

Учащиеся, получившие зачет по контрольной работе, выполнившие и представившие отчеты по всем лабораторно-практическим работам, допускаются к сдаче экзамена.

***Специалист должен в области электрических измерений знать на уровне представления:***

* общие сведения о средствах измерения и измерительных преобразователях;
* устройство, принцип действия, характеристики и области применения измерительных приборов;
* перспективы развития электрической измерительной техники и автоматизации измерений; ***знать на уровне понимания:***
* основные методы измерений и типы аппаратуры для проведения измерений;
* способы измерения электрических, электромагнитных и неэлектрических величин;
* основы метрологии, классы точности и погрешности средств измерений;
* порядок поверки средств измерений и измерительных приборов; – правила безопасности при проведении электрических измерений; ***уметь:***
* производить измерения с учетом требований безопасности труда;
* выбирать оптимальные измерительные средства для конкретных условий;
* рассчитывать погрешности средств измерений и обрабатывать результаты измерений;
* проводить настройку и эксплуатацию измерительных средств и оформлять техническую документацию;
* использовать научно-техническую и справочную литературу по метрологии и электрическим измерениям.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Панфилов В.А. Электрические измерения.—М.: Издательский центр «Академия», 2006.—288с
2. Метрология и электрические измерения: Учеб. пособие / Е.Д. Шабалдин, Г.К. Смолин, В.И. Уткин, А.П. Зарубин; Под ред. Е.Д. Шабалдина. Екатеринбург: Изд-во ГОУ ВПО «Рос. гос. проф.- пед. ун-т», 2006. 282 с.
3. Гуржий А.Н. Электрические и радиотехнические измерения: Учеб. пособие для нач.

проф. образования.—М.: Издательский центр «Академия», 2004.—272с.

Таблица 1. Распределение контрольных вопросов и заданий по учебному предмету «Электрические измерения»

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Предпоследняя цифра шифра |  | Последняя цифра шифра | | | | | | | | |
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 | 6,11,37 43,54 | 9,14,31 50,54 | 6,10,25 43,53 | 1,6,23 32,54 | 11,16,33 42,54 | 1,20,32, 40,52 | 1,16,31 38,52 | 2,15,21 35,53 | 2,14,38 46,53 | 2,19,28 33,54 |
| 1 | 2,10,36 44,51 | 2,10,32 51,54 | 7,11,26 44,53 | 2,7,24 33,52 | 12,17,34 43,54 | 2,19,31, 39,52 | 1,14,36, 40,53 | 2,17,30, 37,52 | 1,11,39 47,53 | 1,18,29 34,54 |
| 2 | 7,13,35 45,54 | 3,11,33 40,54 | 8,12,27 45,53 | 3,8,25 34,52 | 13,18,35 44,54 | 3,18,30, 38,52 | 3,20,37, 41,53 | 3,18,29, 36,52 | 10,32,34 48,53 | 19,30,35 43,54 |
| 3 | 6,20,36 46,54 | 4,12,34 41,54 | 9,13,28 30,53 | 4,9,26 35,52 | 14,19,36 45,54 | 4,17,29, 37,52 | 4,19,28, 35,52 | 8,21,33 49,53 | 2,17,38, 42,53 | 20,44,31 36,54 |
| 4 | 5,19,37 47,54 | 6,13,35 42,54 | 10,14,29 31,53 | 5,10,27 36,52 | 15,20,37 46,54 | 5,16,28, 36,52 | 5,20,27, 34,52 | 19,21,39 40,53 | 18,32,37 45,54 | 9,22,34 50,53 |
| 5 | 7,13,38 42,54 | 8,15,49 30,54 | 5,9,24 42,52 | 6,19,22 31,54 | 10,15,32 41,54 | 6,15,27 35,52 | 7,15,32, 39,52 | 4,16,20, 34,53 | 3,12,37 45,53 | 3,20,27 29,54 |
| 6 | 4,12,39 40,54 | 1,16,29 48,54 | 4,8,23 41,52 | 5,18,21 36,54 | 9,14,31 40,53 | 7,14,26, 34,52 | 6,14,34, 51,52 | 3,17,23, 33,53 | 4,13,36 44,53 | 4,26,38 42,54 |
| 7 | 3,14,32 41,54 | 2,17,30 49,54 | 3,7,22 40,52 | 4,17,32 35,54 | 8,13,30 39,53 | 8,13,25, 33,52 | 5,13,35, 40,52 | 5,18,24, 31,53 | 5,15,35 43,53 | 5,25,41 37,54 |
| 8 | 2,15,33 42,54 | 3,19,31 51,54 | 2,6,21 39,52 | 12,16,31 34,53 | 7,12,29 38,53 | 9,12,24, 39,52 | 3,12,21, 36,52 | 6,19,25, 32,53 | 6,16,34 42,53 | 6,24,36 40,54 |
| 9 | 1,17,34 43,54 | 4,20,32 50,54 | 1,5,20 38,52 | 11,15,30 32,53 | 6,11,28 37,53 | 1,10,23, 38,52 | 2,11,22, 37,52 | 7,20,26, 33,52 | 7,18,33 41,53 | 7,23,35 51,53 |

# Раздел 1. Основы метрологии

*Литература*

Л1 стр. 14-52, Л2 стр. 25-72, Л3 стр. 5-46

## Методические указания

При изучении темы обратите внимание на то, что конструкции мер и электроизмерительных приборов помимо общих технических показателей (простота, надёжность конструкции, габариты, масса, стоимость, удобство обслуживания, долговечность) должны удовлетворять и качественным показателям (точность, стабильность, влияние внешних условий, чувствительность, собственное потребление, перегрузочная способность).

Каким бы совершенным не был прибор, его показания всегда будут отличаться от действительного значения измеряемой величины. Отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины вследствие воздействия различных факторов характеризует погрешность измерений.

Разность между показаниями прибора Хпр и действительным значением измеряемой величины Хд называют абсолютной погрешностью прибора ΔХ:

ΔХ = Хпр – Хд

Отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины, выраженное в процентах, представляет собой относительную погрешность:

ΔХ

δХ= ––––– ∙ 100%

Хд

Оценивать точность электроизмерительного прибора, работающего по методу непосредственной оценки, абсолютной или относительной погрешностью не представляется возможным, так как она оценивает точность прибора только в одной точке шкалы. Поэтому, чтобы охарактеризовать точность прибора по всей шкале, пользуются приведённой погрешностью γпр , Под которой понимают отношение абсолютной погрешности к предельному значению шкалы прибора Хп , выраженное в процентах:

ΔХ

γ = ––––– ∙ 100%

ХП

Основная приведённая погрешность прибора определяет его класс точности. Все приборы непосредственной оценки (кроме счётчиков электрической энергии) имеют восемь классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Все приборы конструируются так, чтобы включение их в цепь не влияло на режим работы электрической цепи. Поэтому те обмотки приборов, которые включаются в цепь последовательно (амперметров, токовые обмотки ваттметров, счётчиков электрической энергии, фазометров) имеют малые сопротивления.

Обмотки приборов, которые включаются в цепь параллельно (вольтметров, обмотки напряжения ваттметров, счётчиков электрической энергии, фазометров) имеют большие сопротивления.

По рекомендованной литературе изучить и законспектировать программный материал, разобрать решённые примеры. Ответить на вопросы для самоконтроля.

## Вопросы для самоконтроля

1. Какие основные и производные единицы электрических и магнитных величин в системе СИ?
2. Дайте определение измерения?
3. Что называется измерительным прибором и что называется электроизмерительным прибором?
4. Что такое мера и измерительный прибор? Как они подразделяются по назначению?
5. Какие приборы называют показывающими, а какие приборами сравнения?

6.От каких факторов зависит точность приборов?

7. Какие существуют погрешности в электроизмерительных приборах и как они вычисляются? Как определяется класс точности приборов?

**Раздел 2. Электромеханические измерительные приборы**

*Литература*

Л1 стр. 74-93, Л2 стр. 83-140

## Методические указания

При изучении электроизмерительных приборов обратите внимание на то, что несмотря на небольшое их разнообразие, все они имеют много одинаковых по устройству и назначению узлов и деталей.

К изучению принципа работы электроизмерительных приборов следует приступить после чёткого усвоения основных законов и правил электротехники, применяемых в теории электрических измерений, а именно: закона электромагнитной индукции, правила буравчика, правила правой и левой руки, основных свойств магнитного поля и других. При изучении различных систем необходимо знать следующее:

1. Устройство приборов и назначение каждой детали.
2. Область применения каждой системы.
3. Достоинства и недостатки каждой системы.
4. За счёт каких факторов осуществляется успокоение колебаний подвижной части каждой системы приборов?
5. За счёт чего образуется вращающий момент? Формулы определения вращающих моментов каждой системы.
6. За счёт чего создаётся противодействующий момент подвижной части прибора?

Необходимо помнить, что для точных измерений больших и малых сопротивлений, ёмкостей, индуктивности, ЭДС, напряжений, токов применяют специальные приборы сравнения, мосты и потенциометры. Учащимся необходимо ознакомиться с устройством регистрирующих приборов.

## Вопросы для самоконтроля

1. Какие законы электротехники используются в работе электроизмерительных приборов и как они формулируются?
2. Каковы области применения, устройство, принцип работы, преимущества и недостатки приборов магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической и ферродинамической, индукционной, электростатической систем?
3. Что такое логометры? Как они работают и в каких приборах применяются?
4. Для чего служит гальванометр? Его устройство и назначение.
5. Как осуществляется успокоение подвижной части в магнитоэлектрических механизмах?
6. Почему в приборах электродинамической системы каркас катушки нельзя использовать в качестве успокоителя?
7. Почему с гальванометром удобно работать тогда, когда он замкнут на сопротивление, близкое к критическому?
8. Для чего применяются измерительные мостовые схемы и как осуществляется уравновешивание мостовой схемы?
9. Что называется чувствительностью моста к току его измерительной диагонали; от чего она зависит?

**Раздел 3. Электронные и цифровые приборы**

*Литература*

Л1 стр. 94-188, Л2 стр. 184-210

## Методические указания

Одним из направлений совершенствования измерительной техники является разработка приборов с использованием достижения электротехники. Электронные приборы по сравнению с электромеханическими обладают значительным быстродействием, большим диапазоном измерений и высокой точностью. Обратите внимание на использование электронных приборов в различных областях сельскохозяйственного производства. При изучении устройства электронного вольтметра надо помнить, что он представляет собой прибор с электромеханическим измерительным механизмом и схемой выполненной на электронных приборах. Важно разобраться в принципе составления структурных и принципиальных схем электронных и цифровых приборов.

Обратите внимание на их преимущества и недостатки, принцип действия, конструкцию, область применения.

## Вопросы для самоконтроля

1. Почему электронные измерительные приборы получили название аналоговых?
2. На сколько групп можно разделить аналоговые электронные приборы и что собой представляет каждая группа?
3. Назначение, устройство и принцип работы электронного вольтметра.
4. Какова структурная схема вольтметра переменного напряжения среднего или действующего значения?
5. Назначение, устройство, принцип работы и структурная схема электронного осциллографа.
6. Назначение, устройство, работа и схемы электронных омметров.
7. Каковы общие свойства цифровых измерительных приборов и их обобщенная структурная схема?
8. Назначение, устройство и работа цифровых вольтметров постоянного тока.

# Раздел 4. Измерение электрических и магнитных величин

*Литература*

Л1 стр. 53-73, Л2 стр. 141-183, Л3 стр. 47-183

## Методические указания

В практике электрических измерений часто встречается необходимость измерить ток или напряжение, значения которых превосходят номинальные величины измерительных приборов. Необходимо знать, что для расширения пределов измерения по току в цепях постоянного тока используются шунты, а в цепях переменного тока – трансформаторы тока. Расширение пределов измерения по напряжению в цепях постоянного тока осуществляется при помощи добавочных сопротивлений, а в цепях переменного тока – при помощи добавочных сопротивлений и трансформаторов напряжения.

Запомните, что расширение пределов измерения при помощи шунтов практически возможно лишь в цепях постоянного тока, потому что при переменном токе распределение тока зависит от частоты и от частоты зависит индуктивное сопротивление прибора и шунта.

Идея шунтирования электроизмерительных приборов основана на использовании свойства параллельного соединения резистора, а идея расширения пределов измерения приборов по напряжению – на использовании свойства последовательного соединения резисторов.

Для уменьшения температурной погрешности шунты и добавочные сопротивления изготавливаются из сплава с большим удельным сопротивлением – манганина, так как его сопротивление мало зависит от температуры.

Следует научиться производить расчет и выбор шунтов и добавочных сопротивлений. Возможность шунтирующих и добавочных резисторов для расширения пределов измерения приборов ограничена.

Увеличение напряжения, особенно в целях переменного тока, связано с увеличением габаритов шунтов и добавочных сопротивлений и нестабильностью их сопротивлений.

Поэтому в цепях переменного тока возможности приборов расширяют при помощи измерительных трансформаторов.

Использование измерительных трансформаторов основано на преобразовании по величине тока, текущего в его первичной обмотке, или напряжения, приложенного к ней.

Необходимо научится производить выбор измерительных трансформаторов и определить искомые величины по показаниям приборов и коэффициентам трансформации.

Уделите внимание составлению принципиальных схем с использованием измерительных трансформаторов, особенно в трёхфазных цепях при измерении мощности и энергии.

Уясните, как определяется максимальное количество приборов, которые могут быть подключены к одному измерительному трансформатору, почему вторичную обмотку трансформатора тока нельзя оставлять разомкнутой, какие при этом могут быть последствия.

Разберитесь, в каком режиме должен работать трансформатор напряжения и в каком режиме он фактически работает, а также, почему трансформатор тока должен работать в режиме короткого замыкания и в каком режиме он работает фактически. Изучите схемы включения и конструкции трансформаторов тока и напряжения.

Сначала ознакомьтесь с измерениями тока и напряжения. При этом важно понять принципы, на которых основаны эти измерения. Измеряемый ток пропускается через измерительный механизм и по величине воздействия судят о величине измеряемого тока. Отсюда следует, что амперметр нужно включать в цепь последовательно с участком цепи, в котором измеряется ток. Измерение напряжение основано на оценке величины тока в цепи с известным сопротивлением, к которому подведено искомое напряжение. Значение напряжения определяется как произведение тока на величину известного сопротивления. Для облегчения измерения шкала измерительного механизма градуируется в единицах измерения напряжения.

Следовательно, один и тот же механизм можно использовать как для измерения тока, так и для измерения напряжения, создавать комбинированные приборы.

Из курса ТОЭ известно, что напряжение есть разность потенциалов между двумя точками электрической цепи, и оно измеряется вольтметром. На основании этого вольтметр включается в цепь параллельно участку, напряжение на зажимах которого мы желаем измерить. Так как прибор, включаемый в исследуемую электрическую цепь, должен по возможности меньше изменять её параметры, то желательно, чтобы амперметр имел внутреннее сопротивление, равное нулю, а вольтметр – бесконечности.

Тогда амперметр, включённый в цепь для измерения тока, не изменит сопротивление цепи и в его обмотке не произойдёт падения напряжения.

Вольтметр, подключённый для измерения напряжения, не изменит проводимость цепи и не будет потреблять ток.

Практически осуществить эти условия невозможно, и поэтому лучшим считается тот амперметр, который имеет наименьшее внутреннее сопротивление (значит, и наименьшее собственное потребление ) и тот вольтметр, у которого внутреннее сопротивление больше.

Практически сопротивление амперметра и токовых обмоток других приборов составляет десятые и сотые доли Ома, а сопротивление вольтметра и обмоток напряжений других приборов – десятки тысяч Ом.

Надо так же учитывать, что даже такие простые электроизмерительные приборы, как амперметр и вольтметр, могут быть включены неправильно, что нередко приводит к нежелательным последствиям.

Из курса «Теоретические основы электротехники» известно, что мощность в цепи постоянного тока зависит от величины напряжения и тока.

Поэтому прибор для измерения мощности (ваттметр) должен в своём устройстве иметь два чувствительных элемента, один из которых должен реагировать на изменение напряжения, другой – на изменение тока, а результат передавать на указатель прибора.

Из темы 2.2 нам известно, что два чувствительных элемента имеют приборы электродинамической, ферродинамической и индукционной систем. Обратите внимание на обозначение генераторных зажимов обмоток ваттметров, как это учитывается при включении приборов.

Надо также запомнить, что для изменения направления движения подвижной части прибора достаточно изменить направление тока в одной из обмоток прибора.

В цепях переменного тока мощность зависит ещё от величины угла сдвига фаз между током нагрузки и напряжением на её зажимах.

Казалось бы, нужен механизм с тремя чувствительными элементами, но роль третьего элемента в механизмах электродинамической, ферродинамической и индукционной систем, когда они работают в цепях переменного тока, играет зависимость вращающего момента от величины угла сдвига по фазе между магнитными потоками обмоток α. В конструкции прибора остаётся лишь обеспечить зависимость этого угла от угла сдвига фаз между током нагрузки и напряжением на ней φ. Тогда с изменением угла α на столько же изменится и угол φ, отчего в необходимой степени изменится и вращающий момент. Таким образом, вращающий момент, действующий на подвижную систему, оказывается зависящим не только от тока и напряжения, но и от сдвига фаз между ними φ.

При измерении мощности главное внимание обратите на схемы включения ваттметров при измерении как активной, так и реактивной мощности с нормальными и расширенными пределами измерения в однофазных и трёхфазных трёх – и четырёх проводных цепях при симметричных и несимметричных нагрузках.

Особенно хорошо надо усвоить схему Арона и доказательство к ней, использование её для вычисления величины реактивной мощности и угла сдвига фаз в нагрузке, а также её применимость.

При этом имейте в виду, что схема Арона предназначена для измерения активной мощности, а для измерения реактивной мощности с помощью двух ваттметров используется схема с искусственной нулевой точкой.

При изучении вопроса « Учёт электрической энергии» обратите внимание на особенности счётчика электрической энергии, отличающие его от других электроизмерительных приборов. Электрическая схема счётчика не отличается от электрической схемы ваттметра. Из Курса «Теоретические основы электротехники» известно, что энергия – это мощность за единицу времени.

Поскольку счётчик должен реагировать на всякие изменения мощности, то его электрическая часть должна быть подобна ваттметру. Но показания счётчика должны всё время увеличиваться, для этого счётчик имеет в своём устройстве счётный механизм.

Поэтому счётчик называется суммирующим или интегрирующим прибором. Обратите внимание на обозначение зажимов обмоток счётчиков. Генераторные зажимы таковых обмоток счётчиков обозначаются буквой Г, а зажимы, к которым подключается нагрузка – буквой Н.

Зажимы обмоток напряжения счётчиков, предназначены для включения в трёхфазные трёх- или четырёхпроводные цепи, обозначаются цифрами 1,2,3,…,0. Запомните типы счётчиков и обозначение букв и цифр: СА-3; СА-4; СА-4У; СР-3; СР-4; СР-4У,

где С- счётчик электрической энергии, А- для учёта активной энергии, Р- для учё-

та реактивной энергии, 3- для трёхфазной трёхпроводной цепи, 4- для трёхфазной четырёхпроводной цепи, У- универсальный, предназначен для работы с измерительными трансформаторами тока и напряжения с любыми коэффициентами трансформации.

Обратите особое внимание на схемы включения ваттметров и счётчиков. Потренируйтесь для составления схем для измерения мощностей и энергии. В результате изучения однофазного счётчика индукционной системы надо знать его устройство, принцип работы, преимущества, недостатки и регулировку дополнительных механизмов, уяснить основные правила установки счётчиков.

Коэффициент мощности имеет большое технико-экономическое значение для энергетики страны. Обратите внимание на определение средневзвешаного коэффициента мощности электроустановки, который вычисляется для некоторого периода времени по показаниям счётчиков активной и реактивной энергии.

Эта величина более полно характеризует работу электроустановки в реальных условиях при изменении нагрузки, чем показания фазометра в данное мгновение времени. Средневзвешенный коэффициент мощности определяется по формуле

Wа

cos φ ср. вз. = –––––––––

√ Wа2 + Wр2

где Wа – активная энергия, учтённая счётчиком активной энергии; Wр – реактивная энергия, учтённая счётчиком реактивной энергии.

Ознакомьтесь с устройством, назначением, принципом работы фазометров и частотомеров. Изучите основные правила техники безопасности при измерении электрических величин.

Из курса «Теоретические основы электротехники» известно, что магнитное поле обладает тремя основными свойствами:

1. Способно намагничивать ферромагнитные материалы; 2. Способно индуктировать электродвижущую силу;

3. Обладает силовым действием.

Эти свойства нашли самое широкое применение в электрических генераторах, электроизмерительных приборах, трансформаторах, электрических двигателях и других устройствах. Поскольку основными характеристиками магнитного поля являются магнитная индукция, магнитный поток и напряжённость магнитного поля, то в этой мере рассматриваются вопросы, связанные с измерением этих величин.

Основной характеристикой ферромагнитного материала является кривая намагничивания, поэтому нужно знать, как её получают практически.

Особое внимание обратите на насыщение ферромагнитного материала и на способы измерения потерь в стали машин постоянного и переменного тока.

По рекомендованной литературе изучите программный материал. Разберите решённые примеры. Ответьте на вопросы для самоконтроля.

## Вопросы для самоконтроля

1. Как выбрать шунт и добавочное сопротивление для расширения пределов измерения прибора магнитоэлектрической системы?
2. Начертите возможные схемы многопредельных амперметра и амперметра. Каково назначение и использование калиброванных шунтов?
3. Каковы назначения, особенности устройства, режимы работы, основные характеристики измерительных трансформаторов?
4. Что такое номинальная и максимальная мощность трансформаторов напряжения?
5. Что такое номинальное сопротивление нагрузки трансформатора тока?
6. Перечислите классы точности и коэффициенты трансформации трансформаторов напряжения и трансформаторов тока.
7. Как однофазным ваттметром измерить реактивную мощность в трёхфазной цепи? В каких случаях это применимо?
8. Чем отличается счётчик электрической энергии от других электроизмерительных приборов?

**5. Измерение неэлектрических величин**

*Литература*

Л1 стр. 222-268, Л2 стр. 235-261, Л3 стр. 252-259

## Методические указания

Рассматривая вопросы измерения какой-либо неэлектрической величины, предусмотренные программой курса, необходимо её измерение превратить в измерение какой-либо электрической величины (тока, напряжения) и измерять эту электрическую величину.

Кроме того, необходимо знать, какой из преобразователей может быть использован в каждом конкретном случае. Преобразователь – это устройство, предназначенное для преобразования неэлектрических величин в электрические.

При изучении этой темы обратите внимание на то, что все датчики по принципу действия подразделяют на параметрические и генераторные. Параметрические датчики под воздействием измеряемой неэлектрической величины изменяют один или несколько электрических параметров (сопротивление, индуктивность, ёмкость). Они работают при наличии источника вспомогательной электрической энергии. В генераторном датчике под влиянием измеряемой неэлектрической величины возникает ЭДС или ток, которые и изменяются соответствующим измерительным прибором. Например, под влиянием давления в пьезометрическом датчике возникает ЭДС, величина которой пропорциональна величине давления, поэтому по величине ЭДС можно судить о величине давления.

При изучении датчиков рекомендуется изобразить принципиальную и функциональную схемы измерения. Уясните, что является входной и выходной величинами для рассматриваемой схемы измерения. Какие вспомогательные элементы и устройства при этом используются.

Важность изучаемых в этой теме вопросов состоит в том, что преобразователи широко используются в сельскохозяйственном производстве во многих автоматических системах.

## Вопросы для самоконтроля

1. Из каких основных узлов состоят приборы для измерения неэлектрических величин?
2. Какие преобразователи относятся к параметрическим и генераторным и почему?
3. Изобразите схемы резисторного и потенциометрического датчиков.
4. Изобразите схему электрического термометра для измерения температура внутри бурта, вороха зерна.
5. Какие неэлектрические параметры можно измерять при использовании индукционных, ёмкостных, резисторных, проволочных и пьезометрических преобразователей?
6. Изобразите схему электрического измерения уровня жидкости.
7. Принцип действия и устройство датчика с термосопротивлением.
8. С помощью каких преобразователей можно произвести измерение температур?

**6. Измерительные информационные системы**

*Литература*

Л2 стр. 215-234

## Методические указания

Обратите внимание на то, что ранее рассмотренные средства электрических измерений не допускали значительного удаления от измеряемого объекта вследствие больших влияний внешних факторов на линию связи.

Поэтому удаление измерительных средств от исследуемого объекта обычно не превышает сотен метров.

В практике возникает необходимость осуществлять измерения или контроль на объектах, находящихся на значительном расстоянии от места нахождения оператора. Такая необходимость встречается, например, при передаче измерительной информации со спутников Земли, космических летательных аппаратов.

В энергетических системах наблюдение за режимом работы электрических станций производится с диспетчерского пункта, находящегося иногда на больших расстояниях.

При изучении программного материала обратите особое внимание на принцип построения телеизмерительных систем.

# Контрольные задания

1. Определить класс точности амперметра с пределом измерения 10 А, если точкам шкалы 2,4,6,8,10 А соответствуют токи: 2,041; 3,973; 6,015; 8,026; 9,976 А.
2. При измерении напряжения потребителя, включенного в электрическую цепь, вольтметр показал 13,5 В. Найти абсолютную и относительную погрешности измерения, если сопротивление потребителя 7 Ом, ЭДС источника электрической энергии 14,2 В, его внутреннее сопротивление 0,1 Ом.
3. Определить показание электродинамического и электромагнитного амперметров, включенных последовательно в RС – цепь, если напряжение на входе цепи изменяется по закону U (t) = 100+200 sin ωt В. Параметры цепи R = 10 Ом, XC = 10 Ом.
4. Определить показание электродинамического и электромагнитного амперметров, включенных последовательно в цепь катушки с параметрами R = 10 Ом, XL = 10 Ом, если напряжение на входе изменяется по закону U (t) = 25+50 sin ωt В.
5. Миллиамперметр рассчитан на ток 200 мА и имеет чувствительность 0,5 дел/мА. Чему равны число делений шкалы, цена деления и измеренный ток, если указатель миллиампера отклонился на 30 делений.
6. При поверке электроизмерительных приборов установлено, что основные приведенные погрешности их были равны 0,45; 1,2; и 1,8%. Какой класс точности имеет каждый из приборов? Чему может быть равна их наибольшая абсолютная погрешность при пределе измерения 100 В.
7. Пояснить, как в электроизмерительных приборах обеспечивается: а) защита от внешних электромагнитных полей; б) быстрое успокоение указателя при изменении измеряемой величины.
8. Измерительный механизм магнитоэлектрической системы на 100мВ с внутренним сопротивлением при температуре 25˚ С – 2,3 Ом решили использовать для измерения напряжения до 200 В. Определите относительную систематическую погрешность измерения, если вместо манганина добавочное сопротивление изготовить из меди и при условии, что прибор будет работать в помещении с температурой 40˚ С. 9. Какое напряжение покажет вольтметр, присоединенный к зажимам источника, ЭДС которого 25 В, а внутренняя сопротивление 40 Ом, если сопротивление вольтметра 1460 Ом. Определите показание вольтметра, имеющего сопротивление 4460 Ом. Сравните результаты расчетов и сделайте вывод о точности измерения ЭДС в обоих случаях.
9. Перечислите общие детали электроизмерительных приборов, дайте краткую характеристику каждой из них и укажите их назначение.
10. Шунт для увеличения пределов измерения амперметра с 1 до 100 А выполнен из четырёх включаемых параллельно манганиновых пластин сечением 1х 3 мм. Рассчитать необходимую длину пластин, если внутреннее сопротивление амперметра в номинальных условиях равно 0,1 Ом. Составить схему многопредельного амперметра.
11. Вольтметр класса точности 1,0 с пределом измерения 300 В, имеющий максимальное число делений 150, проверен на отметках 30, 60, 100, 120 и 150 делений, при этом абсолютная погрешность в этих точках составила 1,8; 0,7; 2,5; 1,2; и 0,8 В. Определить, соответствует ли прибор указанному классу точности и относительные погрешности на каждой отметке.
12. Необходимо измерить напряжение в пределах 30 – 40 В. Какой из вольтметров позволяет произвести измерение с большей точностью: а) с верхним пределом 50 В и классом точности 2,5; б) с верхним пределом 100 В и классом точности 1,5; в) с верхним пределом 300 В и классом точности 0,5; г) с верхним пределом 150 В и классом точности 1.
13. К электростатическому вольтметру, внутренняя емкость которого 200 пФ, последовательно подсоединен конденсатор ёмкостью 40 пФ. Какое максимальное напряжение можно измерить вольтметром теперь, если шкала его имеет 100 делений, а цена одного деления 0,5 В/дел.
14. Вольтметром с внутренним сопротивлением R, требуется измерить напряжение в 10, 100 и 1000 раз больше его номинального значении. Найти соотношение между внутренним сопротивлением вольтметра и сопротивлениями добавочных резисторов, подобранных для выполнения указанных условий.
15. Амперметр, сопротивлением которого RA = 0,3 Ом, имеет на шкале 150 делений и постоянная прибора CA = 0,001 А/дел. Определите сопротивление шунта, при помощи которого можно было бы измерять ток по 300 А. Начертить схему включения. 17. Амперметр, градуированный на номинальный ток 150 А и имеющий сопротивление R=10 Ом, снабжен шунтом, сопротивление которого 0,0005 Ом. Какой ток в измерительной катушке при полном отклонении стрелки прибора? Чему равен шунтирующий множитель?
16. Определите величину добавочной ёмкости, если предел измерения вольтметра на 1 кВ необходимо расширить до 18 кВ, а ёмкость вольтметра составляет 460 пФ. Расширение предела измерения электростатического вольтметра производится путём последовательного подключения добавочной ёмкости.
17. В качестве измерительного прибора универсального тестера используется микроамперметр с пределом измерения 50мкА и внутренним сопротивлением 500 Ом.

Рассчитать:

а) шунты для четырёх пределов измерения тока 1мА, 100мА и 1А,10А;

б) добавочные резисторы для четырёх пределов измерения напряжения 100мВ, 3, 30 и 150В.

1. Для измерения силы тока и напряжения в цепи постоянного тока использовали один и тот же прибор с постоянной прибора С = 0,06 А/дел, внутренним сопротивлением r = 0,01 Ом, числом делений шкалы 50 и классом точности 1,0. Определить: а) сопротивление шунта RШ, с помощью которого можно измерить этим прибором силу тока I= 12 А; б) величину добавочного сопротивления Rдоб , с помощью которого можно измерить напряжения U = 30 В; в) чувствительность прибора и наибольшую абсолютную погрешность при нормальных условиях работы. Приведите схему прибора.
2. Для измерения мощности ваттметр включен через трансформаторы тока 150

/5 и напряжения 6000/100. Вычертить схему включения. Класс точности ваттметра 1,5. Найти мощность потребителя, если показание ваттметра равно 280 Вт. Чему равна наибольшая возможная абсолютная погрешность измерения?

1. В однофазной цепи переменного тока через трансформатор тока 300/5 и трансформатор напряжения 10000/100 включены амперметр, вольтметр и ваттметр. Начертить схему измерения и определить ток, напряжение и мощность потребителя, если показания приборов 2 А, 80 В и 250 Вт.
2. Какое количество амперметров электродинамической системы можно подключить к трансформатору тока 100/5 с номинальной мощностью 5 В·А, если для соединения применяется провод ПР сечением 2,5 мм2 , а расстояние от трансформатора до приборов 30м ? Привести схему включения приборов в цепь измерения. Мощность потерь амперметра электродинамической системы от 6 до 10 Вт при токе 5 А.
3. Определите длину контрольного кабеля с медными жилами сечением 2,5 мм2 от трансформатора тока с номинальным сопротивлением 0,5 Ом к приборам: амперметру электромагнитной системы и электродинамическому ваттметру (сопротивление их катушек по 0,12 Ом). Приведите схему соединения трансформатора тока с приборами.
4. Активная мощность трёхфазной симметрической нагрузки, включенной по схеме «звезда», измеряется по методу двух ваттметров. Действующее значение линейного напряжения UЛ  = 220 В. Полное сопротивления каждой фазы ZФ = 120 Ом. Определить показания второго ваттметра при нулевом показании первого. Начертить схему включения.
5. В трёхфазной четырёхпроводной цепи с действующим значением линейного напряжения UЛ  = 220 В и коэффициентом мощности нагрузки в каждой фазе 0,7, показание ваттметров в фазе А, В и С равны 210, 320 и 375 Вт. Определить полную, активную и реактивную мощности, потребляемые нагрузкой, а также полное, активное и реактивное сопротивления нагрузки в каждой фазе. Начертить схему включения приборов.
6. Через трансформатор тока 50/5 и трансформатор напряжения 3000/100 в однофазную цепь переменного тока включён ваттметр электродинамической системы с пределами измерения IH = 5 А и UH = 150 В. Определить активную мощность цепи и наибольшую относительную погрешность измерения, если ваттметр показал 125 делений. Класс точности прибора 0,5, максимальное число делений 150 (классом точности измерительных трансформаторов пренебречь).
7. В трёхфазную трёхпроводную цепь включён симметричный трёхфазный потребитель по схеме «звезда» с фазным сопротивлением ZФ =(6+ j2) Ом, линейное напряжение 380 В. Определить показания двух ваттметров, которые включены для измерения мощности, найти сдвиг фаз между токами и напряжениями их измерительных цепей. Рассчитать активную, реактивную мощности. Начертить схему включения измерительных приборов.
8. Вторичная обмотка трансформатора тока ТКЛ-3 рассчитана на включение амперметра с пределом измерения 5 А. Класс точности приборов 0,5. Определить номинальный ток в первичной цепи и в амперметре, погрешности измерения приборов, если коэффициент трансформации KH  = 60, а ток первичной цепи I1 = 225 А. Начертить схему включения.
9. Амперметр, вольтметр и ваттметр подключены к нагрузке через трансформаторы тока 150/5 А и напряжения 1000/100 В. Показания приборов при этом были следующие

I =2,4 А, U = 78 В и Р = 165 Вт. Определить ток, напряжение и мощность нагрузки (активную, реактивную и полную), .

1. Для измерения активной мощности трёхпроводной трёхфазной цепи включены два ваттметра, показания которых 2920 Вт и 730 Вт. Амперметр и вольтметр измеряют соответственно фазный ток и линейное напряжение. Показание амперметра 8 А. Потребители включены звездой, нагрузка равномерная. Начертить схему включения всех приборов. Определите активную, реактивную и кажущуюся мощность, коэффициент мощности и линейное напряжение.
2. Для измерения активной мощности трёхфазной симметричной цепи, равной 10 кВт, с фазным напряжением 220 В и  = 0,85 применены два одинаковых ваттметра электродинамической системы со шкалами на 100 делений. Подберите ваттметры по току и напряжению, определите показание каждого ваттметра, составьте схему измерения.
3. Определить номинальную Сном  и действительную Сд постоянные счетчика электрической энергии, его относительную погрешность и поправочный коэффициент, если паспортные данные счетчика: 220 В, 5 А, 50 Гц, 1 кВт•ч =1280 оборотов диска.

Счетчик проверен при напряжении 220 В и токе 5 А и сделал 150 оборотов за 6 минут.

Начертите схему включения приборов.

1. Счетчик электрической энергии, включенный в цепь переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц, сделал 11600 оборотов за 15 ч. Определить ток нагрузки при условии, что нагрузка постоянна, а СН = 4800 Вт•с/об.
2. Мощность электрического устройства составляет 2 кВт. Какое время работал счётчик, если он сделал 40 оборотов, а постоянная счётчика 1400 Вт•с/об. Какая энергия учитывается счётчиком за 20 оборотов.
3. Диск счётчика делает 188 оборотов в течение 10 минут. Нагрузкой являются три параллельно включенных лампы равной мощности. Вычислить мощность каждой лампы, если согласно маркировке 250 оборотам диска соответствуют 1 кВт•ч.
4. Какими причинами может быть вызван самоход индукционного счётчика электрической энергии, т.е. вращение диска при отсутствии тока в измерительной цепи? Каким образом можно устранить это явление?
5. Для проверки однофазного счётчика в цепь включили приборы: амперметр, вольтметр, ваттметр, счётчик электрической энергии. Начертить схему цепи, определить номинальную постоянную СН, действительную постоянную счётчика СД , абсолютную погрешность счётчика ΔС, относительную погрешность счётчика, класс точности счётчика, если показание амперметра 3,5 А, показание вольтметра 230 В, за время 2 мин. диск счётчика сделал 35 оборотов, в паспортных данных указано, что 1 кВт•ч соответствует 1220 оборотов диска.
6. Как устроен измерительный механизм приборов индукционной системы? Перечислите основные и дополнительные механизмы однофазного индукционного счётчика, их назначение.
7. При измерении сопротивления его подключили к источнику напряжения последовательно с вольтметром, имеющим сопротивление 3000 Ом. При этом вольтметр показал 50 В. При подключении этого вольтметра непосредственно к источнику, он показал 60 В. Определите величину измеряемого сопротивления. Начертите схему.
8. Вычислите сопротивление потребителя методом амперметра и вольтметра, если показание амперметра 4 А, вольтметра 220 В, сопротивление вольтметра 4000 Ом. Задачу решить для двух случаев:

а) не учитывая тока, проходящего по вольтметру;

б) с учетом его.

Начертить схему включения приборов.

1. Для измерения сопротивления обмотки электрической машины с помощью амперметра и вольтметра были использованы амперметр, показывающий 1,1 А, и милливольтметр, показывающий 33 мВ. Начертите схему измерения и определите абсолютную и относительную погрешности, допущенные при определении искомого сопротивления без учёта сопротивления миллиамперметра, равного 10 0м. Погрешности приборов во внимание не принимать.
2. Сопротивление изоляции двухпроводной линии, работающей под напряжением 220 В, измерялось вольтметром магнитоэлектрической системы с внутренним сопротивлением 5 кОм. Напряжение между проводами и землёй оказалось 45 В и 70 В. Выведите формулы, по которым находятся значения величин сопротивлений изоляции относительно земли, определите эти величины и оцените качество изоляции.
3. Приведите схемы и объясните методы измерения сопротивления изоляции электроустановок, находящихся под напряжением.
4. Выведите условия равновесия моста переменного тока, укажите влияние частоты при уравновешивании моста и его сходимость.
5. Укажите применение электронного осциллографа. Вычертите структурную схему электронного осциллографа и поясните назначения отдельных блоков.
6. Вычертите структурную схему электронного вольтметра постоянного тока, поясните назначение отдельных элементов, применение электронных измерительных приборов.
7. Вычертите структурную схему электронного вольтметра постоянного напряжения среднего и действующего значений, поясните назначения отдельных элементов схемы, применение электронных измерительных приборов.
8. Вычертите структурную схему цифрового измерительного вольтметра на основе метода уравновешивающего преобразования. Поясните основной принцип работы цифровых приборов.
9. Начертить эскизы устройства нескольких индуктивных и ёмкостных преобразователей. Опишите их работу и укажите назначение.
10. Начертить эскизы устройства одного из термосопротивлений. Укажите на схеме расположение элементов устройства. Начертите схему измерения температуры с применением описанного термосопротивления и опишите её работу.
11. Составьте схему трёхфазной четырёхпроводной электрической цепи для измерения фазного тока, фазного напряжения, активной мощности фазы, учёта энергии фазы, трёхфазной активной и реактивной мощности, трёхфазной активной и реактивной энергии с расширёнными по току пределами измерения. Дополнительные данные для своего варианта возьмите из таблицы 2. Укажите типы включенных в схему приборов и их системы.
12. Составьте схему трёхфазной трёхпроводной электрической цепи для измерения фазного тока, фазного напряжения, активной фазы мощности, учёта энергии фазы, трёхфазной активной и реактивной мощности, трёхфазной активной и реактивной энергии с расширёнными по току пределами измерения. Потребители соединены звездой. Дополнительные данные для своего варианта возьмите из таблицы 2. Укажите типы включенных в схему приборов и их системы.
13. Составьте схему трёхфазной четырёхпроводной электрической цепи для измерения фазного тока, фазного напряжения, тока в нулевом проводе, активной мощности фазы, учёта энергии фазы, активной и реактивной мощности; трёхфазной активной и реактивной энергии с нормальными пределами измерения. Дополнительные данные для своего варианта возьмите из таблицы 2. Укажите типы включенных в схему приборов и их системы.

**Примечания:** В графах 2,3,4 - вольтметр А, В, С для четырехпроводной электрической цепи; АВ, ВС, СА для трехпроводной электрической цепи.

Таблица 2. Исходные данные для заданий 52,53,54.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование приборов | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Шифр | Вольтметр | | | Амперметр | | | | Ваттметр  однофазный | | | Счетчик  однофазный | | | Ваттметр трех-фазный активной мощности | Ваттметр трех-фазный реактив-  ной мощности | Счетчик трех-фазный активной энергии | Счетчик трехфазный реактивной энергии |
| А  АВ | В  ВС | С  СА | А | В | С | 0 | А | В | С | А | В | С |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** |
| 00 | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  | \* | \* |  | \* |  |
| 01 |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  | \* |
| 02 |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  | \* |  |
| 03 |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  | \* | \* |
| 04 |  | \* |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  | \* |
| 05 | \* |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  | \* | \* |  |  |
| 06 | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |
| 07 |  | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  | \* | \* |  |
| 08 |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  | \* |  | \* |  |
| 09 |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  | \* |  | \* |
| 10 |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  | \* |  | \* |  |
| 11 | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  |  |  | \* |  | \* |  | \* |
| 12 | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  |  |  | \* |  | \* | \* |  |
| 13 |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* | \* |  |
| 14 |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  | \* |
| 15 |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  | \* |
| 16 |  | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  | \* |
| 17 | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  | \* |  |
| 18 |  | \* |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  | \* |
| 19 | \* |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |  |
| 20 |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |
| 21 | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  | \* | \* |  |  |
| 22 |  | \* |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* | \* |
| 23 |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |
| 24 |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  | \* |  |
| 25 |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* | \* |  |
| 26 | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* | \* |  |  | \* |
| 27 | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* | \* | \* |  |  |
| 28 |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  |  |  | \* | \* |
| 29 |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  | \* |
| 30 |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* | \* |  |
| 31 |  | \* |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  | \* |
| 32 | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |
| 33 | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* | \* |  |
| 34 |  | \* |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  | \* |
| 35 |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  |  | \* |  | \* |  |
| 36 |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  |  |  | \* |  | \* |
| 37 |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  | \* |  | \* |  |
| 38 | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  | \* |  | \* |
| 39 | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* | \* |  | \* |  |
| 40 |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  | \* | \* |  |  |
| 41 |  |  | \* | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* | \* |  |
| 42 |  | \* |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  | \* |
| 43 | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  |  | \* | \* |
| 44 | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  | \* | \* |  |  |
| 45 |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  | \* |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** | **17** | **18** |
| 46 |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* | \* |  | \* |  |
| 47 |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  |  |  | \* | \* | \* |  |  |
| 48 |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  | \* |
| 49 | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  | \* |  |
| 50 | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  | \* | \* |
| 51 |  | \* |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  | \* | \* |  |  |
| 52 |  |  | \* |  |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  |  |  | \* | \* |
| 53 |  |  | \* |  |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  | \* |
| 54 |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* | \* |  |
| 55 | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  | \* |  |
| 56 | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  | \* |
| 57 |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  |  |  |  | \* | \* |  | \* |  |
| 58 |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  |  |  | \* |  | \* |  | \* |
| 59 |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* | \* |  |
| 60 |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  | \* |
| 61 | \* |  |  |  |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  | \* | \* |  |
| 62 |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* | \* |  |
| 63 |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  | \* |
| 64 |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  |  |  | \* |  |  |  | \* | \* |
| 65 |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  |  |  |  | \* | \* | \* |  |  |
| 66 | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  |  | \* |  | \* |  | \* |
| 67 | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  | \* |  | \* |  |
| 68 |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  | \* | \* |  |  |
| 69 |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |
| 70 |  |  | \* |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |  |
| 71 |  | \* |  |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  |  |  | \* | \* |
| 72 | \* |  |  |  |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  | \* | \* |  |  |
| 73 | \* |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* | \* |
| 74 |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  | \* |
| 75 |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  |  | \* | \* |  |
| 76 |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |  | \* |  |
| 77 | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  | \* |  | \* |
| 78 | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* | \* |  | \* |  |
| 79 |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  | \* |
| 80 |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* | \* |
| 81 |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  |  | \* | \* |  |  |
| 82 |  | \* |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |  |
| 83 | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  | \* |
| 84 | \* |  |  |  |  |  | \* | \* |  |  |  |  |  | \* |  | \* |  |
| 85 |  | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* | \* |
| 86 |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  | \* | \* |  |  |
| 87 |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  | \* |
| 88 | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  | \* |
| 89 | \* |  |  |  |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* | \* |  | \* |  |
| 90 |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  |  |  |  | \* | \* | \* |  |  |
| 91 |  |  | \* |  | \* |  |  |  |  |  |  | \* |  |  |  | \* | \* |
| 92 |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  | \* | \* |  |
| 93 |  | \* |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  | \* |
| 94 | \* |  |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  | \* | \* |  |  |
| 95 | \* |  |  |  | \* |  |  | \* |  |  |  |  |  |  |  | \* | \* |
| 96 |  | \* |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  | \* |
| 97 |  |  | \* |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  |  | \* | \* |  |
| 98 |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  |  |  | \* |  | \* |
| 99 | \* |  |  |  |  |  | \* |  |  |  | \* |  |  | \* |  | \* |  |